



МАТЕРИАЛЫ

IV Международной
научно-практической конференции

ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

**23 – 26 октября 2018 года
г. Москва**

Москва
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
2018

УДК 338.126

ББК 74.584

И 74

И 74 **Инфорино-2018** Материалы IV Международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования» (23–26 октября 2018 г., Москва) – М.: Издательство МЭИ, 2018. – 556 с.: ил.

ISBN 978-5-7046-2076-1

Представленные в сборнике материалов конференции доклады отражают основные проблемы, тенденции развития, а также результаты информатизации инженерного образования на современном этапе по основным востребованным направлениям: «Индустрия 4.0» и инженерное образование; информационное и программное обеспечение для инженерного образования; информационные технологии в инженерных расчётах и проектировании объектов промышленности и энергетики; информационные технологии в учебных, исследовательских и испытательных лабораториях; дистанционные технологии и электронные образовательные ресурсы в инженерном образовании.

Доклады участников конференции публикуются в авторской редакции.

УДК 338.126

ББК 74.584






ISBN 978-5-7046-2076-1

© «Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2018



Организаторы

**МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ»
ИНФОРИНО-2018**

-  **Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**
-  **Министерство энергетики Российской Федерации**
-  **Национальный исследовательский университет «МЭИ»**
-  **Национальный фонд подготовки кадров**
-  **Фонд развития МЭИ**



Уважаемые коллеги!

В четвертый раз проводится Международная научно-практическая конференция «Информатизация инженерного образования» (Инфорино-2018) на базе Национального исследовательского университета «МЭИ». Растет количество желающих принять участие в обсуждении актуальных вопросов применения современных информационных технологий при подготовке инженерных кадров – на участие в конференции было прислано около 300 заявок от авторов, представляющих учебные заведения и компании России, Азербайджана, Вьетнама, Германии, Индонезии, Италии, Таджикистана, Турции и Чехии.

Четвертая промышленная революция, связанная, прежде всего, с информационными технологиями, обуславливает возрастающую значимость нашей конференции и важность рассматриваемых проблем и решений. Хотел бы отметить, что высокий уровень конференции позволил войти в этом году в список конференций IEEE, и доклады, подготовленные и представленные на конференции на английском языке, будут размещены в электронной библиотеке IEEE Xplore и проиндексированы в базах Web of Science и Scopus.

К глубокой скорби как организаторов конференции, так и ее участников, безвременно ушел из жизни один из инициаторов проведения конференции «Инфорино», внесший огромный вклад в дело внедрения программных и программно-аппаратных средств в учебный процесс, профессор, доктор технических наук Сергей Ильич Маслов. Отдавая дань уважения и признания его заслугам, конференция «Инфорино-2018» посвящена памяти Сергея Ильича.

С пожеланием успехов участникам конференции,

Ректор НИУ «МЭИ» Н.Д. Роголев



Памяти Сергея Ильича Маслова

Тридцатого сентября 2017 года не стало видного ученого, талантливого организатора и руководителя, доктора технических наук, профессора Сергея Ильича Маслова. Ушел из жизни наш коллега – светлый, мудрый, пользующийся безграничным авторитетом и уважением, много сделавший для развития Московского энергетического института человек.

Сергей Ильич родился в 1946 году, после окончания средней школы поступил в МЭИ на электро-механический факультет, который окончил в 1971 году по специальности «Электрооборудование летательных аппаратов». После службы в армии Сергей Ильич вернулся в 1973 году в МЭИ и посвятил ему всю свою трудовую жизнь.

Научно-педагогическая деятельность С.И. Маслова во многом носила новаторский характер. В середине 1990-х годов Сергей Ильич стал одним из основных разработчиков концепции автоматизированного лабораторного практикума с удаленным доступом студентов к лабораторному оборудованию по компьютерным сетям. Опытные образцы подобного оборудования впервые в России были созданы под его руководством в 1996 – 1997 гг. Через несколько лет в МЭИ была введена в эксплуатацию интернет-лаборатория «Основы электротехники и электроники», в базовый комплект которой вошло более 50 объектов экспериментального изучения с дистанционным доступом. Работы, выполненные в этой области под руководством С.И. Маслова, были отмечены семью медалями и пятью дипломами на московских, российских и международных выставках.

За большие достижения в учебной, научной и организационно-административной деятельности Сергей Ильич был удостоен почетных званий и наград, среди которых: знак «Победитель социалистического соревнования», почетное звание «Почетный деятель науки и техники города Москвы», медаль «В память 850-летия Москвы», почетные знаки «85 лет Плана ГОЭЛРО» и МЭИ, Благодарности Минвуза СССР, Министерства образования Российской Федерации и Председателя Совета Федерального Собрания Российской Федерации, Почетные грамоты Министерства образования и Министерства энергетики Российской Федерации, премия Президента Российской Федерации в области образования.

В 2012 году Сергей Ильич выступил инициатором проведения Международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования», которая с тех пор проводится регулярно каждые два года.

Сергей Ильич Маслов ушел, но остались результаты его деятельности в учениках и последователях, многочисленных статьях, учебниках и монографиях, стенах созданной им интернет-лаборатории. Светлая память о нем навсегда сохранится в наших сердцах.



Программный комитет

**МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ»
ИНФОРИНО-2018**

Председатель

РОГАЛЕВ Николай Дмитриевич, НИУ «МЭИ»

Члены программного комитета

Аржанова Ирина Вадимовна, Национальный фонд подготовки кадров

Бобряков Александр Владимирович, НИУ «МЭИ»

Гампе Уве, Технический университет Дрездена, Германия

Герк Саша, Elsevier, Knovel, США

Гитзельс Мартин, Сименс, Россия/Германия

Граут Вик, Университет Глиндур, Великобритания

Жураковский Василий Максимилианович, Российская академия образования

Замолодчиков Владимир Николаевич, НИУ «МЭИ»

Кретчмар Ханс-Йоахим, Университет Циттау-Гёрлитц, Германия

Овчарова Живка, Технологический университет Карлсруэ, Германия

Розанов Юрий Константинович, Российская секция IEEE, НИУ «МЭИ»

Смирнов Владимир Витальевич, Министерство энергетики РФ

Тепфер Ханнес, Технический университет Ильменау, Германия



Организационный комитет
МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ»
ИНФОРИНО-2018

Председатель Рогалев Н.Д.

Зам. председателя Орлов К.А.

Ученый секретарь Прудникова Ю.И.

Члены оргкомитета

Анучин А.С.	Кузнецов В.Н.
Белоусов С.В.	Липай Б.Р.
Варшавский П.Р.	Очков В.Ф.
Еремеев А.П.	Семёнова Е.М.
Желбаков И.Н.	Тихонов А.И.
Касаткина Е.П.	Трофимов А.В.
Курочкин Д.С.	Топорков В.В.
Ковалев Д.И.	Чернецов А.М.
Крепков И.М.	Ширинский С.В.

Секретариат конференции

Бурмистрова О.А.
Васильева Н.С.
Комарова В.Ю.
Тарасова Т.П.



Секции

**МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ»
ИНФОРИНО-2018**

Секция 1.

ИНДУСТРИЯ 4.0 И ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ
Сопредседатели: Белоусов С.В., Орлов К.А.

Секция 2.

**ИНФОРМАЦИОННОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ
ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**
Сопредседатели: Еремеев А.П., Касаткина Е.П., Крепков И.М.

Секция 3.

**ИТ В ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЁТАХ И ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭНЕРГЕТИКИ**
Сопредседатели: Очков В.Ф., Топорков В.В.

Секция 4.

**ИТ В УЧЕБНЫХ, ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ
ЛАБОРАТОРИЯХ**
Председатель: Липай Б.Р.

Секция 5.

**ДИСТАНЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ
РЕСУРСЫ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ**
Сопредседатели: Тихонов А.И., Трофимов А.В.



Секция 1

**ИНДУСТРИЯ 4.0
И ИНЖЕНЕРНОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ**



Организация инновационной и научной работы молодежи в парадигме Университет 3.0

А.В. Андрюшин, И.А. Щербатов, Е.В. Макаревич
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
Москва, Российская Федерация
ShcherbatovIA@mpei.ru

Аннотация — Описаны результаты функционирования студенческого конструкторского бюро кафедры «Автоматизированных систем управления тепловыми процессами» Московского энергетического института как базовой модели организации научной и инновационной работы с талантливыми студентами. Показаны задачи и вызовы, стоящие перед образовательными учреждениями при переходе к парадигме Университет 3.0. Показано, что это может быть реализовано в рамках технологий новой промышленной революции. Сформулированы основные направления развития студенческого конструкторского бюро с использованием технологий Индустрии 4.0.

Ключевые слова — студенческое конструкторское бюро, индустрия 4.0, университет 3.0, инновации, образование, научные исследования

I. ВВЕДЕНИЕ

Начиная с 2011 г. в мире обсуждается переход на новый технологический уклад в рамках концепции четвертой промышленной революции (Индустрия 4.0) [1]. Отправная точка – построение киберфизических систем (cyber-physical system), когда реальный объект дополняется его цифровой копией. Все технологии, которые сегодня относят к компонентам Индустрии 4.0, появились до ее возникновения, но лишь с появлением концепции новой промышленной революции сформировался единый подход, обеспечивающий возможности их совместного применения.

Встраивание в цифровую экономику [2] и цифровизация энергетики [3], возможно, будут ключевыми трендами развития энергетической отрасли Российской Федерации на долгосрочную перспективу, наряду с проектированием современного технологического оборудования и реализацией широкомасштабной программы импортозамещения.

Лидерство страны без обладания ключевыми инновационными технологиями в рамках новой парадигмы Индустрии 4.0 практически невозможно.

В этой связи университет должен ориентироваться на перспективные направления развития общества и обеспечивать подготовку не только хороших специалистов, но и продуцировать инновационные знания, технологии, продукты и услуги.

Одним из возможных путей реализации такой подготовки является создание студенческого конструкторского бюро (СКБ), которое позволяет организовать работу с талантливыми студентами в соответствии с требованиями модели Университета 3.0.

II. ТЕХНОЛОГИИ ИНДУСТРИИ 4.0 В ЭНЕРГЕТИКЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Основные технологии Индустрии 4.0, которые могут быть использованы в энергетике, представлены на Рис. 1.



Рис. 1. Технологии Индустрии 4.0 в энергетике

К технологиям Индустрии 4.0 можно отнести:

- автономные роботы (autonomous robots) – выполнение сервисных функций, например, очистка солнечных панелей, обследование линий электропередач и трубопроводов для выявления обрывов, дефектов, врезок и пр.
- интернет вещей (internet of things, IoT) – все датчики и контроллеры объединяются в единое информационное пространство и обмениваются информацией (измерительной, управляющей, диагностической и пр.) на основе цифровых протоколов (по аналогии с общением людей в глобальной сети);
- информационная безопасность (cybersecurity) – защита от несанкционированного искажения, удаления или кражи данных, а также от перехвата

управления оборудованием ТЭС, АЭС для создания аварийных ситуаций, проведения террористических актов и пр.;

- дополненная реальность (augmented reality) – применение технологий, которые позволяют дополнить сведения об окружающем пространстве или наполняющих его объектах за счет введения любых сенсорных данных, например, применение 3D-технологий, которые позволяют получить доступ к документации на какой-либо агрегат или увидеть его трехмерную модель непосредственно в месте установки и работы;
- моделирование (simulation) – перевод в цифровой вид всех агрегатов ТЭС, АЭС (построение цифровых моделей), реализация киберфизических систем в энергетике;
- большие данные (big data) – получение, обработка, аналитические преобразования больших объемов разнородных, частично неструктурированных данных, получаемых от различных объектов, взаимодействующих в реализованной структуре Интернета вещей [4].

Перечисленные технологии позволяют создать Цифровую станцию. Цифровая станция – реализация концепции создания цифрового предприятия в энергетике.

Цифровое предприятие (digital enterprise) – предприятие со сквозной информационно взаимосвязанной автоматизацией всех подразделений, имеющее единую ИТ-инфраструктуру, использующее новые автоматизированные методы контроля и управления, а также новые автоматизированные взаимные отношения с поставщиками и клиентами [5].

III. СОВРЕМЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ 3.0

Современный университет должен выступать в качестве учебного заведения, ориентированного на перспективные направления развития общества (в том числе, обозначенные выше в рамках Индустрии 4.0), усиление научного и инновационного потенциала сотрудников и обучающихся. Эти направления сформулированы в рамках парадигмы «Университета 3.0», в которой к научной и образовательной компонентам добавляется инновационная [6]. Таким образом, современный университет – центр производства инноваций, которые воплощаются в конкретные технологии, услуги, продукты и пр. [7].

Трансформация высшего учебного заведения в новый тип университета является крайне актуальной, сложной и многоаспектной. Для появления конкурентоспособных инновационных решений в университете должна быть выстроена непрерывная подготовка талантливых молодых исследователей. Организация такой подготовки предполагает реализацию конкурентного отбора талантливой молодежи научными и учебными подразделениями. При таком подходе молодые исследователи должны быть ориентированы не только на

занятие наукой, но и на выпуск конкретной инновационной продукции, предоставления услуг, а также их коммерциализации, создания, развития и продажи готовых высокотехнологичных компаний.

В этой связи процесс подготовки таких кадров необходимо начинать как можно раньше, например, на уровне бакалавриата, ориентируя обучающихся на освоение дополнительных компетенций и получения навыков вне учебного плана (Рис.2).



Рис. 2. Траектория развития студента внутри СКБ

IV. СТУДЕНЧЕСКОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО КАК ФОРМА ОРГАНИЗАЦИИ НАУЧНОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Студенческое конструкторское бюро (СКБ) как структурная единица в составе кафедры «Автоматизированные системы управления тепловыми процессами» МЭИ было создано и функционирует с 2015 года по настоящее время (Рис.3).

Цель создания СКБ – привлечение молодежи к научной и инновационной работе над различными проектами по заданию индустриальных партнеров университета и фондов грантовой поддержки с использованием современных информационных технологий для целей автоматизации конкретных объектов энергетики.

Обучающиеся, входящие в состав СКБ и занятые в его работе, а также члены научной группы кафедры выполняют проекты по заказной тематике, участвуют в различных конкурсах, выставках и других мероприятиях.

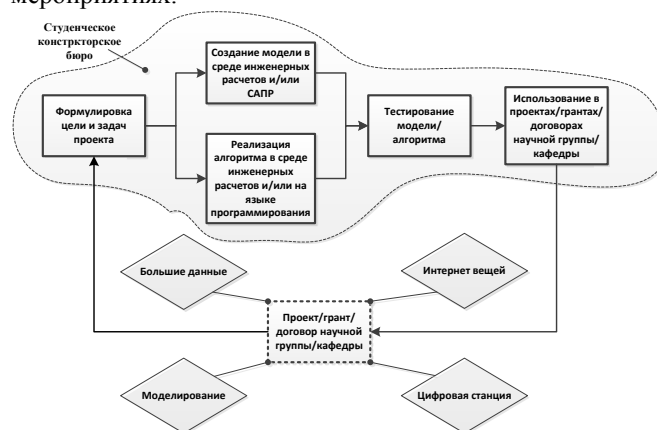


Рис. 3. Алгоритм работы СКБ

Изначально перед коллективом был обозначен следующий перечень задач, а именно:

- выявление талантливых молодых исследователей для целей привлечения их к научной и инновационной деятельности;
- реализация командной работы над проектами, формирование лидерских качеств;
- выполнение междисциплинарных и межкафедральных работ в сотрудничестве с другими кафедрами и подразделениями университета;
- выполнение проектов и выпускных работ по заданию индустриальных партнеров;
- формирование благоприятной среды для доведения идей до финансирования в рамках различных фондов, занимающихся поддержкой научных и инновационных проектов молодежи;
- повышение публикационной активности, в том числе на английском языке;
- реализация комплексного подхода в инженерном образовании в области энергетики на принципах CDIO на протяжении жизненного цикла продукции [8].

Решение поставленных задач с той или иной степенью успеха позволило достичь хороших результатов. Например, у студентов первых курсов практически нет возможности публиковаться, поскольку еще отсутствуют значимые научные результаты. СКБ дает возможность участия в НИР под руководством опытных руководителей. Таким образом, после первого года работы СКБ публикационная активность студентов возросла с 0 ст./чел. до 0,5 ст./чел.

Примером решения задачи по поддержке проектов молодежи могут служить следующие результаты:

- участие в финале конкурса грантов по программе "УМНИК" Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере – 2 чел.;
- выход в четверку лучших проектов в конкурсе инновационных идей в области энергоменеджмента Schneider Electric – 2 чел.

Еще одно направление деятельности в рамках СКБ – организация и реализация командной работы, когда обучающиеся учатся взаимодействовать внутри коллектива талантливых людей с целью реализацию инновационного продукта или воплощению прорывной идеи. Научить этому в университетской аудитории при традиционном подходе к инженерному образованию практически невозможно. Работа студентов должна быть именно коллективной, возможна даже смена ролей при участии одних и тех же обучающихся в различных проектах [9].

Для реализации проектов с использованием выбранных прикладных технологий Индустрии 4.0 в рамках СКБ создана специализированная лаборатория, оснащенная шестью современными рабочими станциями и сервером приложений. В среде инженерных расчетов совместно с

пакетами расширений для обработки данных и реализации методов искусственного интеллекта реализуются алгоритмы обработки данных для Интернета вещей, BigData в АСУ энергетики для целей оценивания технического состояния и прогнозирования надежности оборудования. При помощи САПР SolidWorks разрабатываются модели и проводится симуляция длительно работающего оборудования, а также виртуальной и дополненной реальности.

В процессе функционирования СКБ произошла его трансформация и расширение круга задач, которые изначально ставились перед его коллективом. Отправной точкой развития технологий Индустрии 4.0 в Российской Федерации стал 2015 г. Именно в этом году началось активное обсуждение, формирование законодательной и технологической базы встраивания России в тенденции новой промышленной революции [5]. Поэтому в рамках СКБ были сформированы следующие три новых направления исследований в области энергетики:

- технологии моделирования и симуляции длительно работающего оборудования, а также виртуальной и дополненной реальности;
- методы обработки Big Data, Data Mining и машинного обучения для оценивания технического состояния и прогнозирования надежности оборудования;
- методы решения оптимизационных задач в условиях неопределенности, применяемые для повышения экономической и технологической эффективности предприятий энергетики.

Выбор данных направлений в рамках технологий новой промышленной революции Индустрии 4.0 обусловлен, прежде всего, актуальностью решаемых практических задач, потребностями индустриальных партнеров и возможностью реализации инновационных проектов на основе формируемых компетенций.

Выделена потребность реализации учебных проектов, нацеленных на потенциальную коммерциализацию инновационных решений в среднесрочной и долгосрочной перспективе. Кроме того, следует отметить необходимость работы в составе коллективов, решающих задачи в рамках договоров с индустриальными партнерами в краткосрочной перспективе. Оба указанных аспекта являются ключевыми при встраивании работы СКБ в парадигму новой промышленной революции и Университета 3.0.

V. ВСТРАИВАНИЕ СТУДЕНЧЕСКОГО КОНСТРУКТОРСКОГО БЮРО В КОНЦЕПЦИЮ УНИВЕРСИТЕТА 3.0

Студенческое конструкторское бюро как базовая структурная единица организации работы с молодыми исследователями может являться основой для реализации процессов подготовки, ориентированных на развитие навыков технологического предпринимательства.

Имеющийся опыт в области подготовки молодежи для проведения успешных заявочных компаний по

привлечению финансирования на реализацию инновационных проектов могут быть использованы для получения грантовой поддержки на создание стартапов в форме технологических компаний, занимающихся разработкой инновационных технологий и продуктов для энергетики.

Фактически университет становится поставщиком не только знаний, компетенций, инноваций и технологий, но и продавцом высокоэффективных технологических компаний, которые формируют рынки будущего. На базе технологических компаний, созданных молодыми специалистами, могут быть реализованы новые виды бизнеса в области энергетики и смежных отраслей, отражающих междисциплинарность как ключевой аспект инноваций в рамках современных тенденций научных исследований и технологических разработок.

Это обеспечит подготовку предпринимательских кадров для инновационного бизнеса, обладающих уникальным набором компетенций в области энергетики.

Фактически в рамках СКБ сделана ставка на «выращивание» талантливой молодежи, которая наряду с решением всех поставленных практических задач будет являться еще и ресурсом для повышения качества образования и научных исследований при вхождении в коллективы кафедр университета.

VI. Междисциплинарность исследований и межкафедральный подход

Междисциплинарность в организации исследований в рамках СКБ, а также взаимодействие с другими учебными и научными подразделениями университета органично вытекает из актуальности задач, стоящих перед энергетикой не только в нашей стране, но и в мире.

В рамках реализации программы [10] определено, что данные в цифровом виде являются ключевым фактором производства во всех сферах деятельности, в том числе в энергетике. Построение цифровой копии объектов и обработка цифровых данных требует комплексного подхода и взаимодействия различных направлений. Поэтому крайне востребованным направлением будет именно междисциплинарность в проводимых научных исследованиях и опытно-конструкторских работах.

Традиционно в рамках «старой модели обучения» в Российских университетах создавались кафедры, которые занимались конкретной проблематикой, например, технологическим процессом, проектированием оборудования, разработкой систем управления и регулирования и т.д. В настоящее время различные специализации и профили объединены в одном направлении обучения. Очевидно, необходимо и объединение коллективов кафедр, что позволит решать комплексные, сложные задачи, охватывающие различные аспекты конкретной проблемы.

Таким образом, необходимо обеспечить взаимодействие между различными подразделениями университета для того, чтобы:

- формировать тематику работ в рамках СКБ в зависимости от потребностей отрасли или отдельных индустриальных партнеров;
- обеспечивать распределение профильных задач между различными подразделениями, которые обладают соответствующими знаниями и компетенциями;
- организовывать совместную защиту результатов выполнения исследований.

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт организации работы СКБ в МЭИ показал свою эффективность в области подготовки высококвалифицированных кадров, по выполнению различных проектов. Но вместе с тем, в условиях перехода к Университету 3.0 в рамках новой промышленной революции СКБ должно трансформироваться, для того чтобы отвечать современным вызовам, стоящим перед высшими учебными заведениями.

СКБ должно стать частью создаваемой в университете единой интегрированной инновационной предпринимательской среды, которая обеспечит прорыв в области инноваций, коммерциализации разработок и продажи готовых высокотехнологических компаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Y. Lu Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues // Journal of Industrial Information Integration. Vol. 6. 2017. P. 1-10.
- [2] Е.Ю. Андиева, В.Д. Фильчакова Цифровая экономика будущего. Индустрия 4.0 // Прикладная математика и фундаментальная информатика. 2016. № 3. С. 214—218.
- [3] Энергетика в рамках цифровой экономики [Электронный ресурс] : URL: <https://www.eprussia.ru/epr/327/7888666.htm> (дата обращения: 03.05.2018)
- [4] С. Солдатов Технологии Big Data - расширение возможностей АСУТП // Современные технологии автоматизации. 2017. № 2. С. 12-18.
- [5] Э.Л. Ицкович Развитие АСУ технологического производства в рамках концепции Индустрия 4.0 (Industry 4.0) // Датчики и системы. 2017. №7. с. 52-63.
- [6] J. Wissema Towards the Third Generation University: Managing the University in Transition. Northampton, MA: Edward Elgar, 2009. 252 p.
- [7] А.О. Карпов Университет 3.0 – социальные миссии и реальность // Социологические исследования. 2017. № 9. С. 114-124.
- [8] А.И. Чучалин Модернизация бакалавриата в области техники и технологий с учетом международных стандартов инженерного образования // Высшее образование в России. 2011. № 10. С. 20–29.
- [9] Н.Д. Рогов, Е.М. Табачный, Е.Ю.Абрамова Комплексная система опережающей подготовки кадров для модернизации и инновационного развития важнейших отраслей национальной экономики // Инновации. 2012. № 3 (163). С. 68-73.
- [10] Распоряжение Правительства РФ от 28 июля 2017 года № 1632-р. Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации» //Электронный ресурс].–Режим доступа: <http://base.garant.ru/71734878/>(дата обращения: 10.05.2018).

Динамическое моделирование хозяйственной деятельности производственного предприятия

Курдюкова Г.Н., Ладыгина А.К.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

г. Москва, Российская Федерация

LadyginaAK@mpei.ru

Аннотация — Рассматривается универсальная математическая модель хозяйственной деятельности производственного предприятия, ориентированная на применение в процессе экономического образования технических специалистов. Разработка модели основывалась на системном процессном подходе к представлению деятельности предприятия и применению программы Excel.

Ключевые слова — инженерное образование, производственное предприятие, экономика, компьютерная модель, учебный процесс

I. ВВЕДЕНИЕ

Сегодня уже никто не сомневается, что современное инженерное образование обязано содержать элементы экономических знаний. Одной из важнейших профессиональных компетенций выпускника технического университета является способность анализировать экономические аспекты производственных процессов, строить эконометрические модели и умение на их основе давать экономическую оценку полученных результатов.

Современное инженерное образование характеризуется глубоким проникновением информационных технологий в учебный процесс. Однако, в методиках преподавания экономических дисциплин до сих пор отдается предпочтение пассивным формам обучения, когда от студента требуется лишь воспроизвести полученные в процессе обучения знания. Роль этих методов велика, но задачи, стоящие перед современным инженером требуют не только глубоких знаний, но и более высокой экономической культуры и эффективного экономического мышления.

В этой ситуации применение компьютерных средств при построении эконометрических моделей является обязательным условием результативности учебного процесса. Работа с компьютерной моделью представляет собой наиболее эффективный инструмент процесса формирования экономического мышления будущих инженеров, позволяет не только закрепить полученные теоретические знания, но и рассмотреть во взаимосвязи и взаимозависимости изученные экономические категории,

а также оценить их влияние на общий финансовый результат предприятия [1]. Важно понимать, что в основе развитого экономического мышления лежит понимание хозяйственной деятельности производственного предприятия как целостности, как единого механизма, направленного на максимизацию финансового результата, в том числе, за счет принятия эффективных инженерных решений [2].

Таким образом, широкое применение финансово-экономических компьютерных моделей в учебном процессе позволяет выйти на более высокий уровень подготовки студентов в вопросах экономики, активно вовлекает студента в самостоятельную работу, нацеленную на конечный результат.

Рынок программных средств по бизнес-моделированию представлен множеством продуктов, среди которых можно выделить 6 Project Expert, MS Project, ИНЭК-аналитик, Альт-Инвест-Прим и др. Все они отвечают высоким требованиям хозяйственной практики, однако, все они обладают свойством «закрытости». Используемые в них расчетные формулы скрыты от пользователя, что ограничивает методические возможности этих моделей и делает их применение в учебном процессе недостаточно эффективным.

В предлагаемой работе рассматривается универсальная экономическая модель хозяйственной деятельности производственного предприятия, предназначенная для использования при изучении различных аспектов экономической деятельности предприятия для студентов инженерных специальностей. Модель создана с применением Microsoft Excel [3] и ее применение при обучении позволяет раскрыть экономическую сущность происходящих в компании хозяйственных процессов в динамике их развития и понять логику их отражения в формах бухгалтерской отчетности.

II. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Производственное предприятие – это достаточно самостоятельная и сложная экономическая система,

результат функционирования которой достигается при взаимодействии множества разнообразных факторов, что необходимо учитывать в процессе принятия управленческих решений.

С позиции системного подхода хозяйственную деятельность производственного предприятия следует рассматривать в виде функционального блока, формирующего на своем выходе конечный результат путем преобразования неких ресурсов, являющихся входом системы. Конечный результат системы является ее целью и выходом.

Система считается эффективной, если результаты превышают затраты на его достижение. Экономическими критериями успешности работы предприятия являются показатели экономического эффекта и экономической эффективности. Экономический эффект – это определенный результат, полученный за период, который может принимать как форму дохода, так и форму прибыли (убытка). Прибыль рассчитывается как разность между доходом и расходом предприятия или как

разность между выручкой от реализации и себестоимостью реализованной продукции. Экономическая эффективность предполагает сопоставление достигнутого эффекта с ресурсами, обусловившими этот эффект. Основным показателем эффекта от хозяйственной деятельности предприятия в краткосрочном периоде является прибыль, а показателем эффективности – рентабельность.

Получение прибыли в размерах, удовлетворяющих ожиданиям всех участников бизнеса, позволяет сделать систему замкнутой и, следовательно, саморегулируемой.

Хозяйственную деятельность предприятия следует представить как последовательность четырех процессов преобразования и движения входящих материально-вещественных и финансовых ресурсов в целях получения прибыли за один год (рис.1).



Рис.1. Процесс движения материально-вещественных и финансовых ресурсов на производственном предприятии

В основе организации деятельности любого предприятия лежит бизнес-проект, рожденный в голове предпринимателя. Если допустить, что целесообразность его реализации не подлежит сомнению, то главной задачей руководства на первом этапе будет привлечение финансовых ресурсов (капитала) для формирования имущества и производства продукции.

Финансирование с позиции системного подхода представляет собой совокупность хозяйственных процессов, связанных с привлечением финансовых ресурсов для формирования инвестиционной базы. Основной задачей и конечным результатом реализации этой функции является привлечение источников финансирования (пассивов баланса).

Структура процесса финансирования производственно-хозяйственной деятельности предприятия может быть представлена, как показано на рис.2.



Рис.2 Структура процесса финансирования производственно-хозяйственной деятельности предприятия

На втором этапе движения материально-вещественных и финансовых ресурсов на предприятии финансовые ресурсы инвестируются в имущество (ресурсы, активы) предприятия, необходимое для производства и реализации запланированного объема продукции в целях получения прибыли. *Инвестирование* с позиции системного подхода представляет собой совокупность хозяйственных процессов, связанных с преобразованием финансовых ресурсов, т.е. пассивов баланса, в имущество предприятия (его активы). Формируются материально-вещественные и трудовые ресурсы предприятия. Сюда относят: здания, оборудование, транспорт, производственные запасы, денежные средства оплаты труда и др. (Рис.3).



Рис.3 Структура процесса инвестирования

В процессе *производства продукции* переменная часть материально-вещественных и трудовых ресурсов преобразуется в готовую продукцию и учитывается как себестоимость готовой продукции. Другая часть остается на складах предприятия в виде запасов сырья и материалов, незавершенного производства и готовой продукции, а также в виде оборудования, не использовавшего полностью свой ресурс. Это ресурсы предприятия, которые будут использованы в будущем.

В процессе *реализации продукции*, предприятие получает *доход от основной деятельности* в форме выручки от ее продажи. Сопоставляя доход с суммой переменных и постоянных затрат на изготовление и реализацию продукции формируется финансовый результат- *прибыль (убыток) предприятия*.

Замыкает бизнес-цикл процесс распределения прибыли. Полученная в результате успешного ведения бизнеса сумма прибыли подлежит распределению между основными участниками бизнеса:

- государству - в форме налогов из прибыли до налогообложения отчетного года
- инвесторам - в форме процентов за предоставленные кредиты и дивидендов за участие в уставном капитале;
- предприятию - в форме нераспределенной прибыли отчетного года.

Если прибыль предприятия позволит удовлетворить потребности всех участников бизнеса, то бизнес-цикл возобновится, увеличив стартовый собственный капитал .

Процесс распределения прибыли является составной частью финансовой деятельности предприятия.

В реальном времени все стадии бизнеса за исключением первой идут параллельно. Залогом успешной деятельности предприятия в постоянно изменяющейся, трудно предсказуемой рыночной обстановке и жесткой конкуренции является наличие у руководства и всего персонала системы целей и стратегии их достижения.

Таким образом, в учебном процессе важно предоставить будущим инженерам возможность овладеть умением применять представление о предприятии как о системе, состоящей из взаимозависимых подсистем и процессов, тесно взаимодействующих между собой и с внешней средой. Процесс моделирования позволит приобрести навык оценки влияния инженерных решений на финансовый результат.

III. ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

При разработке бизнес-модели, пригодной для экономического анализа предприятия, очень важно соблюдать следующие условия:

- в структуре модели должны быть представлены процессы, свойственные реальному экономическому механизму;
- при составлении структуры модели, не смотря на упрощенное представления действительности, не должны нарушаться основные принципы взаимодействия реальных процессов;

– используемые в модели понятия и термины должны соответствовать профессиональным стандартам;

– используемые в модели зависимости должны базироваться на общепринятых стандартах, представляя их в упрощенной форме;

– в качестве инструмента представления модели на компьютере следует применять максимально распространенную программу экономических расчетов, например такую, как Excel;

– высокая наглядность представления результатов моделирования должна обеспечиваться соответствующей формой таблиц, графиков и диаграмм.

Предлагаемая модель, разработанная в соответствии с названными условиями, представляет собой набор из 27 таблиц программы Excel, последовательное обращение к которым позволяет производить оценку финансово-экономических показателей деятельности предприятия по итогам года работы при варьировании входных данных. Можно сказать, что модель отображает экономическое состояние предприятия при принятии различных инженерных и хозяйственных решений.

Структура расчетных таблиц представляет собой логическую последовательность операций хозяйственной деятельности производственного предприятия за год:

1. Формирование ресурсного потенциала производственного предприятия на начало года, включая:

- Расчет потребности во внеоборотных ресурсах;
- Расчет потребности в оборотных ресурсах;
- Расчет потребности в трудовых ресурсах;
- Формирование источников финансирования;
- Формирование стартового баланса.

2. Расчет доходов и расходов предприятия за год работы, включая:

- Расчет текущих издержек на производство продукции;
- Калькуляция полной себестоимости продукции;
- Расчет доходов предприятия;
- Расчет прибыли предприятия.

3. Расчет безубыточного объема реализации и запаса финансовой прочности.

4. Составление баланса предприятия на конец года

5. Расчет показателей эффективности хозяйственной деятельности предприятия за год.

В процессе моделирования используются все расчетные таблицы в соответствии с заданием преподавателя.

Примеры экранов в Excel, иллюстрирующие характер таблиц и диаграмм разработанной модели, представлен на рис.4.

При создании модели применялись следующие ограничения и допущения, которые важно учитывать при моделировании хозяйственной деятельности предприятия:

– экономическая система предприятия производит один вид продукции;

– увеличение выпуска продукции в некоторое число раз предполагает увеличение переменных расходов в тоже число раз;

– анализ хозяйственной системы предприятия проводится в краткосрочном периоде (не более года);

– формы, финансовой отчетности, используемые в модели, строго соответствуют стандартному балансу;

– расчет чистой прибыли осуществляется строго в соответствии с нормативно-правовой базой бухгалтерского учета.

– построение графика безубыточности проводится на основе объема реализованной продукции;

– учет готовой продукции производится по упрощенной себестоимости;

– отсутствует учет фактора неопределенности и рисков

Расчётные алгоритмы, примененные в модели, представлены в ней в открытом виде, как формулы Excel. Собственно подготовка расчетных формул практически для каждой ячейки всех используемых таблиц и явилось самым трудоемким элементом разработки модели. Одновременно открытость этих формул для пользователя является важным методическим моментом при обучении.

Отчётные данные, получаемые в результате моделирования, представляют собой информацию, предоставляемую в форме готовой для принятия решений, соответствующих целям моделирования. Это отчёты и отдельные финансово-экономические показатели, оформленные в наглядном для пользователя модели виде.

В процессе решения своей задачи пользователь работает с необходимым числом книг Excel, создавая свой собственный профиль модели производственного предприятия, выполняет соответствующие расчеты, получает необходимые диаграммы и графики.

Алгоритм работы студента при использовании модели включает этапы, представленные на рис.5

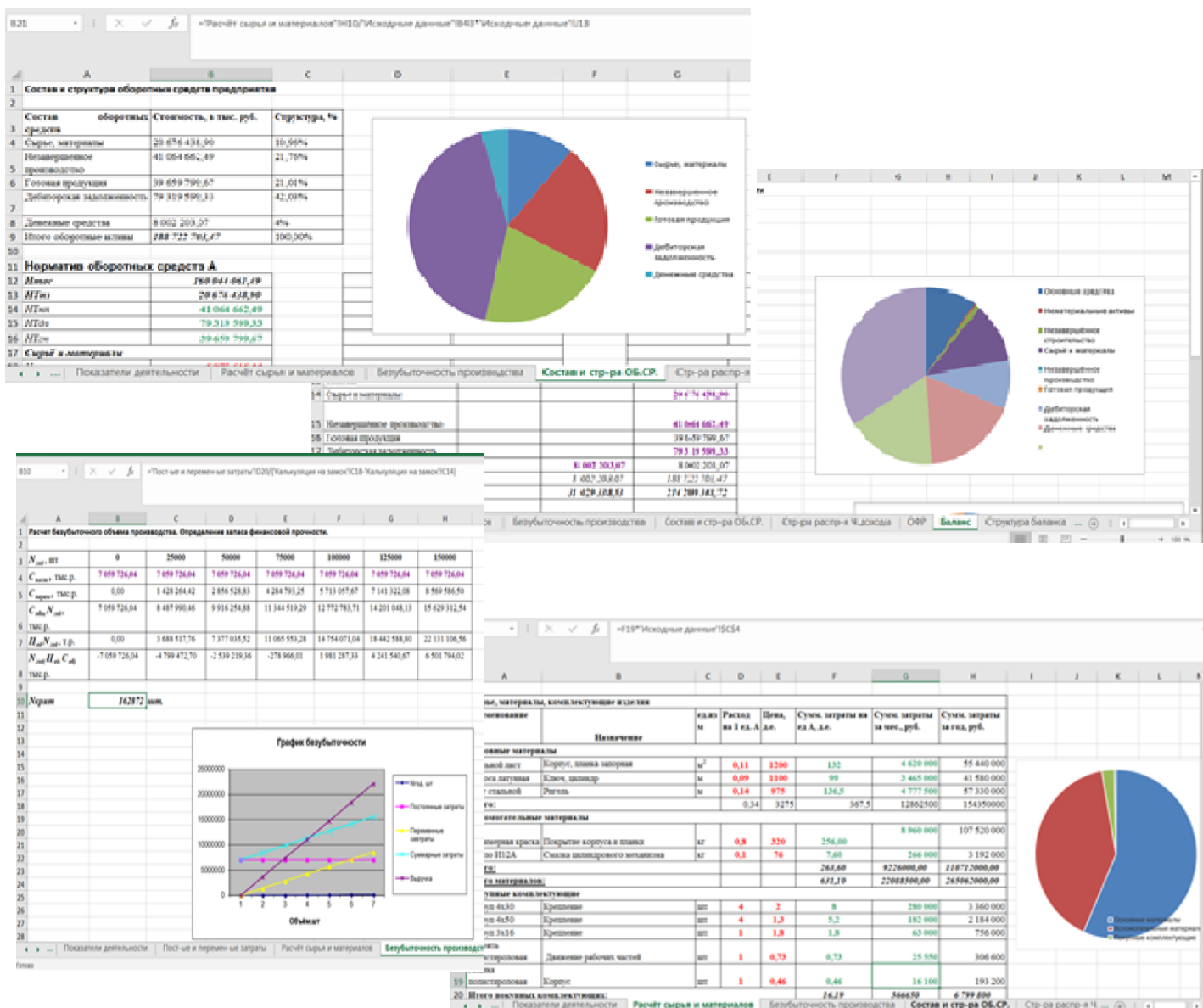


Рис.4. Примеры таблиц и диаграмм на экранах Расчетного файла бизнес- модели

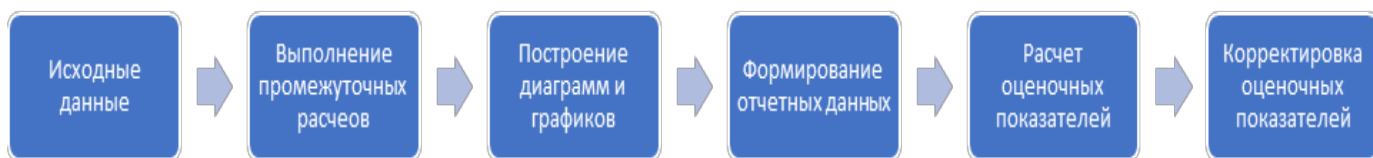


Рис. 5. Этапы применения модели при исследовании хозяйственной деятельности предприятия

При моделировании можно использовать различные наборы книг и таблиц, из имеющихся в модели. Но в любом случае этот набор должен соответствовать цели исследования и логике анализа.

В процессе выполнения работы студенты могут объединяться в группы по 2-3 человека, что способствует интенсификации учебного процесса и формирует не только проектное мышление, но и навыки работы в команде. Результатом работы команды является построение последовательности хозяйственных операций производственного предприятия и оценка влияния инженерного решения на финансовый результат его работы в краткосрочном периоде.

Результат работа представляется студентами в двух связанных файлах: текстовом и расчетном.

Текстовый файл содержит:

1. Описание структуры используемой бизнес-модели;
2. Анализ результатов, полученных в расчетном файле Excel;
3. Описание диаграмм и графиков, построенных в расчетном файле;
4. Ответы на поставленные вопросы и выполненные задания;
5. Предложение инженерных решений, направленных на повышение эффективности деятельности предприятия;

Выдаваемые задания по планированию расходов на содержание и эксплуатацию оборудования в составе себестоимости могут быть сформулированы следующим образом

1. Построить круговую диаграмму расходов на содержание и эксплуатацию оборудования
2. Перечислить затраты, которые останутся неизменными в случае сокращения планового задания.
3. Предложить инженерные решения, направленные на сокращение расходов по содержанию и эксплуатации оборудования.
4. Произвести оценку эффективности предложенных решений, рассчитав показатели рентабельности продаж, активов и собственного капитала в файле Excel.

Расчетный файл должен содержать:

1. Исходные данные;
2. Расчетные листы;
3. Графики и диаграммы;
4. Отчеты

Исходные данные представляемые на первом листе могут содержать более сотни наименований. Эти данные группируются по:

- объему выпуска продукции,
- составу трудовых ресурсов,
- видам и характеристикам используемого оборудования,
- источникам финансирования,
- кредитным условиям и др.

Исходных данных указывается студентами самостоятельно на основе имеющихся значений, а также данные могут быть получены ими в результате поиска в сети Internet. Моделирование хозяйственной деятельности на основе принятия инженерного решения предполагает внесение изменений в исходные данные с целью коррекции решений и проведения последующих расчетов.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт применения бизнес-модели в учебном процессе показал, что несмотря на свою простоту рассматриваемая модель позволяет достаточно полно раскрыть механизм финансирования предприятия, связанный с эффективным преобразованием привлеченных ресурсов в конечный результат, который после возмещения авансированных ранее затрат, уплаты налогов и выплаты дивидендов вновь поступает в экономический кругооборот. При этом результаты моделирования очень наглядно отражают три важнейших аспекта хозяйственной деятельности предприятия:

- взаимосвязь между инженерными решениями и финансовыми результатами деятельности предприятия;
- процесс формирования и движения натурально-вещественных и финансовых потоков предприятия;
- взаимосвязь между формами финансовой отчетности на предприятии.

Применение предлагаемой модели при подготовке выпускников инженерных специальностей будет способствовать:

- активному вовлечению студента в учебный процесс;
- формированию стратегического мышления;
- формированию навыков принятия хозяйственных решений и работы в команде.
- повышению качества экономического образования будущих инженеров в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Акопов А.С. Имитационное моделирование. Учебник и практикум. Юрайт, 2015.
- [2] Клейнер Г.Б. Системно-ориентированное моделирование предприятия. ЦЭМИ РАН, 2015.
- [3] Бизнес-моделирование и анализ данных. Решение актуальных задач с помощью Microsoft Excel. Уинстон У. 2018, Питер Пресс.

Гуманитаризация инженерного образования в условиях формирования Индустрии 4.0

Михайлов А.Н., Родин А.Б., Смирнова М.И.

Гуманитарно-прикладной институт

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва

MikhailovAN@mpei.ru, RodinAB@mpei.ru, SmirnovaMI@mpei.ru.

Аннотация — В докладе рассматриваются ведущие теоретико-методологические и практические аспекты новых подходов в реализации гуманитарной парадигмы инженерного образования в условиях формирования Индустрии 4.0 и возможности применения информационных технологий в преподавании гуманитарных дисциплин.

Ключевые слова — *Индустрии 4.0, гуманитаризация инженерного образования, информационные технологии в изучении гуманитарных дисциплин.*

I. ВВЕДЕНИЕ

Понятия «четвертая промышленная революция» («the Fourth Industrial Revolution») и «Индустрия 4.0» («Industry 4.0») могут быть рассмотрены как характеристики определенного этапа развития новой постиндустриальной цивилизации (информационного общества). Эти дефиниции используются для характеристики современного материального мира, который соединяется с виртуальным миром, в результате чего рождаются новые киберфизические комплексы, объединенные в одну цифровую экосистему.

Промышленные революции всегда выступали драйверами изменений образовательных систем, включая инженерно-техническое образование. Четвертая промышленная революция также формирует новые требования.

Уже сегодня функционируют такие образовательные стратегии как «Обучение через всю жизнь» («Lifelong Learning»), «Обучение через практику» («Learning by Doing»), модели вариативного обучения, вносятся кардинальных изменений в систему подготовки специалистов высшей квалификации. Главным направлением придания новых качественных характеристик всей системе образования является масштабное использование информационных технологий в учебном процессе

II. ГУМАНИТАРНАЯ ПАРАДИГМА ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ

Исторический опыт непреложно свидетельствует, что в переходный период социальной эволюции повышается роль личности, как гаранта выживания общества в новых условиях существования. Приоритеты адаптации к малоизвестным обстоятельствам цивилизационного развития оказывают прямое влияние на направления и ценностные ориентации высшего образования.

Будущим выпускникам зарубежных и российских вузов предстоит жить и, если они окажутся к этому подготовленными, работать в мире постмодерна и неоиндустриальной экономики, где кибер-физические системы будут охватывать целые отрасли промышленности, получит развитие интернет вещей, а использование робототехники и искусственного интеллекта, аддитивных и когнитивных технологий станет поистине всеохватывающим [1].

По мнению некоторых экспертов, существующая ныне система подготовки специалистов, включая и инженерные направления, медленно приспосабливается к новым требованиям Индустрия 4.0.

К приоритетным сегментам развития инновационной образовательной системы могут быть отнесены

- *цифровизация образования* – доступность для студентов образовательных ресурсов университетов-мировых лидеров на платформах онлайн-образования таких как Coursera (проект действует с 2012 г., включает более ста университетов по всему миру - Стэнфордский и Принстонский университеты, Калифорнийских технологический институт, Университет Торонто, Московский физико-технический институт, Высшая школа экономики и др., зарегистрировано около 25 млн. пользователей), Национальная платформа открытого образования (создана в 2015 г. по инициативе Минобрнауки РФ восьмью вузами МГУ, СПбПУ, СПбГУ, НИТУ «МИСиС», НИУ «ВШЭ», МФТИ, УрФУ и ИТМО) и др.;

- *индивидуализация обучения* – возможность выстраивания каждым студентом своей личной образовательной траектории получения знаний;

- *проектный подход* - самостоятельная исследовательская деятельность студента, имеющая конкретную научно-практическую направленность.

Индустрия 4.0 диктует необходимость приобщения студентов к информационной культуре и их информационную защиту от вредных последствий «полного погружения в информационное пространство» на основе усвоения гуманистических ценностей.

В теории идеальным субъектом неоиндустриальной экономической деятельности представляется выпускник инженерно-технического вуза, который приобрел в ходе обучения разнообразные, но системно связанные компетенции – современные профессиональные знания, умения, навыки; достаточно глубокую подготовку в области физико-математических наук; широкие

мировоззренческие и социокультурные представления; необходимые управленческие и коммуникативные качества.

Реализация «модели выпускника Индустрии 4.0» требует кардинального обновления всей системы не только профессиональной, но и гуманитарной подготовки, на базе углубления гуманизации и гуманитаризации образовательного процесса.

В отечественной и зарубежной историографии в целом сложилось достаточно устойчивое понимание «гуманизации образования» как образовательной модели, базирующейся на гуманистических ценностях и идеалах, и «гуманитаризации образования» как наполнение учебного процесса гуманитарными дисциплинами базового и вариативного освоения.

Нет сомнения, что профессиональные знания для будущего специалиста имеют приоритетное значение, но именно они устаревают и обесцениваются быстрее всего [2].

Учитывая быструю обновляемость профессиональных знаний и навыков по узкой инженерной специальности, обнадеживающим фактором следует признать то обстоятельство, что современные технические университеты не замыкаются в рамках узкопрофессиональной специализации, а видят свою миссию в фундаментальном разностороннем образовании. В свою очередь, фундаментальные знания в сфере физики и математики, а также системные историко-социальные и философско-культурологические представления устаревают не так быстро в силу их теоретико-методологической детерминированности.

Но менее всего девальвируются творческие способности – креативное мышление, готовность интеллектуально и практически осваивать новое.

Руководство ведущего технического вуза Великобритании – Имперского колледжа Лондона (Imperial College London) – заявляет, что выпускнику-инженеру XXI века жизненно и профессионально необходимы четыре компетенции: воображение (imagination), креативность (creativity), интеллектуальная маневренность (intellectual agility) способность работать в многопрофильных командах (the ability to work in multidisciplinary teams) [3].

Индустрия 2.0 была связана с интенсификацией машинного производства и требовала от специалиста досконального знания объекта производства, будь то котлы, парогенераторы, газотурбинные установки или электропривод. Индустрия 3.0, сформированная в результате информационной революции, направлена на автоматизацию и компьютеризацию отдельных технологических процессов, поэтому для специалиста достаточно получить знания и навыки владения компьютерной техникой на уровне обычного пользователя. Индустрии 4.0 базируется на полной компьютеризации производственной цепочки, от замысла физического объекта или услуги, до их реализации. При этом предусматривается, что операционные действия и

взаимодействия с партнерами могут быть доступны в режиме реального времени. В этих условиях будут востребованы специалисты, понимающие проблему и способные применять информационные системы в своей профессиональной области, начиная от поставки задачи до получения конкретного результата на основе использования информационно-коммуникативных технологий в производственной сфере, а также обладающие системным мышлением и навыками управленческой деятельности.

Один из самых авторитетных теоретиков четвертой промышленной революции и основатель Всемирного экономического форума в Давосе К. Шваб считает, что в условиях непредсказуемого будущего и меняющегося на наших глазах настоящего нет смысла устанавливать в студента запас знаний «на всю жизнь», словно программное обеспечение на жесткий диск компьютера. Такой подход соответствовал бы образовательной парадигме индустриальной эпохи. По его мнению, «уникальность четвертой промышленной революции, помимо темпов развития и широкого охвата, заключается в растущей гармонизации и интеграции большого количества различных научных дисциплин и открытий» [4].

Принципиально важно, чтобы по всем инженерно-технической направлениям уже сегодня подготовка осуществлялась по технологиям Индустрии 4.0. Это подразумевает овладение студентом не только необходимых профессиональных умений, достаточных знаний в области физико-математических наук, но и усвоение основ человеческой культуры, в том числе и универсальных компетенций – социальных, личностных, гражданских, общекультурных, полноценное формирование которых осуществимо на основе гуманитаризации процесса обучения.

Лучшие технические вузы мира, при непосредственном участии которых была совершена третья промышленная революция, а ныне зарождается четвертая, уделяют гуманитарному образованию большое внимание.

Признанный лидер Массачусетский технологический институт (Massachusetts Institute of Technology- MIT) на своем сайте подробно и обстоятельно разъясняет абитуриентам и студентам, почему социально-гуманитарное знание имеет большое значение.

Образование MIT нацелено на подготовку выдающегося инженера, ученого и гражданина. Видение исторической перспективы, понимание культурных различий, умение оценивать политические и экономические риски невозможно без глубокой гуманитарной и обществуведческой подготовки. Вектор надпрофессионального образования студентов MIT предусматривает изучение разнообразных гуманитарных дисциплин и нацелен на то, что они имеют возможность осознать «исторические перспективы, навыки критического мышления, понимания культуры, которые

помогают им сотрудничать с людьми по всему миру, а также навыки общения, которые позволяют им слушать, объяснять и вдохновлять. Они узнают, что большинство социальных ситуаций не имеют единственного правильного ответа, что сама жизнь редко ... так же точна, как математическая проблема, так же ясна, как «элегантное уравнение» [5].

III. ГУМАНИТАРНАЯ КОРРЕКЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Компетентностный подход, утвердившийся в отечественной системе высшего образования с внедрением Федеральных государственных стандартов высшего профессионального образования третьего поколения, реализуется в профессиональных и общекультурных компетенциях. Это дает возможность осуществлять подготовку специалиста на основе гармоничного соединения прикладных профессиональных, фундаментальных естественно-математических и мировоззренческих гуманитарных знаний. Однако на практике процесс реализации гуманитарного знания в инженерных вузах в своем большинстве осуществляется технократическими методами: дисциплины социально-гуманитарного цикла включаются в учебные планы механически; существенно сокращаются аудиторные часы для изучения гуманитарных наук; стремительно уменьшается дисциплинарный перечень гуманитарной подготовки и т.д. [6].

Система координат, в рамках которой функционирует гуманитарное образование, имеет свои принципы. Реинкарнация гуманитарной составляющей в отечественном инженерно-техническом образовании произойдет только тогда, когда атрибутивными свойствами гуманитарного образования в вузе станут системность и непрерывность, интегрированность и целостность, поступательность и преемственность.

Для Массачусетского технологического института организационной основой гуманитарной подготовки студентов является «School of Humanities, Arts, and Social Sciences» - «Школа гуманитарных дисциплин, искусства и общественных наук».

Такая же структура существует и в НИУ «МЭИ». Это Гуманитарно-прикладной институт, в состав которого с 2014 г. входят гуманитарные кафедры, что позволяет консолидировать усилия гуманитариев и осуществлять гуманитарную подготовку будущих инженеров на высоком уровне. Однако количество и объем курсов, читаемых преподавателями ГПИ студентам инженерных институтов МЭИ, в последние годы неуклонно сокращается.

Студенты-бакалавры МЭИ 25% учебного времени посвящают изучению гуманитарных, художественных и социальных дисциплин, что гарантировано действующим образовательным стандартом вуза [7]. Студенты-бакалавры МЭИ инженерных направлений подготовки

имеют 7% гуманитарных дисциплин, включая иностранный язык и экономику.

В 1990-е годы в Московском энергетическом институте была разработана концепция гуманитаризации инженерного образования. Реализация концепции включала образовательную составляющую: гармонизация профессиональной и гуманитарной подготовки студентов - и воспитательную составляющую: формирование интеллектуальной элиты – российской научно-технической интеллигенции. Гуманитарная часть обучения будущих инженеров-энергетиков была представлена такими учебными дисциплинами гуманитарного цикла как история, философия, культурология, политология, социология, основы гуманитарных знаний, правоведение, а также иностранный язык и экономические курсы. Их преподавание имело логическую последовательность, содержательную преемственность, непрерывно сопровождало студентов все годы обучения.

Начиная с 2016 г. в учебных планах по большинству направлений инженерной подготовки НИУ «МЭИ» гуманитарная составляющая представлена двумя базовыми дисциплинами – история и философия. Счастливым исключением для гуманитариев можно считать присутствие в расписании некоторых инженерных институтов (ИРЭ, ИТАЭ) таких курсов как культурология, мировые цивилизации: история и культура, политология, социология.

Декларативное понимание важности того, чтобы гуманитарные дисциплины изучались студентом на протяжении всего периода обучения в вузе, а он имел возможность постоянно находиться в соответствующей историко-культурной среде, регулярно соприкасаться с социо-гуманитарной сферой, вступает в глубокое противоречие с практической реализацией этого тезиса.

Определенный ресурс более эффективного преподавания гуманитарных дисциплин связан с информатизацией учебного процесса на основе создания и использования электронных образовательных ресурсов (ЭОР). На кафедре Истории и культурологии НИУ «МЭИ» накоплен значительный теоретический и практический опыт по подготовке и внедрению информационно-коммуникативных технологий в преподавание истории и других гуманитарных дисциплин, что значительно стимулирует познавательный интерес студентов к историко-культурным знаниям, придает учебной работе проектный характер, способствует обновлению содержания учебных дисциплин [8].

С конца 1990-х годов одним из приоритетных направлений деятельности кафедры стало освоение компьютерных технологий и внедрение их в учебный процесс. Преподавателями кафедры подготовлено более 15 наименований ЭОРов, несколько из которых имеют государственную регистрацию как программы ЭВМ. Среди них «Мультимедиа обучающий комплекс по Отечественной истории», ЭУМК «Основы гуманитарных

знаний - Введение в историю мировых цивилизаций», электронные учебники «Древние культуры» и «Мир Средневековья: духовные истоки и культурные традиции». В 2018 г. государственную регистрацию программы для ЭВМ получил программный комплекс «История России в мировом историческом развитии» для обучения студентов высших учебных заведений неисторических направлений подготовки.

Концептуально-методологические и методические подходы в разработке и использовании ЭОР историко-культурной направленности определяются следующими позициями: теоретическая и фактологическая фундаментальность; содержательная адаптированность к учебным планам и рабочим учебным программам; методическое сопровождение; наличие контролирующего инструментария; применимость в аудиторной и внеаудиторной работе, в том числе и в процессе дистанционного обучения.

Типичная модель ЭОР по историко-культурным дисциплинам включает несколько модулей, которые содержательно и программно связаны между собой: обучающий (лекции, семинарские занятия), контрольный (тесты, вопросы для самопроверки), справочный (интерактивные гиперссылки, глоссарий, хронологические таблицы, биографические сведения, список обязательной и дополнительной литературы), методический (конкретные методические указания по изучению лекционного и семинарского материала).

Для тестирования используется функционирующая в НИУ «МЭИ» система «Прометей», которая дает возможность полноценного осуществления процесса дистанционного обучения и независимой проверки знаний. Преподаватели кафедры, участвующие в дистанционном обучении студентов, используют возможности «Прометей», для организации и управления учебным процессом.

Так, в подсистеме «Библиотека» размещен мультимедийный курс «Отечественная история», который состоит из электронного учебного пособия (ЭУП), содержащего обширный иллюстративный, справочный, методический, контрольный сегменты. В ЭУП выделены четыре раздела 1. Древнерусское государство и удельная Русь; 2. Московское самодержавное государство; 3. Российская империя; 4. Россия в XX - в начале XXI столетия. Структурно каждый раздел включает тексты 3-6 лекций, хронологическую таблицу, вопросы и тесты для самопроверки, литературу. Контроль за усвоением студентами материала осуществляется через выполнение ими 4-х письменных работ и 5 тестов (4 теста по каждому разделу и итоговый тест по всему курсу) в режиме «on line» с автоматической демонстрацией результатов.

За период 2005-2018 гг. дополнительное образование по дистанционной системе по таким дисциплинам как история, культурология, мировые цивилизации, философии и культуры получили 2786 студентов НИУ «МЭИ».

Комплексный характер содержания ЭОР обеспечивают основные компоненты образовательного процесса (предоставление информации, различные методики усвоения, контроль). Использование интерактивных моделей существенно ускоряет процесс представления учебного материала и повышает качество его усвоения, в том числе и через яркие визуальные образы.

Возрастание возможностей использования информационно-коммуникативных технологий в преподавании гуманитарных дисциплин связано развитием цифровой гуманитаристики, или цифровых гуманитарных наук (Digital humanities). Создание цифровых гуманитарных исследований предполагает междисциплинарный подход, в котором соединяются методология и методики гуманитарных знаний и компьютерные технологии.

Сегодня информационные технологии широко применяются в исторической науке. Для систематизации исторических источников и исторических исследований формируются библиотеки электронных исторических ресурсов: базы данных архивных материалов, цифровые изображения исторических документов и старинных книг, электронные версии исторических источников.

Электронные базы исторических источников и научных исследований историков (статьи, монографии, диссертации, материалы конференций и т.д.) становятся доступны широкой аудитории через Интернет и могут быть использованы в преподавании исторических дисциплин. Это позволяет значительно расширить возможности гуманитаризации технического образования студентов, имеющего целью сформировать будущего специалиста, как носителя гуманитарной культуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] См.: Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо, 2016.
- [2] См.: Вершловский С.Г. Непрерывное образование. СПб.: СПбАППО, 2007. С. 31-32.
- [3] MEng Mechanical Engineering with a Year Abroad // [Электронный ресурс]: <https://www.imperial.ac.uk/study/ug/courses/mechanical-engineering-department/mechanical-engineering-with-a-year-abroad/>. Дата обращения 28.03.2018.
- [4] Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо, 2016.
- [5] The power of the humanities, arts, and social sciences at MIT respond. [Электронный ресурс]: <https://shass.mit.edu/news/news-2014-power-of-humanities-arts-social-sciences-at-mit>. Дата обращения 28.03.2018.
- [6] См.: Смирнова М.И. Гуманитарная подготовка студентов инженерно-технических вузов: некоторые аспекты современной теории и практики // Будущее инженерного образования. Сборник научных статей. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2016. С. 171-179.
- [7] The power of the humanities, arts, and social sciences at MIT respond. [Электронный ресурс]: <https://shass.mit.edu/news/news-2014-power-of-humanities-arts-social-sciences-at-mit>. Дата обращения 28.03.2018.
- [8] См.: Смирнова М.И., Родин А.Б. Гуманитаризация инженерного образования как вектор развития современной высшей школы // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова. Бишкек 2014. № 32 (часть 1), С.491-494.



Секция 2

**ИНФОРМАЦИОННОЕ
И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ**

Реализация модульной CBR-системы для изучения студентами принципов машинного обучения на основе прецедентов

Алехин Р.В.¹, Блашонков Т.О.², Мухачёва И.Е.³, Поляков С.А.⁴

Кафедра Прикладной математики

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

Москва, Россия

¹r.alekhin@gmail.com, ²timolb@yandex.ru, ³muirishka@yandex.ru, ⁴serchos96@yandex.ru

Аннотация — В работе рассматриваются вопросы, связанные с реализацией модульной системы поиска решения на основе прецедентов, позволяющей обучающимся создавать и редактировать библиотеку прецедентов, выполнять анализ данных в ней и их оптимизацию. Данное программное средство ориентировано на изучение студентами базовых принципов машинного обучения.

Ключевые слова — прецедентный подход, машинное обучение, анализ данных, CBR-система.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время возрастает потребность в анализе больших данных для различных прикладных областей, таких как медицина, распознавание образов и речи, биоинформатика, бизнес и т.д. Одним из самых перспективных и актуальных методов анализа больших данных на сегодняшний день является применение машинного обучения – класса методов искусственного интеллекта, характерной чертой которых является не прямое решение задачи, а обучение в процессе применения решений множества сходных задач [1]. Одним из подходов, широко используемых в задачах машинного обучения, является подход на основе прецедентов (Case-Based Reasoning – CBR).

В данной работе рассматриваются различные вопросы, связанные с разработкой программных средств, реализующих модульную прецедентную систему (CBR-систему), предназначенную для изучения студентами основных методов машинного обучения на основе прецедентов и решения задач классификации, кластеризации, прогнозирования и др.

II. РАССУЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТОВ

Прецедент (от латинского praecedentis – предшествующий) определяется как случай, имевший место ранее и служащий примером или оправданием для последующих случаев подобного рода [2].

Рассуждения на основе прецедентов (CBR) является подходом, позволяющим решить новую, неизвестную

задачу, используя или адаптируя решение уже известной задачи, т.е. используя уже накопленный опыт решения подобных задач.

Для эффективного применения CBR-систем не требуется глубокого анализа предметной области, достаточно указать проблему и ее решение путем предоставления нескольких примеров, аналогичных случаев и ссылок на некоторое сходство.

К достоинствам рассуждений на основе прецедентов относятся:

1. возможность использовать опыт, накопленный системой без активного привлечения эксперта из различных предметных областей;
2. возможность уменьшить время поиска решения поставленной задачи за счет использования уже имеющегося решения для аналогичной задачи;
3. отсутствует необходимость детального и углубленного рассмотрения знаний о конкретной предметной области;
4. возможно применение эвристик, повышающих эффективность решения задач.

К недостаткам рассуждений на основе прецедентов относятся:

1. с ростом библиотеки прецедентов (БП) снижается быстродействие и увеличиваются требования по памяти;
2. проблематичным является определение критериев для индексации и сравнения прецедентов;
3. невозможность получения решения задач, для которых нет прецедентов или степень их сходства меньше заданного порогового значения [2].

Процесс вывода на основе прецедентов включает четыре основных этапа, образующих цикл рассуждения на основе прецедентов или CBR-цикл (рис. 1).



Рис. 1. CBR-цикл

Основными этапами CBR-цикла являются:

1. извлечение наиболее адекватного прецедента (или прецедентов) для сложившейся ситуации из БП;
2. повторное использование извлеченного прецедента для попытки решения текущей проблемы;
3. пересмотр и адаптация в случае необходимости полученного решения в соответствии с текущей проблемой;
4. сохранение вновь принятого решения как части нового прецедента.

представления прецедентов и соответственно со способом организации БП.

Существует целый ряд методов извлечения прецедентов и их модификаций:

- метод k ближайших соседей;
- метод извлечения на основе деревьев решений;
- метод извлечения с учётом применимости прецедентов;
- метод извлечения с использованием аппарата искусственных нейронных сетей.

Каждый из этих методов обладает своими преимуществами и недостатками. И поэтому выбор метода решения зависит от специфики конкретной задачи и располагаемых ресурсов, например, времени, объемов памяти вычислительного кластера и т.д.

III. СПОСОБЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРЕЦЕДЕНТОВ

В общем случае модель представления прецедента включает описание ситуации, решение для данной ситуации и результат применения:

$$CASE = (Situation, Solution, Result),$$

где *Situation* – ситуация, описывающая данный прецедент, а *Solution* – решение (например, диагноз и рекомендации ЛПП), *Result* – результат применения решения [3].

Основные способы представления прецедентов можно разделить на следующие группы: параметрические; объектно-ориентированные; специальные (в виде деревьев, графов, логических формул и т.д.).

В большинстве случаев для представления прецедентов достаточно простого параметрического представления, т.е. представления прецедента в виде набора параметров с конкретными значениями и решениями. В связи с этим для разработки приложения был выбран именно этот способ представления прецедентов.

Для успешной реализации рассуждений на основе прецедентов необходимо обеспечить корректное извлечение прецедентов из БП [4]. Выбор метода извлечения прецедентов напрямую связан со способом

IV. МОДУЛЬНАЯ CBR-СИСТЕМА

Разработанная программная CBR-система предназначена для использования в учебном процессе при изучении студентами методов машинного обучения на примере реализации отдельных модулей. Каждый модуль представляет собой компонент CBR-системы.

На данном этапе разработки нами реализованы следующие модули:

1. модуль извлечения наиболее подходящего прецедента (или прецедентов);
2. модуль сохранения вновь принятого решения как части нового прецедента;
3. модуль пользовательского интерфейса;
4. модуль взаимосвязи БП с СУБД.

В качестве алгоритма извлечения прецедента из БП нами был выбран и реализован алгоритм k ближайших

соседей (KNN). Рассмотрим его основные преимущества и недостатки.

Преимущества:

1. нужно знать только функцию близости между объектами, сами признаки не нужны;
2. может быть применен к объектам любой структуры, если задана функция близости;
3. простая логика работы и реализация;
4. разумное объяснение результатов классификации.

Недостатки:

1. с ростом БП снижается быстродействие и увеличиваются требования по памяти;
2. точность ухудшается с ростом размерности пространства;
3. проблема выбора метрики.

Именно из-за простоты логики алгоритма и наглядности результатов его работы было принято решение применить данный метод.

Метод к ближайших соседей относит объект к тому классу y_i , которому принадлежит большинство из его соседей — к ближайшим к нему объектам обучающей выборки x_i . В задачах с двумя классами число соседей берут нечётным, чтобы не возникало ситуаций неоднозначности, когда одинаковое число соседей принадлежат разным классам.

Частным случаем метода к ближайших соседей (при $k=1$) является метод ближайшего соседа.

Для определения ближайшего объекта выборки нами были использованы следующие метрики:

Евклидово расстояние:

$$\rho(x, z) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - z_i)^2}$$

$L1$ (Манхэттенское расстояние):

$$\rho(x, z) = \sum_{i=1}^N |x_i - z_i|$$

$L\infty$ (Расстояние Чебышева):

$$\rho(x, z) = \max_{i=1,2,\dots,N} |x_i - z_i|$$

Перед использованием данных и других метрик необходимо нормализовать признаки (например, выборка может содержать и концентрацию, измеряемую в десятых или сотых долях процентов, и давление в сотнях тысяч паскаль), в качестве способа нормализации нами использовался способ нелинейной нормализации с использованием сигмоидной логистической функции.

В рамках реализованной CBR-системы было создано веб-приложение на языке python 3.4. с использованием фреймворка flask.

Flask — свободно распространяемый фреймворк для создания веб-приложений на языке программирования Python. Относится к категории так называемых микрофреймворков — минималистичных каркасов веб-приложений, предоставляющих лишь базовые возможности [5].

Выбор данного фреймворка обусловлен его гибкостью при работе с базами данных разной структуры, а так же широкими возможностями по расширению функционала.

Для хранения прецедентов была выбрана СУБД SQLite. Выбор в пользу SQLite был сделан из-за того, что данная СУБД обладает значительной степенью автономности, то есть она требует минимальной поддержки от внешних библиотек или от операционной системы.

Для разработки пользовательского интерфейса был использован язык разметки html, каскадные таблицы стилей css, язык программирования javascript, а также интерфейсный фреймворк bootstrap.

Разработанная программа позволяет выполнять редактирование и анализ данных, сравнивать различные методы их обработки, с целью определения наилучшего для решения поставленной задачи.

Для работы приложения необходимо наличие БП. Для этого нужно создать структуру будущей БП и внести в нее прецеденты, также можно загрузить данные из файла формата Comma-Separated Values (.csv) или Text (.txt), содержащего набор данных. В этом случае программа автоматически сгенерирует структуру БП и заполнит ее данными из файла (рис. 2). В случае необходимости предусмотрена возможность редактирования БП с помощью изменения существующих прецедентов, удаления и добавления новых. Можно изменить структуру БП, путем удаления существующих или добавления новых полей.

Укажите имя будущей базы прецедентов:

Введите число столбцов:

Все типы "целый"
 Все типы "вещественный"
 Все типы "текст"
 Все типы "другой"

Программные имена столбцов

Создать БП по файлу

Iris.txt

Создать схему БП по файлу

Скопировать данные из файла в БП

В файле есть колонка ID

Рис. 2. Создание БП

Реализация алгоритмов машинного обучения

Iris

id	x1	x2	x3	x4	class
129	6.4	2.8	5.6	2.1	Iris-virginica
130	7.2	3	5.8	1.6	Iris-virginica
131	7.4	2.8	6.1	1.9	Iris-virginica
132	7.9	3.8	6.4	2	Iris-virginica
133	6.4	2.8	5.6	2.2	Iris-virginica
134	6.3	2.8	5.1	1.5	Iris-virginica
135	6.7	3.4	5.9	1.4	Iris-virginica

Выбрать обучающую выборку в таблице
 Выбрать класс. данные в таблице
 Добавить класс. данные

Диапазон:

Выбор алгоритма:
 Выбор метрики:
 Количество соседей:

Рис. 3. Классификация по методу ближайших соседей

Рассмотрим работу CBR-системы на примере решения задачи классификации. Для этого необходимо выбрать нужный алгоритм извлечения прецедентов и, при необходимости, указать дополнительные параметры. Например, при использовании алгоритма ближайших соседей нужно указать метрику и число соседей. В результате работы программа выведет решение задачи классификации и ее точность (рис. 3).

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время все чаще встречаются ситуации, когда поставленную задачу крайне сложно решить по причине большого объема данных и сложных взаимосвязей. По этой причине приходится прибегать к использованию методов и средств машинного обучения и, в частности, методам на основе прецедентов. Указанные средства и технологии помогают в решении задач подобного рода. В работе основное внимание уделено описанию возможностей и особенностей рассуждений на основе прецедентов и реализованному приложению (CBR-системе), применяемому в учебном процессе при изучении магистрами ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» по направлению «Прикладная математика и информатика» в рамках дисциплин «Современные компьютерные технологии» и

«Программное обеспечение интеллектуальных систем» методов машинного обучения для анализа данных и решения основных задач, таких как задачи классификации, кластеризации и прогнозирования.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов №18-01-00459, №17-07-00553.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Машинное обучение [Электронный ресурс]. URL: (http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Машинное_обучение).
- [2] Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 2. С. 45-47.
- [3] Варшавский П.Р., Алехин Р.В., Ар Кар Мьо, Зо Лин Кхаинг Реализация прецедентного модуля для интеллектуальных систем // Программные продукты и системы / Software & Systems. – 2015. - № 2. – С. 26-31.
- [4] Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход. — 2 изд.. М.: Издательство «Вильямс», 2007. 1410 с.
- [5] Flask (A Python Microframework) [Электронный ресурс]. URL: (<http://flask.pocoo.org/>).

Реализация программного приложения анализа WIKI-статей для создания базы знаний по теоретической электротехнике

Алехин Р.В.¹, Варшавский П.Р.², Кожевников А.В.³

Кафедра Прикладной математики

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

Москва, Россия

¹r.alekhin@gmail.com, ²varp@appmat.ru,

³antoko@yandex.ru.

Бутырин П.А.⁴, Шакирзянов Ф.Н.⁵, Сапунова А.А.⁶

Кафедра Теоретических основ электротехники

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

Москва, Россия

⁴butyrinpa@mpei.ru, ⁵3728049@mail.ru,

⁶sapunova_anna@bk.ru.

Аннотация — Данная работа посвящена вопросам, связанным с разработкой компьютерных средств обучения. Основное внимание в работе уделено реализации программного модуля для анализа wiki-статей и автоматического формирования подборок статей для создания компьютерных средств обучения на примере базы знаний по электротехнике.

Ключевые слова — компьютерные средства обучения, электронные энциклопедии, базы знаний, технология wiki, теоретические основы электротехники

I. ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование современных компьютерных средств обучения (КСО), электронных библиотек (ЭБ) и баз знаний (БЗ) привело к тому, что компьютеры становятся неотъемлемой частью системы обучения студентов. Использование КСО играет важную роль в процессе обучения и положительно влияет на его показатели.

В данной работе рассматриваются различные аспекты, связанные с разработкой программных средств анализа и автоматического формирования подборок wiki-статей из БЗ по теоретическим основам электротехники (ТОЭ) [1] для использования в учебно-научном процессе кафедры ТОЭ НИУ «МЭИ».

II. ЗАДАЧА СОЗДАНИЯ КСО ПО ТОЭ

Дисциплина ТОЭ даёт базу профессионального языка, фундаментальные знания, общую методологию решения исследовательских задач для студентов всех специальностей, обучающихся по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника». Эта дисциплина формирует также подвижную диспозицию социокультурных-исторических, культурологических, философских, социологических сведений, связанных с этим направлением. Таким образом, ТОЭ – базовая и одновременно самая сложная, объёмная и многоплановая дисциплина в данном направлении подготовки. В этой связи задача обеспечения хорошего гештальта (целостного видения, восприятия) знаний по ТОЭ с возможностью

эффективного их самостоятельного освоения и непрерывного пополнения чрезвычайно важна. Задача создания БЗ по ТОЭ как эффективного, современного, образовательного ресурса впервые была заявлена на открытом международном конгрессе UIE [2]. КСО, Internet и Web-технологии дают технологическую основу создания подобной БЗ. Новый габитус (стиль жизни), порожденный гаджетно-планшетной революцией, определяет и ментально-поведенческую предрасположенность студентов, а вместе с ними инженеров и научных работников к восприятию этой БЗ в качестве основного хранилища знаний по ТОЭ и эффективного образовательного инструмента их освоения и пополнения. Подобная БЗ отвечает потребностям интеллектуализации и «цифровизации» электроэнергетики и электротехники.

III. ТЕХНОЛОГИЯ WIKI

Wiki – открытая технология Интернет, основополагающий принцип которой заключается в том, что любой посетитель wiki-ресурса может самостоятельно изменять его структуру и содержимое с помощью инструментов, предоставляемых таким ресурсом.

Технология wiki характеризуется следующими основными признаками:

- совместная работа и контроль версий;
- язык wiki-разметки;
- использование гипертекста.

Технология wiki лежит в основе многих проектов Фонд Викимедиа (Wikimedia Foundation, Inc.) (например, интернет-энциклопедия Wikipedia, Wikiversity, web-сайт для коллективного написания учебной литературы Wikibooks и др.) [3], научных ресурсов (MachineLearning.ru, Scholarpedia и др.), а также в основе корпоративных и частных БЗ.

Важной составляющей совместной работы является контроль версий. Wiki-системы позволяют сравнивать разные версии документа, отслеживать вносимые правки, обсуждать изменения, предлагать или отклонять новые

материалы, восстанавливать предыдущие версии документа.

Еще одной особенностью wiki-систем являются правила построения связей между гипертекстовыми документами. В отличие от традиционного гипертекста для обращения к документу на wiki- ресурсе достаточно указать его название, которое совпадает с заголовком документа. Это облегчает как создание ссылок между существующими документами, так и создание новых документов. Если пользователь запрашивает несуществующий документ, тогда система предлагает создать документ с таким именем.

IV. СЕМАНТИЧЕСКИЙ WIKI

Несмотря на все преимущества, традиционные wiki-системы имеют ряд недостатков, которые проявляются при увеличении БЗ. Среди проблем классических wiki-систем можно выделить неупорядоченность информации и невозможность структурирования, что может привести к сложности поиска и извлечения знаний и необходимости идентификации дублируемых данных, а также выявления противоречий. Семантический wiki может помочь в решении указанных проблем [4].

Семантический wiki – web-приложение, использующее машинообрабатываемые данные со строго определенной семантикой для того, чтобы расширить функциональность wiki-системы. Принято выделять следующие отличительные особенности семантических wiki-систем:

- семантические аннотации (например, для указания типа связей ссылок между статьями);
- контекстное представление данных (например, отображение схожих по тематике статей, контекстно-зависимые ссылки);
- поддержка стандартов Semantic Web, поддержка форматов RDF, OWL, языка запросов SPARQL;
- семантический поиск на основе запросов;
- поддержка логического вывода.

Реализации семантических wiki-систем можно разделить по способу хранения метаданных на два типа. Первый тип (Semantic MediaWiki и др.) подразумевает включение семантических аннотаций прямо в текст страницы с помощью расширенной wiki-разметки, в системах второго типа (OntoWiki и др.) структурированные данные хранятся отдельно и вносятся с помощью специального интерфейса ввода.

V. О РЕАЛИЗАЦИИ БЗ ПО ТОЭ

Структурирование знания по ТОЭ целесообразно представить в виде семантической сети, главным блоком которой является блок базисных категорий <язык ТОЭ; материальные объекты; явления, эффекты и процессы; законы; уравнения; задачи; методы...>. Каждая из этих категорий представляет собой некоторую онтологию -

семантическую сеть специального типа, элементы которой содержат упорядоченное описание определенных базисных понятий. Так фрагмент онтологии некоторых блоков языка ТОЭ <определение → алфавит → словарь основных понятий → физические величины в электротехнике и их единицы → кратные и дольные единицы физических величин → знаковые обозначения → часто используемые буквенные сокращения (акронимы) → латинский и греческий алфавит.

Также представляются в виде онтологии и другие структуры, например, словарь основных понятий, реализованный в ГОСТ Р52003-2003.

Базисное понятие языка ТОЭ фиксирует содержание блока базисных категорий, так как «границы моего языка определяют границы моего мира» (Л. Витгенштейн). Блок базисных категорий содержит канонические недоступные редактированию и пополнению пользователем знания. Он надстраивается знаниями, доступными корректировке. Это прежде всего знания, выходящие за рамки базисных понятий и категорий, в том числе знания по теоретической электротехнике – научной дисциплине (специальность 05.09.05) надстраиваемой над учебной дисциплиной ТОЭ, и знания по историческим, социокультурным, экологическим и экономическим аспектам электротехники. Самой сложной, находящейся в стадии разработки, частью БЗ по ТОЭ является семантика обработки имеющихся знаний в направлении создания искусственного интеллекта в области теоретической электротехники.

VI. АНАЛИЗ И АВТОМАТИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ПОДБОРОК WIKI-СТАТЕЙ

С ростом объемов информации, доступной каждому пользователю, возникает проблема ее анализа и отбора. Для решения данной проблемы человеку требуется достаточно большое время, значительная часть которого тратится на анализ информации на предмет её актуальности [5,6]. Поэтому для уменьшения затрат на поиск информации и формирования необходимого набора знаний в виде подборки wiki-статей для КСО было разработано приложение, собирающее информацию на отдельном ресурсе на технологии MediaWiki, и автоматически формирующее подборку wiki-статей по определённой тематике, касающейся заданного пользователем понятия.

Для работы приложения необходимо выбрать интересующий wiki-ресурс, выбрать интересующее пользователя понятие и ввести разделы для категоризации статей. Образовательные wiki-ресурсы часто ссылаются за свои пределы, например на официальный сайт Википедии, поэтому приложение ограничено только рамками выбранного ресурса.

Приложение работает по алгоритму, предложенному на Рис.1.

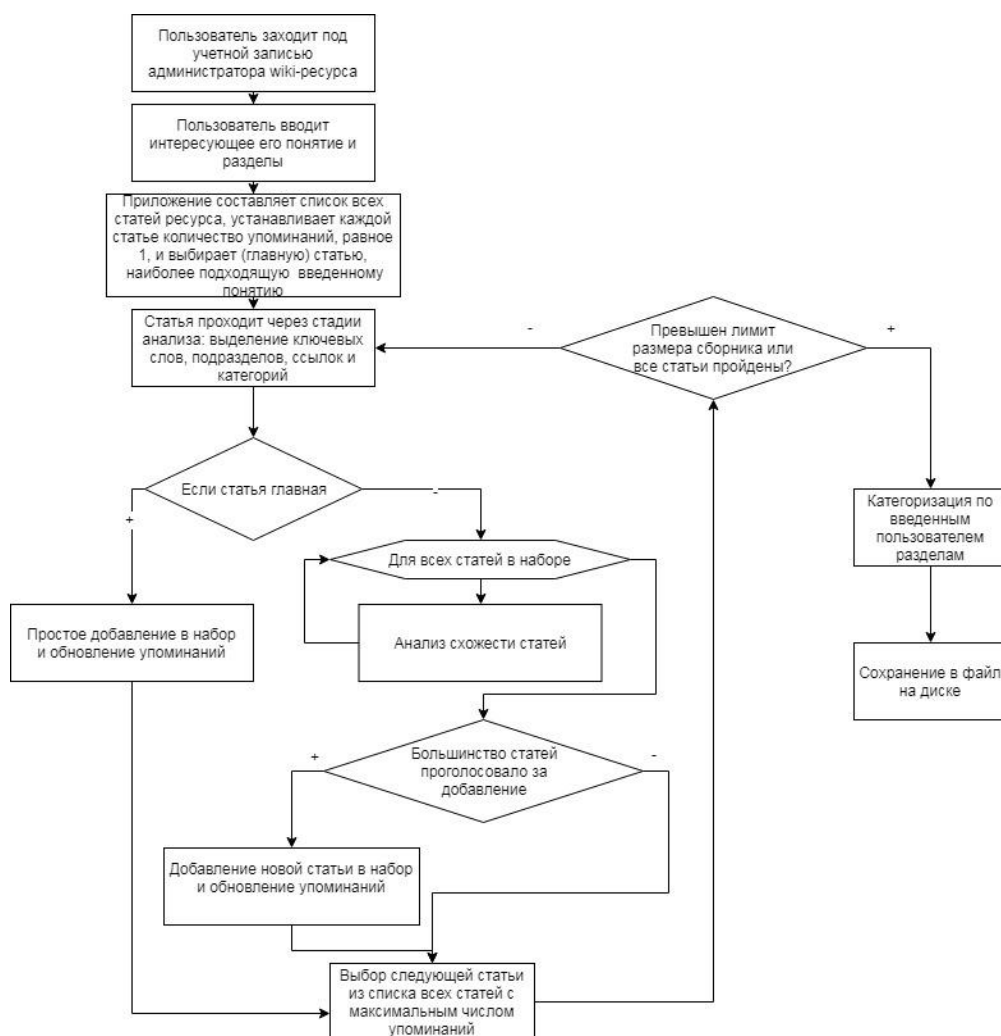


Рис. 1. Алгоритм работы приложения анализа wiki-статей.

Каждая сохраненная в памяти статья проходит через несколько стадий анализа:

- выделение ключевых слов в кратком описании;
- выделение подразделов (оглавление);
- выделение ключевых слов в основном тексте с учетом статистических характеристик;
- выделение ключевых слов в основном тексте с учетом авторского выделения шрифтом;
- выделение ссылок;
- выделение категорий.

В случае главной статьи, статья добавляется в набор, а ее выделенные ссылки проходят процедуру обновления упоминаний: в списке всех статей для статей, соответствующим выделенным ссылкам, увеличивается число упоминаний.

В случае же неглавной статьи, полученная информация проходит через процедуру сравнения со статьями в памяти

приложения. Для определения схожести двух статей используется коэффициент Жаккара:

$$K_i = \frac{c}{a + b - c},$$

где a — количество характеристик новой статьи; b — количество характеристик статьи, хранящейся в памяти приложения; c — количество общих характеристик для двух сравниваемых статей.

Сравнение двух статей включает следующие этапы:

- 1) проверка сходства содержания статей;
- 2) определение сходства статей по ключевым словам;
- 3) определение сходства статей по ссылкам на другие статьи;
- 4) определение сходства статей по категориям;
- 5) принятие решения о добавлении новой статьи в сборник с учётом вычисленной степени сходства и заданных коэффициентов (80% для неглавных статей, 60% для главной статьи).

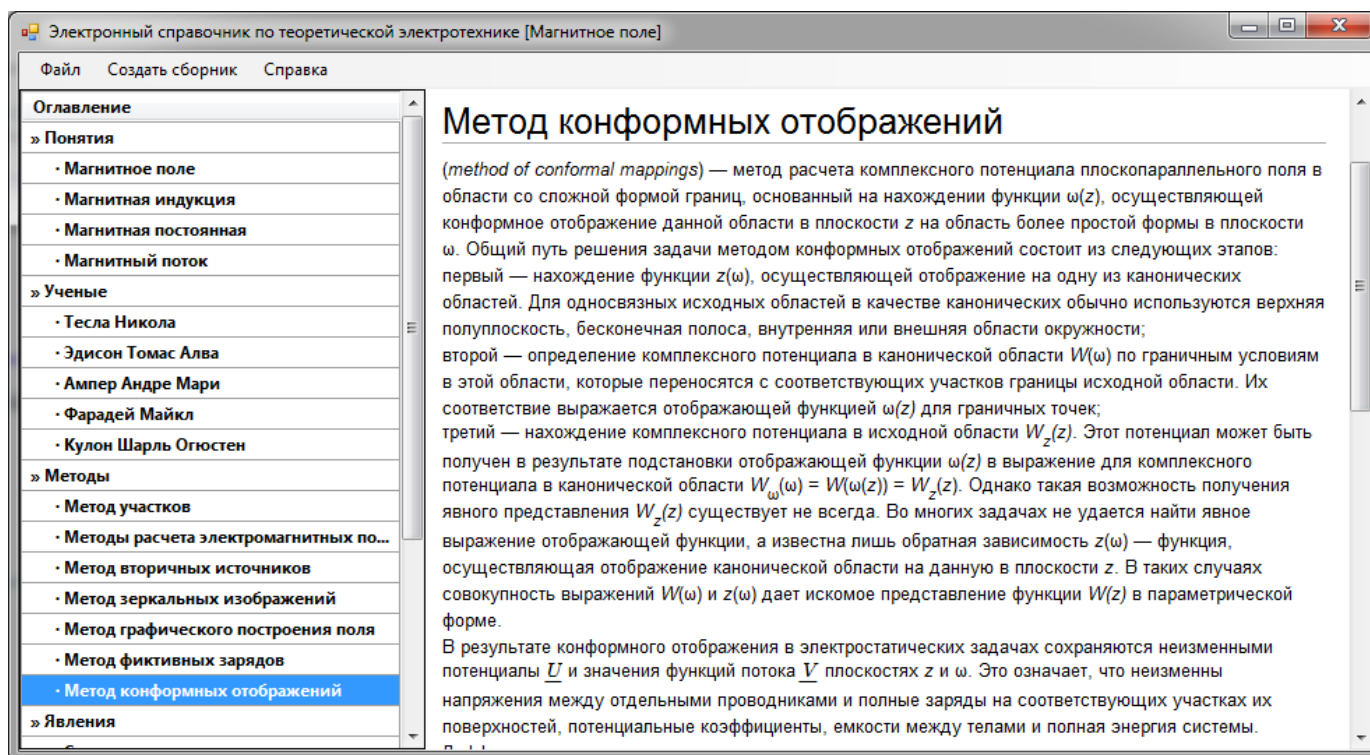


Рис. 2. Пример результата работы приложения.

Если в результате сравнения новой статьи с имеющимися в подборке больше половины статей вернули результат-согласие о её добавлении в набор, то статья добавляется в набор, а ее ссылки отправляются на процедуру обновления упоминаний.

Данная статья вычеркивается из списка всех статей, а далее для анализа выбирается следующая статья с наибольшим числом упоминаний.

После получения всего набора статей, статьи проходят категоризацию на выбранные разделы, с целью структуризации подачи материала. Пользователь вводит желаемые разделы и их ключевые слова.

В итоге работы приложения в памяти сохраняется подборка статей по одной тематике вокруг указанного пользователем понятия (Рис. 2), данная подборка может быть сохранена на жёстком диске и может быть доступна для просмотра в любое время.

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день Интернет и Web технологии являются неотъемлемой частью образовательного процесса и основным инструментом разработки КСО и систем дистанционного обучения. Указанные средства и технологии активно применяются при реализации

современных ЭБ, корпоративных и частных БЗ. В работе основное внимание уделено описанию возможностей и особенностей технологии wiki для разработки КСО и реализованному программному приложению для анализа и автоматического формирования подборок wiki-статей, способном уменьшить затраты при разработке ЭБ и БЗ на сбор и анализ информации из сети Internet.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Бутырин П.А., Варшавский П.Р., Еремеев А.П., Алехин Р.В. Методы и программные средства построения компьютерных средств обучения по электротехнике на основе технологии wiki. Открытое образование - №6 (107), М.: МЭСИ, 2014. – с. 49-55.
- [2] Butyrin P.A. GRADUATE ELECTRICAL ENGINEERING EDUCATION IN RUSSIA XVII Congress International Union for Electricity Applications (UIE), 2012, 21-25 May, St.Peterburg, pp. 13-14.
- [3] <http://ru.wikipedia.org/wiki/Wiki>
- [4] Haase, P., Herzig, D.M., Musen, M., Tran, D.T.: Semantic wiki search. In: 6th European Semantic Web Conference (ESWC2009). Volume 5554 of LNCS., SpringerVerlag (2009) 445–460
- [5] Башмаков А.И., Башмаков И.А. Интеллектуальные информационные технологии: Учеб. пособие. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 304 с.
- [6] Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход. — 2 изд.. М.: Издательство «Вильямс», 2007. 1410 с.

Программно-методическое обеспечение дисциплины «Переходные процессы в электрических системах»

Д.П. Андрианов, Н.П. Бадалян, Г.П. Колесник

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А. Г. и Н. Г. Столетовых»

г. Владимир, Россия

andrianov@vlsu.ru, noraybadalyan@mail.ru

Аннотация — Доклад посвящен рассмотрению особенностей преподавания дисциплины «Переходные процессы в электрических системах» для бакалавриата направления «Электроэнергетика и электротехника». Проводится сопоставление решений задачи моделирования коротких замыканий в трехфазной электрической цепи для используемых программных приложений MathCad, Simulink и Electronics Workbench.

Ключевые слова — *моделирование, короткое замыкание, математические пакеты.*

I. ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Переходные процессы в электрических системах» базируется на знании основ высшей математики, теоретических основ электротехники и информатики.

Современные тенденции в учебном процессе основываются на использовании информационных технологий и программного продукта [1].

Среди компьютерных технологий, направленных на решение вычислительных задач, нашли широкое распространение следующие подходы:

- Среды ускоренного программирования Delphi, C-Builder, Visual Basic и др. Данный подход требует знание основ программирования, объектно-ориентированной архитектуры, библиотек визуальных компонентов. Имеется возможность программирования практически любой закономерности с использованием средств отладки счетного алгоритма.

- Специализированные математические пакеты MATLAB, MathCad, Maple, Mathematica. Имеют специфические встроенные алгоритмические языки, позволяющие создавать вычислительные процедуры, набор библиотек функций, реализующих счетные алгоритмы. От разработчика требуются навыки разработки и отладки программных модулей.

- Системы имитационного моделирования VisSim (MathCad), Simulink (MATLAB), Multisim. Требуется знание состава библиотек объектов.

II. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Подготовка модели состоит из последовательно выполняемых шагов:

- составление схемы замещения, отображающей моделируемый объект,

- формулировка допущений, при необходимости корректировка схемы замещения,

- составление уравнений, описывающих процесс,

- выбор метода решения.

Решение может быть аналитическим или численным. В настоящее время математические пакеты имеют средства, позволяющие получать аналитическое решение дифференциальных уравнений. Наибольшую популярность получили численные методы решения.

В рамках обучения бакалавриата объектом изучения переходных процессов является идеализированная модель электрической цепи: генератор-трансформатор-нагрузка.

Моделируемая схема, однофазное исполнение которой приведено на Рис. 1, учитывает влияние трансформатора повышения напряжения, причем на входе подразумевается питание бесконечно большой мощности. Рассматривается чисто синусоидальный режим изменения тока без учета нелинейностей кривой намагничивания сердечника трансформатора. Нагрузка, показанная в схеме замещения, может включать в себя линию электропередачи, трансформаторы и т.д. В качестве примера учитывается трансформатор ТД-10000/35 с паспортными данными [2].

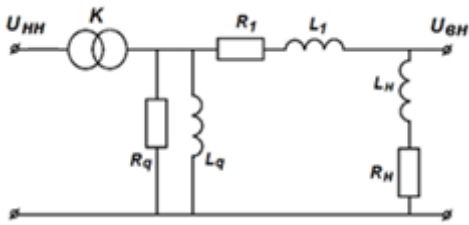


Рис. 1. Схема замещения электрической цепи с повышающим трансформатором.

Исходная математическая модель представляет собой систему дифференциальных уравнений в сосредоточенных параметрах. Для составления системы уравнений используется метод контурных токов. Так, применительно к однофазной схеме замещения для контура, состоящего из фазного источника э.д.с., сопротивления R_1 и индуктивности L_1 трансформатора, сопротивления R_H и индуктивности L_H нагрузки, для контурного тока i справедливо:

$$(L_1 + L_H) \frac{di}{dt} + (R_1 + R_H) i + U_M \sin(\omega t + \varphi) = 0,$$

где U_M – амплитудное значение напряжения на входе, ω – круговая частота, φ – фазовый сдвиг.

Рассматривается линейная модель, хотя на самом деле параметры схемы замещения зависят от уровня напряжения. В конечном итоге для контурных токов трехфазной электрической цепи получается система из 9 уравнений. Схема замещения составлена применительно к трехфазным электрическим цепям переменного тока с возможностью короткого замыкания по нагрузке одной фазы (Рис. 2).

III. ПАКЕТ ELECTRONICS WORKBENCH

Система схемотехнического моделирования Electronics Workbench (Multisim) предназначена для исследований электрических и электронных схем широкого диапазона.

При решении задач моделирования выполняется типовая последовательность действий:

- на рабочем поле программы собирается схема замещения электрической цепи из ее элементов (Рис.3),
- подключаются виртуальные измерительные приборы,
- задаются параметры генераторов входных воздействий,
- устанавливаются режимы на панелях измерительных приборов.

В решаемом примере требуется осциллограф, который настраивается на получение зависимости тока от времени в нейтральном проводе

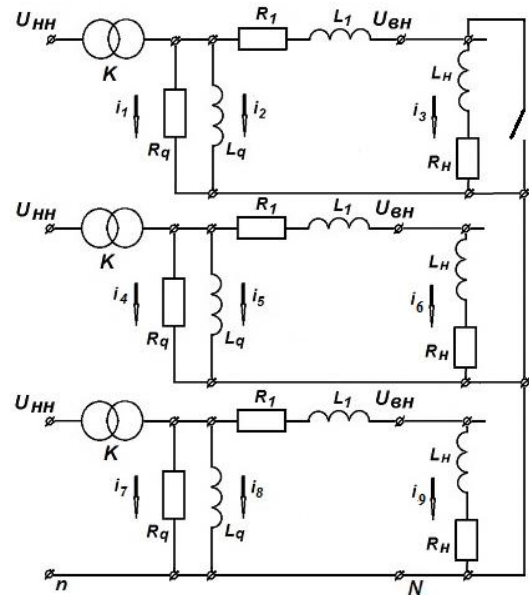


Рис.2. Схема замещения трехфазной цепи с возможностью короткого замыкания по нагрузке одной фазы.

Короткое замыкание обеспечивается переключателем, активируемым мышью после запуска на выполнение переходного процесса.

Время начала переходного процесса зависит от скорости переключения элемента управления схемой.

В начале переходного процесса, при симметричной нагрузке, ток в нейтральном проводе равен нулю. При замыкании нагрузки одной из фаз схема становится несимметричной и в нейтральном проводе возникает пиковый скачок переменного тока.

Программа Electronics Workbench по умолчанию использует определенный алгоритм решения дифференциальных уравнений, который не может быть изменен. В ряде случаев пакет не гарантирует получение корректного решения, особенно при моделировании систем, описываемых жесткими дифференциальными уравнениями.

Следует отметить минимальные затраты по времени на освоение навыков работы с программой. Интерфейс программы интуитивно понятен.

IV. ПАКЕТ MATHCAD

Использование пакета MathCad [4] подразумевает создание алгоритма вычисления за счет:

- прямого программирования действий,
- использования стандартных функций, реализующих конкретные математические методы и алгоритмы,
- имитационного моделирования в случае использования расширения VisSim.

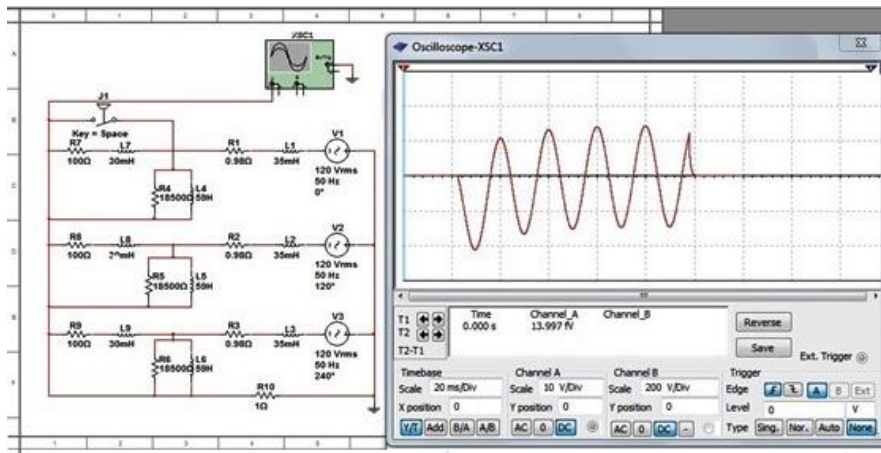


Рис.3. Пример моделирования короткого замыкания в пакете Electronics Workbench.

Система дифференциальных уравнений, описывающих трехфазную электрическую цепь приводится к матричному уравнению в форме Коши. С учетом входного языка MathCad матричное уравнение имеет вид, представленный на рис. 4. В левой части уравнения записывается матрица первых производных от неизвестных, в правой – сумма матриц свободной (произведение матрицы коэффициентов и матрицы неизвестных) и вынужденной составляющих. Короткое замыкание задается нелинейными функциями, описывающими величину активного сопротивления и индуктивности ветви нагрузки в зависимости от времени.

Для численного решения используется функция rkadapt, использующая метод Рунге-Кутты 4-го порядка с переменным шагом, применение аналогичного метода с постоянным шагом может дать неустойчивое решение (В рассматриваемом примере напряжение на выходе трансформатора порядка 35000 Вольт, при существенно меньших напряжениях авторы получали приемлимое решение с использованием вычислительных алгоритмов с постоянным шагом интегрирования).

Результат моделирования – график изменения силы тока в нейтральном проводе трехфазной цепи приведен на рис. 5.

$$\begin{aligned}
 RR(t) &= \begin{cases} R_n & \text{if } t < T_{wkd} \\ R_n & \text{if } t > T_{wkd} + \Delta T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} & LL(t) &= \begin{cases} L_n & \text{if } t < T_{wkd} \\ L_n & \text{if } t > T_{wkd} + \Delta T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
 D(t, y) &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{R_1 + RR(t) \cdot k}{L_1 + LL(t) \cdot k} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{R_1 + R_n \cdot k}{L_1 + L_n \cdot k} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{R_1 + R_n \cdot k}{L_1 + L_n \cdot k} \end{pmatrix} \cdot y - \begin{pmatrix} \frac{U_{Hn}}{R_q} \cdot \cos(100 \cdot \pi \cdot t) \\ \frac{U_{Hn}}{L_q} \cdot \sin(100 \cdot \pi \cdot t) \\ \frac{U_{Hn}}{L_1 + LL(t) \cdot k} \cdot \sin(100 \cdot \pi \cdot t) \\ \frac{U_{Hn}}{R_q} \cdot \cos\left(100 \cdot \pi \cdot t + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) \\ \frac{U_{Hn}}{L_q} \cdot \sin\left(100 \cdot \pi \cdot t + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) \\ \frac{U_{Hn}}{L_1 + L_n \cdot k} \cdot \sin\left(100 \cdot \pi \cdot t + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) \\ \frac{U_{Hn}}{R_q} \cdot \cos\left(100 \cdot \pi \cdot t + \frac{4 \cdot \pi}{3}\right) \\ \frac{U_{Hn}}{L_q} \cdot \sin\left(100 \cdot \pi \cdot t + \frac{4 \cdot \pi}{3}\right) \\ \frac{U_{Hn}}{L_1 + L_n \cdot k} \cdot \sin\left(100 \cdot \pi \cdot t + \frac{4 \cdot \pi}{3}\right) \end{pmatrix} \\
 y &= (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)^T \\
 Z &= Rkadapt(y, 0, 0.16, 1000, D)
 \end{aligned}$$

Рис. 4. Фрагмент листинга решения задачи расчета короткого замыкания (пакет MathCad)

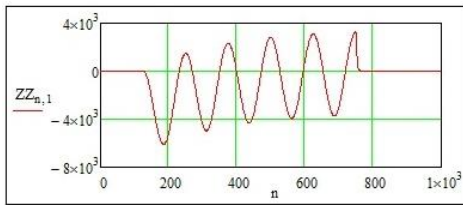


Рис. 5. Решение, полученное в пакете MathCad

V. ПАКЕТ SIMULINK - MATLAB

При структурном моделировании в среде Simulink (MATLAB) [5] система дифференциальных уравнений представляется как схемный набор динамических звеньев на рабочем поле, связанных между собой. Такой подход дает возможность проводить расчеты без написания программных модулей, что существенно сокращает трудоемкость решения задачи.

База Simulink имеет достаточное количество библиотек блочных компонентов, с помощью которых можно отображать дифференциальные уравнения, описывающие динамические процессы.

Для электротехнических расчетов наиболее востребованной является библиотека SimPowerSystems, в которой отображены источники электроэнергии, элементы электрических цепей, электрические машины, элементы силовой электроники.

Возникновение короткого замыкания обеспечивается элементами Breaker и Step – ключ и временной сигнал, переключающий ключ. При замыкании реле Breaker из электрической цепи исключается нагрузка Series RLC Branch одной из фаз (Рис.6).

Желаемая точность решения и решатель дифференциальных уравнений (Solver) задается в настройке из MATLAB.

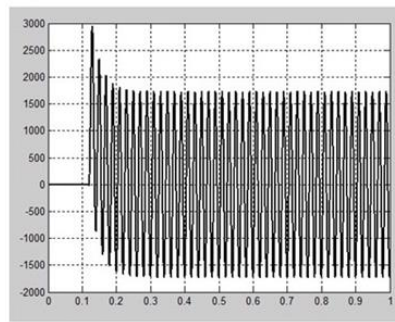


Рис. 7. Результаты моделирования в Simulink MATLAB

Элементы структурной схемы Current Measurement и To Workspace обеспечивают передачу массива данных решения в память компьютера, откуда с помощью функции plot выводится оформленный график (Рис. 7), отображающий изменение тока в нейтральном проводе трехфазной электрической цепи. Использование блока Scope дает ограниченные возможности для оформления результатов расчета.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках рассматриваемой дисциплины имеется возможность применять комплексный подход к изучению моделирования переходных процессов. Комплексный подход подразумевает использование нескольких программных продуктов, реализующих разные методы к решению задачи, что способствует улучшению усвояемости материала обучаемыми.

Трудоемкость рассмотренных способов моделирования разная. Наименее затратным является использование пакета Multisim, однако при этом не гарантируется получение корректного результата. Наиболее трудоемкие способы – программирование в MathCad (MATLAB) – требуют определенных усилий на отладку счетных модулей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Андрианов Д.П. Использование математических пакетов при изучении дисциплин направления «Электротехника и электротехника» Труды Международной научно-методической конференции «Информатизация инженерного образования». – М.: Издательский дом МЭИ, 2016, с 35-36.
- [2] Герасименко А.А. Передача и распределение электрической энергии / А.А. Герасименко, В.Т. Федин – М.: КНОРУС. 2014. – 648 с.
- [3] Панфилов Д.И. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 332 с.
- [4] Дьяконов В.П. MathCad 2001: учебный курс – СПб.: Питер, 2001. – 624 с.
- [5] Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Основы применения. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 800 с.

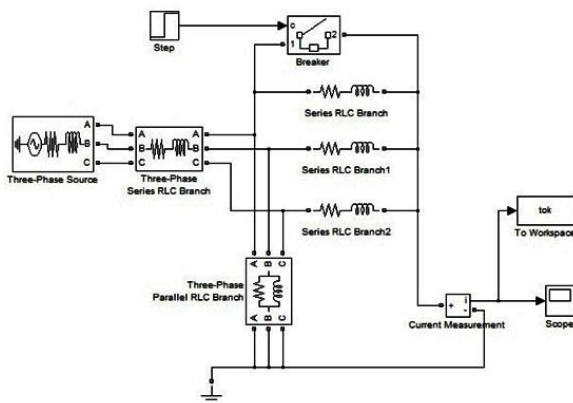


Рис. 6. Структурная схема моделирования короткого замыкания (пакет Simulink-MATLAB).

Учебный программный комплекс расчета жесткой ошиновки при проектировании электрооборудования

Артюхов О.И., Козина М.А., Федоров М.М.
НИУ МЭИ
Москва, Россия

Гуров Д.П.
АО «ЦТЗ» ПАО РОССЕТИ
Москва, Россия

Рассматриваются общие вопросы разработки программного комплекса для автоматизации расчетов элементов электроэнергетических систем. Комплекс ориентирован на узкую предметную область задач жесткой ошиновки в установках класса напряжений до 35 кВ. Приведены положенные в основу расчетных процедур математические соотношения и формулы. Описаны база данных комплекса, обобщенный алгоритм его работы, пользовательский интерфейс. Дана информация о программной реализации и перспективах дальнейшей разработки комплекса, а также использовании его в учебном процессе.

Ключевые слова — электротехнические системы, электродинамическая стойкость, жесткая ошиновка, автоматизированный расчет параметров, программный комплекс расчета электродинамической стойкости, подбор изоляторов и коробов, расчетная схема в виде равно пролётной балки, виды сечений шин, пользовательский интерфейс.

I. ВВЕДЕНИЕ

В работе практически всех компонентов современных электрических и энергетических систем можно выделить четыре основных режима: аварийный, послеаварийный, ремонтный и нормальный, причем первый из них носит кратковременный характер, остальные же, как правило, длятся достаточно продолжительное время. При проектировании электротехнических систем и устройств сегодня доминирует подход, когда состав и параметры электрооборудования выбираются и рассчитываются по характеристикам продолжительных режимов, а затем верифицируются в кратковременном, т.е. аварийном режиме, наиболее распространенным видом которого является режим короткого замыкания (КЗ). Именно по этому режиму проверяется электродинамическая и термическая стойкости, являющиеся главными показателями функционирования различных компонентов систем и, в частности, устройств жесткой ошиновки [1]. Электродинамическая стойкость (или устойчивость) - это способность конструкции выдерживать так называемый "ударный ток" или ток КЗ.

Указанные выше процедуры выбора, расчетов и проверок предполагают выполнение большого объема рутинных вычислений, обработку значительного объема разнородных и, зачастую, плохо структурированных данных, проведения многофакторного сравнительного анализа получаемых результатов. И, если практически все это выполнять вручную, с человеческими ошибками и погрешностями, то естественно ухудшатся временные и стоимостные показатели процесса проектирования и, конечно, упадет качество его результатов. Для того чтобы в какой-то мере устранить данные проблемы сегодня получили распространение различные средства компьютеризации, информационные системы и системы автоматизации проектирования [2]. Так и в области задач электротехники и энергетики появился целый ряд промышленных программных пакетов и комплексов зарубежного и отечественного производства, рекомендованных для применения в отрасли. В качестве примеров таковых можно привести [3]: Energy CS, Project Studio CS, Model Studio CS, ЭЛЕКТРА, КАРМЭН и ряд других. Их общими чертами являются, с одной стороны, универсальность и широкий спектр решаемых задач, мощность и представительность встроенных процедур и алгоритмов, а с другой, в известной степени громоздкость и трудность их освоения персоналом, высокие программно-технические требования, приличная стоимость. Поэтому была поставлена задача создания компактного и достаточно автономного программного комплекса для автоматизации основных расчетов и процедур проектирования применительно к задачам электродинамической стойкости устройств и компонент ошиновки для классов напряжений до 35кВ.

При создании комплекса были учтены следующие требования, которые далеко не в полном объеме обеспечиваются существующим в данной предметной области программным обеспечением. Это:

- узкая ориентация на класс задач, связанных именно с ошиновкой;
- простота и интуитивность в работе, наглядность пользовательского интерфейса;
- наличие процедур, как ручного, так и автоматического подбора требуемых параметров

- широкий набор процедур работы с БД элементов, возможность ее пополнения и развития;
- формирование отчетов, как в «бумажном» формате Word, так и в виде файлов на носителях.

Рассмотрим основные моменты работы комплекса. Он осуществляет расчет и проверку выбранного оборудования на электродинамическую стойкость при заданных параметрах и заданном токе КЗ. Для их осуществления этого расчета предварительно должна быть выбрана применяемая расчетная схема. В комплексе используются схемы, в которых шины имеют вид равнопролетной балки, лежащей или закрепленной на жестких опорах и подвергающейся воздействию равномерно распределенной нагрузки.

Проверка шинных конструкций на электродинамическую стойкость при КЗ осуществляется путем расчета максимального механического напряжения в материале (σ_{\max}) и максимальной нагрузки на изоляторы (F_{\max}) и в последующем сравнении полученных значений указанных величин с референсными или номинальными значениями [5]. Шинная конструкция обладает электродинамической стойкостью, если выполняются условия:

$$\begin{cases} \sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{доп}} \\ F_{\max} \leq F_{\text{доп}} \end{cases} \quad (1)$$

в (1) $\sigma_{\text{доп}}$ – допустимое механическое напряжение в материале шин;

$F_{\text{доп}}$ – допустимая механическая нагрузка на изоляторы.

Максимальное напряжение в материале шины и нагрузку на изолятор шинной конструкции высокой жесткости при трехфазном коротком замыкании следует определять по формуле:

$$\sigma_{\max} = F_{\max} / \lambda W \quad (2)$$

в (2) F_{\max} – максимальная сила, возникающая в балке (многопролетной) при КЗ;

l – длина пролета шин;

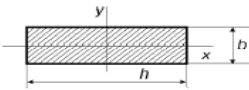
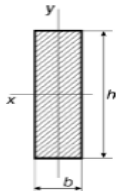
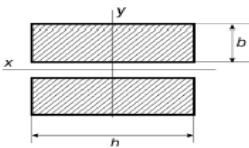
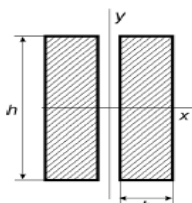
W – момент сопротивления поперечного сечения шины;

λ – коэффициент, зависящий от условия крепления шин, а также числа пролетов конструкции с неразрезными шинами.

В зависимости от используемой схемы для расчета в формуле используются разные значения коэффициента λ .

Далее определяются допустимые механические напряжения в материале проводников, зависящие от материала проводника и марки шин, а так же модуль упругости. Моменты сопротивления W и инерции J вычисляются на основании взаимного расположения и сечения шин по формулам, приведенным в таблице 1 [5].

Таблица 1. Формулы расчета моментов инерции и сопротивления

Сечения шин	Расчетные формулы	
	$J, \text{м}^4$	$W, \text{м}^3$
	$J = \frac{b \cdot h^3}{12}$	$W = \frac{b \cdot h^2}{6}$
	$J = \frac{h \cdot b^3}{12}$	$W = \frac{h \cdot b^2}{6}$
	$J = \frac{b \cdot h^3}{12}$	$W = \frac{b \cdot h^2}{3}$
	$J = \frac{h \cdot b^3}{12}$	$W = \frac{h \cdot b^2}{3}$

Электродинамические силы взаимодействия двух параллельных проводников при ударном токе определяются соотношением:

$$F_{\text{max}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{a} \cdot I \cdot (i_{\text{уд}})^2 \cdot K_{\text{ф}} \cdot K_{\text{расп}} \quad (3)$$

- в (3) $i_{\text{уд}}$ – ударный ток короткого замыкания, А;
 $K_{\text{расп}}$ – коэффициент, зависящий от взаимного расположения проводников;
 a – расстояние между осями проводников, м;
 l – длина пролета, м;
 $K_{\text{ф}}$ – коэффициент формы, вычисляется на основании габаритов проводников и их взаимного расположения с помощью номограмм.

II. СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

Как уже отмечалось, указанные расчеты довольно неудобно и трудоемко производить вручную. Предлагаемый комплекс функционирует по следующей схеме.

Сначала осуществляется проверка на электродинамическую стойкость ошиновки при определенных входных параметрах, а также при задаваемом ударном токе трехфазного КЗ, причем многие из этих параметров задаются довольно жестко – на основании выбранных из БД номинальных значений. При запуске программы перед проектировщиком появляется оконная форма (рис.2), где предлагается выбрать необходимый профиль шины, затем ввести известные данные о ней и/или выбрать некоторые номинальные стандартные значения из базы. Проверяется полнота введенных данных и в случае положительного результата расчет продолжится. Все исходные данные для контроля визуализируются.

В случае, когда все требуемые данные введены корректно, при нажатии кнопки «Расчитать» открывается экранная форма со всеми рассчитанными значениями, необходимыми для дальнейшей работы.

IV. АЛГОРИТМ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА

Алгоритм работы программного комплекса при проектировании и расчете параметров жесткой ошиновки электроустановки носит циклический характер и в обобщенном виде представлен на рис. 1.

Опишем его вкратце. Проектировщик вручную вводит в экранные формы основные параметры ошиновки: профиль сечения шины, тип распределительного устройства, класс напряжения, расчетный ударный ток короткого замыкания, длину пролета шины L , расстояние между фазами A). Затем из базы данных загружаются параметры ошиновки для уже имеющихся типовых решений (хотя здесь также предусмотрен и ручной ввод). Например, для прямоугольного сечения в качестве этих параметров

Затем проектировщику предлагается осуществить выбор подходящего изолятора, приемлемого для рассчитанных результатов. Это возможно осуществить как из БД (в этом случае программа лишь проверит допустимость его использования), так и использовать собственно средства самого комплекса (он в этом случае предложит несколько приемлемых вариантов изоляторов).

III. БАЗА ДАННЫХ КОМПЛЕКСА

Структура базы данных созданного комплекса представлена в таблице 2. Каждая таблица-отношение содержит набор требуемых полей, заполненных значениями из соответствующих стандартов и других нормативных документов. На основании требований и корпоративных стандартов и нормативов, принятых в проектных и эксплуатационных организациях, являющихся «потребителями» студентов-выпускников данного направления подготовки, в состав БД планируется дополнительно включить и таблицу допустимых продолжительных токов для шин прямоугольного сечения (DopToki.db).

Для проектирования и мониторинга БД была использована несколько устаревшая, но простая и удобная в обращении СУБД Paradox версии 3.5 [7].

Таблица 2. Состав и структура БД

Имя таблицы	Описание
Izol.Db	Таблица с основными характеристиками изоляторов, их изображением и кратким описанием
Korob.Db	Таблица с основными характеристиками шин коробчатого сечения
Krugl.Db	Таблица с основными характеристиками шин круглого сечения
MatShin.Db	Таблица характеристик материалов и марок шин (алюминий, медь)
NomAlShin.Db	Таблица номинальных размеров алюминиевых шин
RasShin.Db	Таблица расчетных схем шин с основными параметрами

выступают толщина, ширина, поперечное сечение и масса шины.

Далее, как уже было отмечено выше, программа осуществляется проверку исходных данных на полноту и корректность и в случае необходимости, предлагает их коррекцию. Затем программа переходит в свою основную фазу - расчет параметров механической нагрузки на шины в соответствии с приведенными выше формулами и соотношениями. На основании этих значений выполняется проверка условия электродинамической стойкости и, если оно не выполняется, то программа автоматически подбирает подходящие параметры (это длина пролета) и по новой рассчитывает параметры механической нагрузки. Если же условие выполняется, то

осуществляется переход к выбору опорного изолятора. Программа на основе рассчитанных параметров стойкости отбирает подходящие типы изоляторов, из которых проектировщик и осуществляет выбор.

V. ИНТЕРФЕЙС КОМПЛЕКСА

При разработке интерфейса были использованы нижеперечисленные требования, сформулированные на базе основных принципов GUI (Graphical User Interface):

- доступный для чтения размер шрифта;
- относительно простая логика использования, не требующая владения специальными знаниями;
- наглядность полученных результатов;
- возможность выбора значения из фиксированных наборов (например, список материалов шин);
- автоматическое формирование отчетов, требуемых образцов по мере работы с программой;
- сохранение результатов при завершении работы с программой;
- минимизация ошибок, возникающих при работе.

Основная экранная форма комплекса представлена на рис. 2. В ней расположены подокна для ввода данных о шине, о ее геометрии и параметрах, подокно для связи с БД, для визуализации промежуточных и окончательных результатов расчетов.

Выбранный изолятор проверяется по условию нагрузки и, в случае успеха, формируется отчет, который может быть представлен, как в виде выходной экранной формы, так и в виде файла/распечатки на твердую копию.

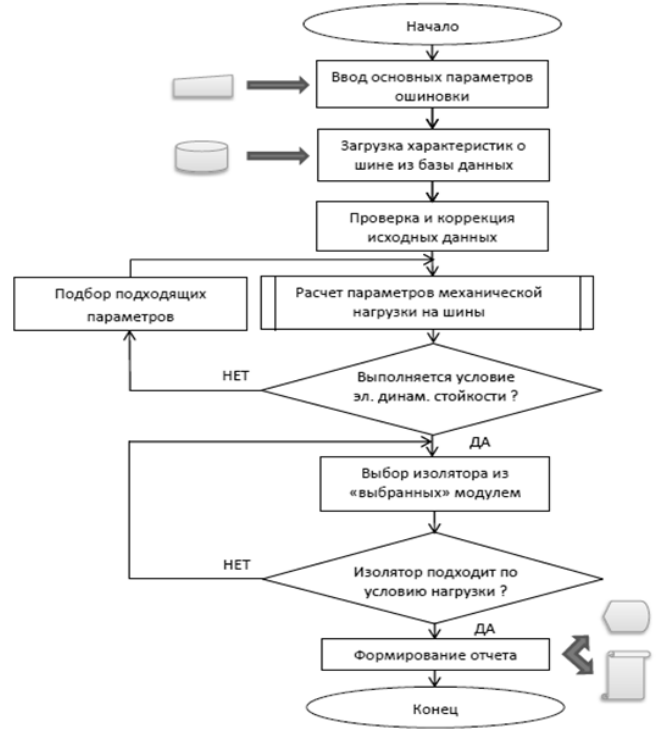


Рис. 1. Обобщенный алгоритм работы

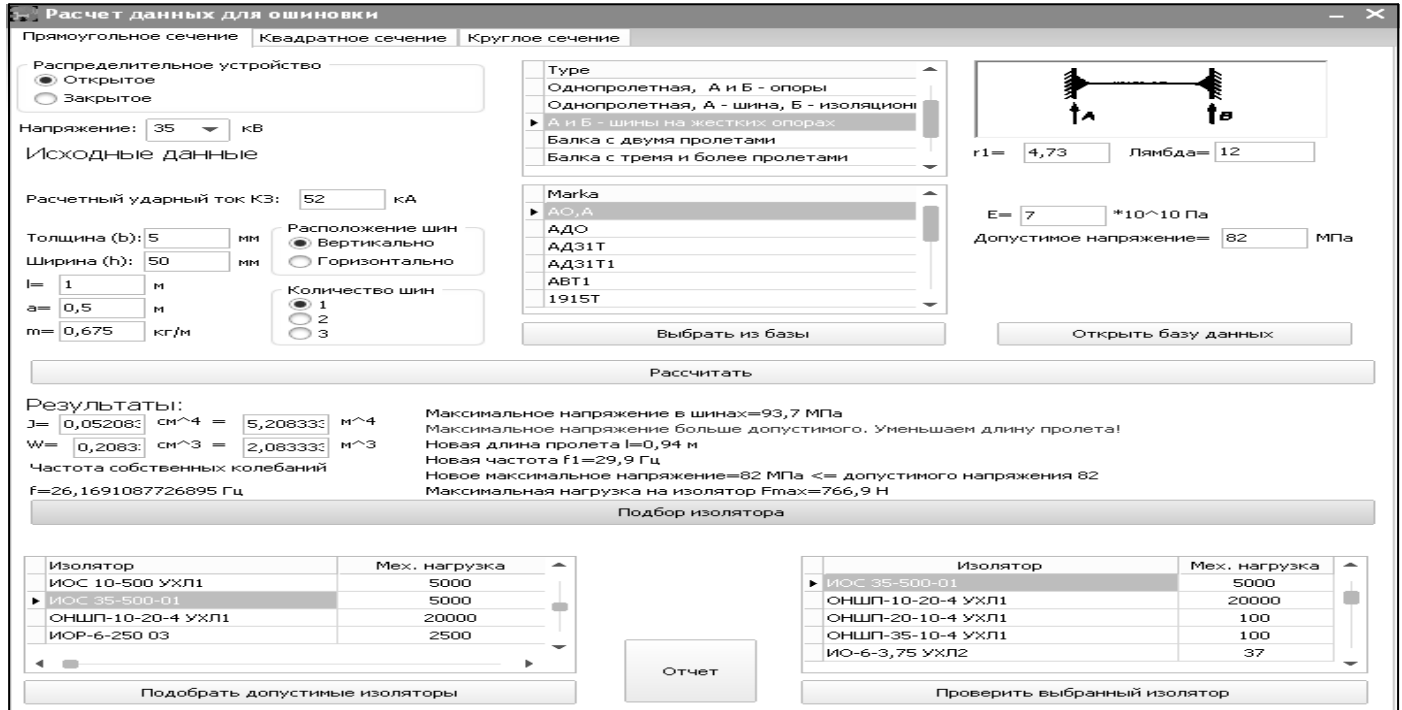


Рис.2. Основная экранная форма комплекса

На рис.3 и рис.4 изображены основные экранные формы подсистемы связи с БД.

Для документирования результатов используется технология отчетов, позволяющая представлять итоговые

расчетные данные в виде документов текстового процессора Word и файлов на внешнем носителе. Примерный вид этого отчета представлен на рис. 5.

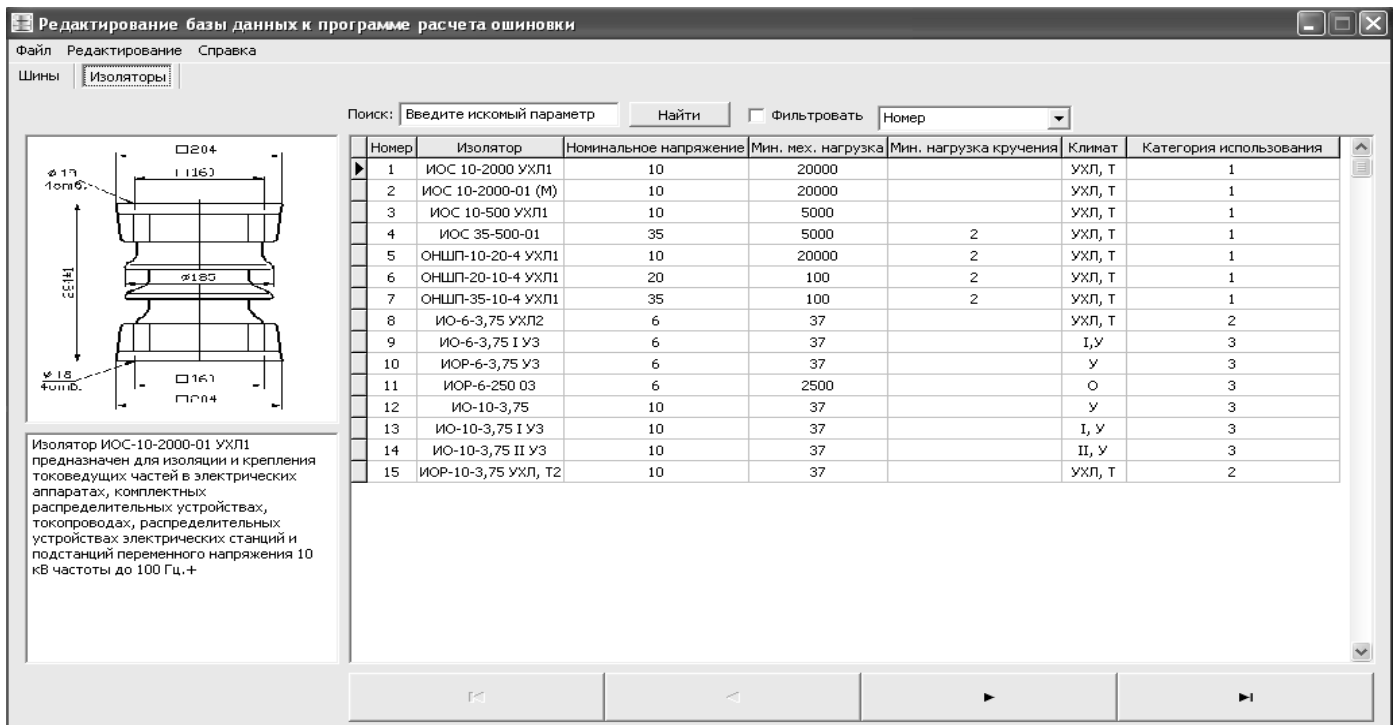


Рис. 3. Экранная форма с номинальными данными изоляторов

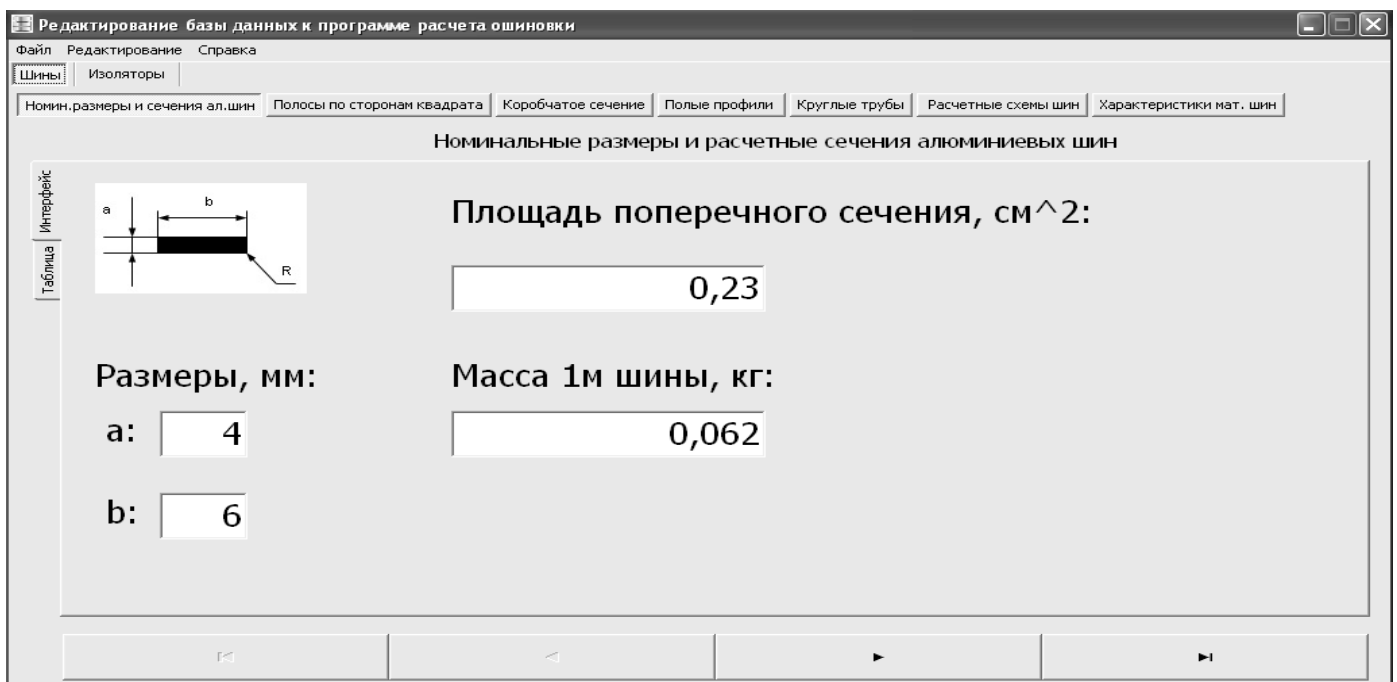


Рис.4. Экранная форма редактирования параметров шин

Проверка электрооборудования на электродинамическую стойкость

Исходные данные:

Расчетный ударный ток КЗ: 36,5 кА

Сторона (H): 140 мм

Сторона внутри (h): 36,5 мм

Тип: А и Б - шины на жестких опорах

Сплав: алюминий, Марка: АО, А

l: 3,9 м

a: 0,9 м

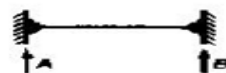
m: 0,972 кг/м

Полое

Квадрат

E: $7 \cdot 10^{10}$ Па

Допустимое напряжение: 82 МПа



Расчет

$J = 3093,3333333333333 \text{ см}^4 = 3,093333333333333 \text{ E-5 м}^4$

$W = 441,904761904762 \text{ см}^3 = 0,000441904761904762 \text{ м}^3$

Частота собственных колебаний $f = 241,215530781242$ Гц

Коэффициент динамической нагрузки = 1,0

Максимальное напряжение в шинах = 1,5 МПа

Максимальное напряжение меньше или равно допустимому, шины удовлетворяют условию электродинамической стойкости.

Это значит, что исходные данные соответствуют требованиям и могут быть использованы.

Был выбран изолятор: ИОС 35-500-01

Изолятор ИОС 35-500-01 удовлетворяет условию электродинамической стойкости!

Программой были подобраны оптимальные изоляторы:

ИОС 10-2000 УХЛ1

ИОС 10-2000-01 (М)

ИОС 10-500 УХЛ1

ИОС 35-500-01

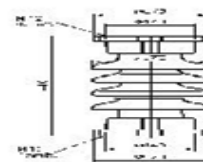
ОНШП-10-20-4 УХЛ1

НОР-6-250 03

ОТПК-4-110-В-2-УХЛ2

Эти изоляторы удовлетворяют условию электродинамической стойкости.

Рекомендуется выбрать один из этих изоляторов для дальнейшей работы.



Таким образом, шинная конструкция отвечает требованиям электродинамической стойкости.

Рис.5. Отчетная форма с представлением результатов

VI. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ВНЕДРЕНИЕ КОМПЛЕКСА

Программный комплекс реализован в инструментальной системе программирования Borland Delphi 7 версии 7.2 [8] и рассчитан на платформу IBM-совместимых ПК под управлением ОС Windows. Ввиду относительной автономности возможно интегрирование его в состав САПР проектирования электроустановок и систем более высокого уровня, что предполагает разработку и реализацию внутрисистемного интерфейса, а также применения стандартных форматов представления межсистемных (входных и выходных) данных [2].

Рабочая версия комплекса используется студентами направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» при выполнении НИР, курсового проектирования, выпускных квалификационных работ. В настоящее время планируется задействовать его в практикуме ряда дисциплин, таких как «Компоновка электрооборудования электростанций», «Математические методы проектирования» и др., связанных с применением современных приемов создания сложного современного электрооборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Короткие замыкания и выбор электрооборудования: Учебное пособие для вузов/И.П. Крючков, В.А. Старшинов и др. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 568 с.
2. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 336 с.
3. Сайт «Электротехническая энциклопедия» <http://subscribe.ru/archive/tech.electrotech/200904/27220449.html>
4. Балаков Ю.Н., Мисриханов М.Ш., Шунтов А.В. Проектирование схем электроустановок: Учебное пособие для вузов. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 288 с.
5. Кудрявцев Е.П., Долин А.П. Расчет жесткой ошиновки распределительных устройств – М.: Энергия, 1981. – 96 с.
6. СТО 56947007-29.060.10.163-2014. Жесткая ошиновка на номинальные напряжения 35-750 кВ. Типовые технические требования
7. Тинней Диана. Программирование в Paradox for Windows на примерах: Пер. с англ. / Диана Тинней. – М.: БИНОМ, 1994. – 752 с.
8. Фаронов В.В. Система программирования DELPHI – СПб: БХВ - Петербург, 2004. – 912 с.

Подсистема дистанционного мониторинга элементов сети

Артюхов О.И., Крепков И.М.
НИУ МЭИ
Москва, Россия

Городничев С.В.
АО Газпромбанк
Москва, Россия

Рассматриваются вопросы разработки приложения для мониторинга удалённых серверов корпоративной сети. Программное обеспечение в реальном времени выполняет контроль физической доступности и активности сервера, его технических показателей (дисковое пространство, оперативная память) и приложений, расположенных на нём. Подсистема оперативно оповещает владельца-сисадмина о сбоях через удобный для пользователей интерфейс, а также по электронной почте. Рассмотрены вопросы доработки подсистемы за счет включения в ее состав средств объединения разрозненных сетевых компонент в единую логическую структуру, с последующим анализом выполняемых на них критических процессов. Приложение легко может быть интегрировано в любую автоматизированную систему сетевого обслуживания и управления.

Ключевые слова — компьютерная сеть, системы мониторинга, сетевое обслуживание, бизнес-процессы.

I. ВВЕДЕНИЕ

Практически любая корпоративная компьютерная сеть, даже сравнительно компактная, требует к себе постоянного внимания и наблюдения. Как бы хорошо она ни была настроена, насколько бы надежное обеспечение не было установлено на серверах и клиентских компьютерах, нельзя полагаться лишь на системного администратора - необходимы автоматические и непрерывно действующие средства контроля состояния сети и своевременного оповещения о возможных проблемах. Именно вопросам разработки одного из подобных средств – программной системы мониторинга сетей и их компонент посвящена данная статья.

Даже случайные сбои аппаратного или программного обеспечения могут привести к весьма неприятным последствиям. Существенное замедление функционирования сетевых сервисов и служб – еще не самое неприятное из них, хотя отягощающим фактором здесь может выступать его «прозрачность» и, следовательно, игнорирование. Гораздо хуже, когда критично важные службы или приложения полностью прекращают функционирование, и это остается незамеченным в течение длительного промежутка времени. Типы этих «критичных» служб могут быть весьма разнообразны и, соответственно, в зависимости от этого требуют различных методов мониторинга [1]. От

корректной работы веб-серверов и серверов БД может зависеть работоспособность внутрикорпоративных приложений и важных внешних сервисов для клиентов; сбои и нарушения работы маршрутизаторов могут нарушать связь между различными подразделениями корпорации и ее филиалами; серверы внутренней почты и проч.

Для обеспечения непрерывной проверки функционирования удалённого сервера необходимо организовать работу планировщика заданий, который будет с определённой периодичностью запускать проверки параметров этого сервера. Сами проверки целесообразно выполнить в виде исполняемых файлов (скриптов), это позволит выполнять их запуск без применения дополнительных инструментов. Кроме того, в этих скриптах должны содержаться все необходимые команды для получения нужных данных. Таким образом, для осуществления проверок не потребуется устанавливать дополнительное клиентское программное обеспечение на удалённых серверах, что позволит существенно упростить ввод в эксплуатацию подобной системы мониторинга. Такой подход является главной отличительной особенностью по сравнению с другими системами мониторинга, предлагаемыми на современном рынке [2].

II. МОНИТОРИНГ СЕТЕВЫХ КОМПОНЕНТ

Система мониторинга не только отображает состояние удалённых серверов на текущий момент, но и хранит все полученные данные. Эта информация необходима для анализа функционирования систем с целью их возможной оптимизации для повышения качества работы. Например, собранная статистика по динамике заполнения дискового пространства за счёт роста объёма лог-файлов позволяет эффективно настроить работу утилит ротации этих файлов (архивирование и перемещение на другой массив) [1]. Для решения вышеописанной задачи требуется использование базы данных. Структура БД для системы мониторинга достаточно проста, в ней должна храниться информация о количестве и параметрах (например, тип ОС, IP) удалённых серверов, обо всех типах проверок, которые проводятся для каждого сервера и о результате всех произведённых проверок. Последние данные целесообразно хранить в разных таблицах (каждой проверке соответствует отдельная таблица). Это

обусловлено тем, что мониторинг состояния серверов производится непрерывно с достаточно частым интервалом, что приведёт к резкому росту объёма таблицы, если в ней будут находиться все проверки конкретного сервера, и, как следствие, к существенному замедлению процесса поиска нужной информации в ней.

Для удобного и наглядного графического представления результатов проверок серверов необходим web-сервер. Его функциональность позволяет оперативно извлекать текущую информацию из базы данных, отображать её в понятном виде и запускать необходимые проверки вручную, не дожидаясь, пока это сделает планировщик заданий. Интерфейс отличается простой навигацией и высоким быстродействием. Для обеспечения этих требований минимизировано число web-страниц, а также оптимизированы запросы к базе данных (поиск текущей информации о работе удалённых серверов), создан отдельный файл с настройками подключения HTTP-сервера к базе данных – во-первых, это позволит избежать повторяющихся строк в программном коде

страниц, а во-вторых, обеспечит более высокий уровень безопасности.

Для организации оперативного оповещения в случае выявленных сбоев система мониторинга должна обладать средствами автоматической отправки электронных писем. Адресатами этих писем могут быть как администраторы системы мониторинга, так и администраторы удалённого сервера. Такой подход позволяет существенно снизить время между обнаружением сбоя и реакцией на этой сбой. В общем случае для реализации такой структуры необходим полноценный почтовый сервер, однако в подавляющем большинстве случаев не требуется его создавать самостоятельно, так как обычно в любой компании уже существует готовый почтовый сервер.

Для реализации отправки писем нужно установить на сервер мониторинга почтовый клиент MTA (Mail Transport Agent) и указать в его настройках адрес сервера исходящей почты корпоративной сети [3]. Общая структура системы мониторинга представлена на рис. 1

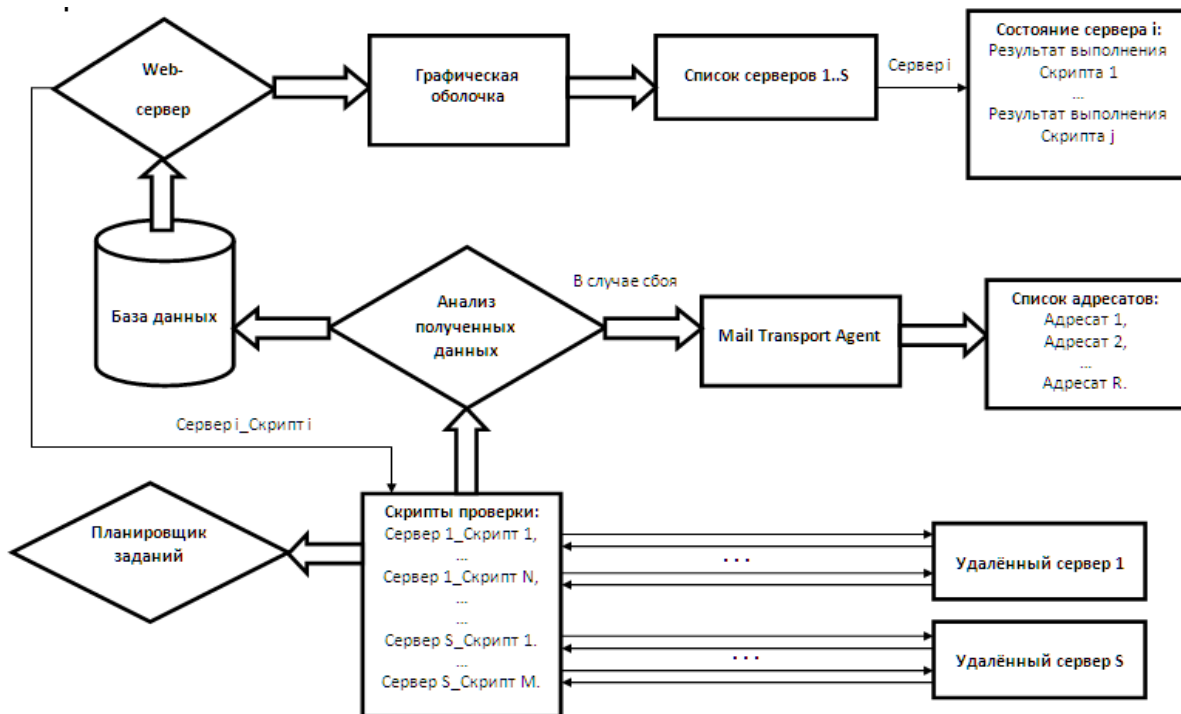


Рис. 1. Структура системы мониторинга

Функционирование подсистемы мониторинга рассмотрено на примере алгоритма анализа дискового пространства. Проверка свободного места на удалённом сервере осуществляется с помощью встроенной в Unix-подобные системы команды `df`, которая показывает список всех файловых систем по именам устройств, сообщает их размер, занятое и свободное пространство и точки монтирования. Ключ `h` или `--human-readable` отображает размер в человеко-читабельном формате [4]. Схема алгоритма проверки дискового пространства приведена на рис. 2

В системе фиксируется процент свободного дискового пространства и далее он сравнивается с пороговым значением, в качестве которого принято 95% (известно, что при таком заполнении дискового пространства вероятность сбоя в работе сервисов любого хоста увеличивается на порядок). Если этот порог превышен, то система осуществляет уведомление ответственных лиц –

администраторов, как самой системы мониторинга, так и удалённого сервера, а результат проверки заносит в свою базу данных. Из нее он уже становится доступным для визуализации через web-интерфейс (рис.3), а также по требованию рассылается на указанные в списке рассылки адреса электронной почты рис.4.

Предусмотрена функция расширения свободного пространства за счёт архивирования «старых» лог-файлов или логов (в частности, логов `apache`), однако эта операция выполняется не автоматически, а только по запросу или разрешению администратора. Это обусловлено главным образом двумя обстоятельствами: во-первых, заполнение пространства может быть и не связано именно с логами и тогда требуются дальнейший анализ и разрешение проблемы, а во-вторых, сами логи могут использоваться на удалённом сервере для каких-либо «своих» целей и их архивирование (скрытие) может повлечь за собой нежелательные последствия.

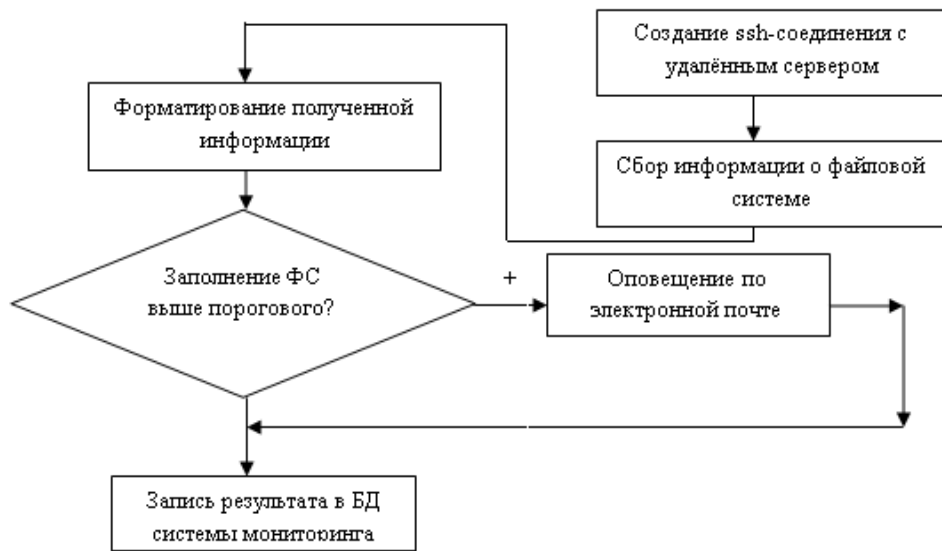


Рис. 2. Схема проверки дискового пространства.

state	name	description	updated	value
⬮	space	free disk space	2017-09-19 20:12:01	used disk space - 95%

Рис.3. Реакция на критическое заполнение дискового пространства

MONITORING SYSTEM DETECTED ERROR

Shadow [shadow.msk@gmail.com]

Отправлено: 19 сентября 2017 г. 20:12

Кому: Gorodnichev, Sergey

```
ixxx.xxxx.ru -> Space: used disk space - 95%
```

Рис.4. E-mail о критическом заполнении дискового пространства

III. РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

В обновлённую, по сравнению с представленной в [5], версию системы дистанционного мониторинга добавлен модуль, позволяющий объединить разрозненные сетевые компоненты в единую логическую структуру, то есть появилась возможность мониторинга бизнес-процессов. Идея состоит в том, чтобы критичные для предприятия процессы, которые выполняются в распределённых средах и хостах, проверять как единое целое – бизнес-транзакцию. Это позволяет более эффективно реагировать на потенциальные сбои, так как система позволяет наглядно продемонстрировать, на каком этапе произошёл сбой, как это влияет на выполнение какой-либо задачи в целом и как это может оказать воздействие на другие задачи. На текущий момент реализована функциональность проверки следующих микро-задач, из которых, как из конструктора, можно собирать полноценные цепочки выполнения глобальных транзакций: доступность http-сервера, доступность приложения на сервере приложений, время ответа сервера

приложений, глубина очередей message-oriented платформы, динамика операций put/get, доступность БД, время выполнения запроса в БД.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система мониторинга с появлением нового модуля стала более «интеллектуальной», теперь она охватывает не только сугубо инфраструктурный слой, но и может быть привязана к непосредственным задачам, которые выполняются на предприятии, что позволяет не только оперативно выявлять, но и более эффективно предупреждать возможные сбои, видеть степень влияния тех или иных компонент на решение общих задач, и в соответствии с этим принимать решения для повышения стабильности и надёжности все эко-системы предприятия в целом. Также претерпели значительные изменения межсистемный интерфейс и форматы представления и структуризации данных подсистемы, что значительно упростило процесс ее интеграции в состав более универсальных и мощных автоматизированных информационных систем сетевого обслуживания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Security Lab. Методы мониторинга и обеспечения безопасности для поддержания работоспособности корпоративной сети, 2015.
<http://www.securitylab.ru/analytics/301808.php>
- [2] Форум OpenNet. Пример мониторинга свободного места, 10 апреля 2007.
<http://www.opennet.ru/openforum/vsluhforumID3/37151.html>
- [3] Олифер В. Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. 5-е издание. – СПб.: Питер, 2016. – 354с.
- [4] Sam Alapati, Matt Stratton Modern Linux Administration. How to Become a Cutting-Edge Linux Administrator. – O'Reilly Media, 2016. – 500pp.
- [5] Артюхов О.И., Городничев С.В. Автоматическое обнаружение “alive” хостов в системе дистанционного мониторинга сетевых компонент. Вычислительные сети. Теория и практика №2(19), 2011.–7.1<http://network-journal.mpei.ac.ru/cgi-bin/main.pl?1=ru&n=19&pa=7&ar=1>

Разработка программных средств визуализации данных в современных СУБД

А.О. Афанасьева, П.Р. Варшавский
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
г. Москва,
AfanasyevaAO@mpei.ru, VarshavskyPR@mpei.ru

Аннотация — В статье рассматриваются возможности визуализации данных в современных СУБД с использованием различных методов визуализации данных, включая методы когнитивной графики. Приводится обзор функциональных возможностей разработанного программного средства визуализации данных для СУБД MS SQL Server.

Ключевые слова — визуализация данных, когнитивная графика, интеллектуальный анализ данных, СУБД.

I. ВВЕДЕНИЕ

Задача визуализации данных является одной из актуальных задач в области интеллектуального анализа данных. Методы визуализации данных направлены на облегчение интерпретации полученных результатов анализа данных, например, за счет построения диаграмм, графиков или отображения когнитивных образов.

Так как восприятие человека достаточно ограничено, ученые продолжают совершенствовать современные методы и средства визуализации данных. Один из перспективных способов – это представление данных в виде информативного изображения (когнитивного образа).

К задаче визуализации данных сводится проблема представления в наглядной форме данных эксперимента или результатов теоретического исследования.

Практическое назначение визуализации данных заключается в облегчении восприятия данных для их последующего анализа, например, получения закономерностей влияния параметров исследуемой системы. В этом смысле визуализация является одним из средств поддержки принятия решений. Поэтому имеется неразрывная связь между прикладной задачей и способом визуализации.

II. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ В СОВРЕМЕННЫХ СУБД

Интеллектуальный анализ данных (ИАД) – процесс обнаружения в сырых данных новых, нетривиальных, интерпретируемых, практически полезных знаний, необходимых для принятия решений в различных сферах человеческой деятельности [1].

ИАД основан на методологии, называемой обнаружение знаний в базах данных, которая реализуется в следующих технологиях [1]:

- интерактивной аналитической обработки данных (On-Line Analytical Processing — OLAP);
- глубинного анализа данных (Data Mining — DM);
- визуализации данных.

Рассмотрим несколько современных средств визуализации данных:

- средства визуализации в СУБД MS Access;
- средства визуализации Oracle Business Intelligence;
- компоненты аналитики MS SQL Server;
- средства визуализации данных DataHero.

В СУБД MS Access основным инструментом визуализации являются диаграммы. В Access диаграмма как отдельный объект не существует, а может являться элементом формы либо отчета.

Oracle Business Intelligence Enterprise Edition (OBIEE) — программная платформа для решения задач бизнес-аналитики: интерактивных и публикуемых отчетов, мониторинга ключевых показателей эффективности (Key Performance Indicators — KPI) и бизнес-процессов.

Основные функциональные части, доступные пользователям [2]: построение интерактивных отчетов, доступных для пользователей через веб-интерфейс OBIEE; средство создания и рассылки статических отчетов, набор средств для выполнения каких-либо автоматизированных действий из OBIEE; средства для отслеживания ключевых параметров производительности и работы с системами показателей.

MS SQL Server позволяет проводить анализ внутри своей экосистемы. У него есть обширный набор компонент, из которых наиболее известные:

- хранение данных: SQL Server Database Engine;
- система статических и интерактивных web-отчетов: SQL Server Reporting Service;
- система OLAP и DM: SQL Server Analysis Services.

DataHero ориентирован на цели и задачи бизнес-анализа для помощи в принятии управленческих решений, разработчикам удалось сделать такую визуализацию доступной для всех. Однако упрощенный инструмент не

обладает всеми достоинствами профессиональных инструментов.

На основе вышесказанного можно сделать вывод о том, что проблема создания средств визуализации данных для СУБД до сих пор остается актуальной. Рассмотренные средства визуализации данных либо жестко ориентированы на конкретную область применения самих данных, либо требуют от пользователя высокой квалификации для создания действительно легко интерпретируемого представления данных. Кроме того, в активно применяемых сегодня средствах ИАД для современных СУБД практически отсутствуют развитые средства когнитивной графики для визуализации данных. По этой причине в работе предлагается рассмотреть перспективную возможность использования когнитивной графики для визуализации данных в СУБД.

III. КОГНИТИВНАЯ ГРАФИКА

Когнитивная функция изображений использовалась в науке и до появления компьютеров. Образные представления, связанные с понятиями граф, дерево, сеть и т.п. помогли доказать немало новых теорем, круги Эйлера позволили визуализировать абстрактное отношение силлогистики Аристотеля, диаграммы Венна сделали наглядными процедуры анализа функций алгебры логики [3].

Когнитивная графика — это совокупность приемов и методов образного представления условий задачи, которая позволяет либо сразу увидеть решение, либо получить подсказку для его нахождения [4].

Поспелов Д.А. сформулировал три основных задачи когнитивной компьютерной графики (ККГ) [4]:

- создание таких моделей представления знаний, в которых была бы возможность однообразными средствами представлять, как объекты, характерные для логического мышления, так и образы-картины, с которыми оперирует образное мышление;
- визуализация тех человеческих знаний, для которых пока невозможно подобрать текстовые описания;
- поиск путей перехода от наблюдаемых образов-картин к формулировке некоторой гипотезы о тех механизмах и процессах, которые скрыты за динамикой наблюдаемых картин.

Образы делятся на два категории: объективные (существующие в реальности внешнего, по отношению к человеку, мира) и субъективные (ментальные, существующие в мыслях человека). Ментальные образы психологи делят на три класса: образы восприятия, представления и воображения. Соответственно, можно говорить о четырех формах представления знаний. Поскольку в образах отражаются некоторые знания, информация, то образ можно считать м одестью представления знаний [5].

Три задачи ККГ, сформулированные Поспеловым Д.А., с позиций информационных технологий поддержки принятия решений следует дополнить четвертой задачей. Она должна обеспечивать создание условий для развития у операторов профессионально-ориентированной интуиции и творческих способностей путем построения пользовательского графического интерфейса, основанного на методах когнитивной графики [6].

При разработке интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИСППР) обычно исходят из первых двух задач когнитивной графики: когда знания о техническом объекте, полученные в ходе исследований и проектирования пользовательского интерфейса представляются в привычной символично-цифровой форме. Множество таких данных, предъявленных оператору, делают их недоступными для анализа.

Четкое осознание третьей и четвертой задач когнитивной графики позволяет формулировать дополнительные требования как к графическим изображениям, так и к соответствующему программно-методическому обеспечению.

Таким образом, когнитивная графика учитывает психологические особенности человека, правильно подобранный, легко интерпретируемый когнитивный образ способен в значительной степени упростить процесс анализа данных. По этой причине в работе предлагается применить когнитивную графику как один из методов визуализации данных для ИАД в современных СУБД.

IV. МЕТОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ

В разрабатываемом программном приложении для визуализации данных было решено использовать несколько способов:

- обычные отчеты по БД;
- отчеты по БД с дополнительной визуализацией их строк по методу брашинга;
- круговые диаграммы по методу слайсинга;
- когнитивные образы с использованием средств когнитивной графики.

Обычные отчеты по БД уже реализованы во множестве программных продуктов, например, в Microsoft Business Intelligence. Такой простой способ визуализации безусловно нужен, однако он трудно интерпретируем при огромном количестве записей в БД. В разрабатываемой приложении предполагается предусмотреть возможность получения отчетов по заранее подготовленным шаблонам.

Общепринятый визуальный подход закрашивание (брашинг) интерактивно выделяет подмножества данных, чаще всего цветом. Он поддерживает визуальное связывание разнородных объектов и поэтому направлен на проблему визуальной фрагментации.

База решающих правил по методу брашинга строится на основе правил продукционного типа: Если «условие», то «цвет».

Алгоритм визуализации по методу брашинга – это простой обход по всей базе правил с применением окрашивания, если выполняется условие правила.

В программе было решено представить отчеты по БД с дополнительной визуализацией строк, что подразумевает под собой обычные отчеты, однако некоторые строки отчета окрашиваются в определенный цвет в зависимости от логики решающих правил (рис. 1). Такая визуализация данных делает отчет более наглядным, позволяет пользователю быстрее получить и проанализировать необходимую информацию. Но все же такая визуализация также трудно интерпретируема при огромном количестве данных.

Решающие правила для визуализации строк строятся по следующему формату: Если «параметр» «условие» «значение», то «цвет». Условие подразумевает под собой выбор между «больше», «больше или равно», «меньше», «меньше или равно», «равно».

Слайсинг – построение срезов. Частный случай фильтрации данных, когда функция от данных равна константе. Слайсинг также подразумевает построение графиков, различных диаграмм и гистограмм.

Алгоритм визуализации по методу слайсинга зависит от вида среза.

В приложении было решено представить только один из способов представления слайсинга – круговые диаграммы, которые могут быть построены по столбцу таблицы (рис. 1). С одной стороны, круговая диаграмма отражает все записи БД, а с другой – это всего лишь состояние одного из атрибутов БД. Если пользователь попытается охватить всю БД одними круговыми диаграммами, тогда это приведет к созданию множества диаграмм, что сильно затруднит их анализ.

Дополнительно в приложении предусмотрена перспективная возможность применения методов визуализации данных на основе когнитивной графики.

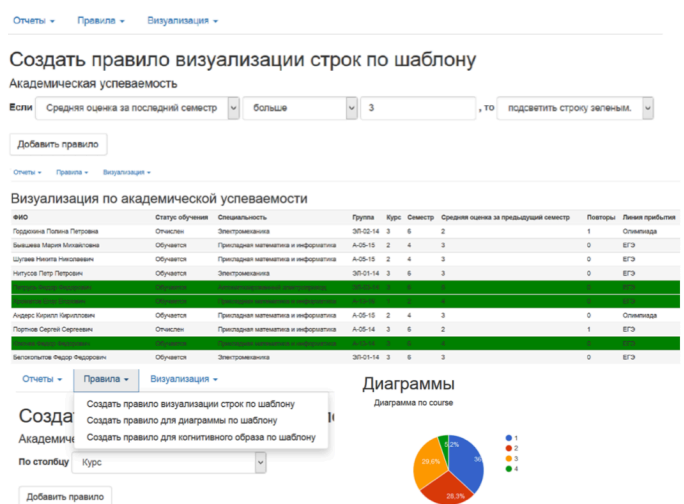


Рис. 1. Пример работы программного средства визуализации данных по методу брашинга и слайсинга

V. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ

Разработка когнитивного образа – сложная задача, требующая учета специфики конкретной предметной области и которая сопряжена с необходимостью ориентироваться на субъективное мнение человека-пользователя системы визуализации данных [7]. По указанной причине для удобства работы пользователей предлагается использовать настраиваемый набор (коллекцию) шаблонов когнитивных образов.

В работе в качестве шаблонов когнитивных образов предложены: шаблон «бублик» (donut) с максимально 3-мя изменяющимися характеристиками; шаблон «солнце» (sun) с возможностью добавления лучей в соответствии с количеством характеристик; шаблон «фигура» (figure), построенный по точкам, соответствующим количеству характеристик и удаленным на заданное расстояние от центра фигуры, и шаблон использующий «смайль» (smile) (рис. 2).

Когнитивный образ – меняющаяся картинка в зависимости от изменения данных (характеристик). Для использования когнитивного образа необходимо установить связь исходных данных (данных из БД) с изменяемыми характеристиками когнитивного образа. Обычно в когнитивном образе есть несколько изменяющихся элементов, каждый из которых отвечает за изменение той или иной характеристики системы, или нескольких характеристик. Такая связь устанавливается базой решающих правил.

База решающих правил должна состоять из нескольких групп, каждая из которых относится к конкретному изменяющемуся элементу в образе.

В базе может быть несколько типов правил:

- правила продукционного типа – Если «условие», то «изменение конкретного элемента когнитивного образа (например, цвет, масштаб, местоположение и т.п.)»;

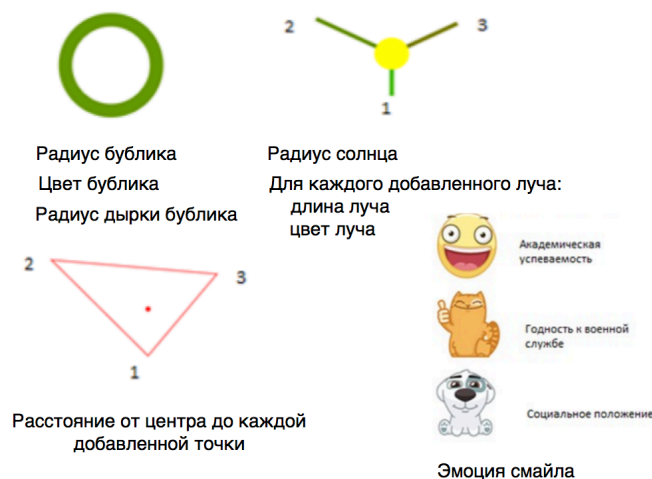


Рис. 2. Шаблоны когнитивных образов

- правила, базирующиеся на функциях перехода от значений характеристик системы (объекта) к условным единицам изменения характеристик (элементов) когнитивного образа (например, по значениям характеристик x_1, x_2, \dots, x_n вычисляются значения для изменения характеристик образа $y_1=f_1(x_1), y_2=f_2(x_2), \dots, y_n=f_n(x_n)$).

Алгоритм визуализации данных на основе когнитивной графики предполагает последовательный обход по всей базе правил с выполнением конкретных инструкций для изменения когнитивного образа при срабатывании (выполнении условия) решающего правила.

Решающие правила для построения когнитивного образа в работе строятся на основе шаблона для правила. В зависимости от шаблона создаются связи между изменяющимися частями образа и характеристиками системы (объекта), а также настраиваются коэффициенты значимости внутренних параметров.

Чтобы задать связь между изменяющимся элементом образа и характеристикой системы для каждого шаблона создан специальный интерфейс.

Для шаблона «бублик». Изменение радиуса бублика и радиуса дырки бублика задаются параметром изменения элемента, а именно увеличение элемента (\uparrow) или уменьшение (\downarrow). Изменение цвета бублика задается выбором двух цветов (от – до), промежуточные цвета автоматически определяются по градиенту.

Для шаблона «солнце». Изменение радиуса солнца задается параметром изменения элемента (\uparrow или \downarrow). Возможно добавление лучей, что делает шаблон достаточно гибким для использования. Для каждого отдельного луча изменение длины луча задается параметром изменения элемента (\uparrow или \downarrow). Изменение цвета луча задается аналогично шаблону «бублик».

Для шаблона «фигура» возможна гибкая настройка за счет добавления точек фигуры. Для каждой отдельной точки изменение расстояния от центра до точки задается параметром изменения элемента (\uparrow или \downarrow).

Для шаблона «смайл» возможно добавление смайлов для каждой из характеристик системы. Для каждого отдельного смайла задается тип смайла (например, колобок, кот, пес и др.). Изменение характеристик системы (объекта) задается выбором эмоций смайла (например, грустный, веселый и т.д.).

Структура решающего правила для всех методов должна быть представлена единым классом, для этого выделим общие свойства правила:

- тип правила (для визуализации строк, для построения диаграмм или когнитивного образа);
- тип отчета, для которого будет применяться правило (значение может быть пустым);

- флаг использования правила для визуализации;
- массив остальных параметров, количество и смысл которых будет отличаться в зависимости от типа правила.

Предложенные шаблоны и алгоритмы были реализованы в программном средстве визуализации данных для СУБД, разработанном в среде MS Visual Studio 2015 с использованием языков программирования C# и Javascript, а для разметки страниц использовался HTML и CSS.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе выполнено исследование различных методов визуализации данных для ИАД, а также обзор существующих программных средств визуализации данных в современных СУБД.

Проанализированы возможности применения аппарата когнитивной графики для визуализации данных в современных СУБД.

Предложен набор шаблонов для когнитивных образов, выполнена разработка базы решающих правил для визуализации данных в СУБД и программная реализация средства визуализации данных для СУБД.

Разработанное программное средство было использовано для решения задачи визуализации данных в СУБД Microsoft SQL Server с использованием фрагмента БД «Студент», разработанной ИВЦ НИУ «МЭИ».

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов №18-01-00459, №17-07-00553.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Финн В.К. Об интеллектуальном анализе данных // Новости искусственного интеллекта. – 2004. – №3. – С. 3-19.
- [2] Oracle Business Intelligence – обзор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/207926/>. – (Дата обращения: 13.04.2018).
- [3] Поспелов Д.А. Десять "горячих точек" в исследованиях по искусственному интеллекту // Интеллектуальные системы (МГУ). – 1996. – Т1, № 1-4. – С. 47-56.
- [4] Поспелов Д.А. Когнитивная графика — окно в новый мир // Программные продукты и системы. – 1992. – № 2. – С. 4-6.
- [5] Валькман Ю.Р. Онтологии в моделировании образного мышления // Искусственный интеллект (КИИ-2012): сб. тр. XIII Междунар. конф. – Белгород, 2012. – С. 310-317.
- [6] Башлыков А.А. Когнитивные образы как средство образного представления состояния энергоблоков атомных электростанций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://transenergostroy.ru/publications/src/20140623/Когн_графика_АЭС.pdf. – (Дата обращения: 13.04.2018).
- [7] Афанасьева А.О. Исследование и разработка программных средств для визуализации данных в современных СУБД // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: сб. тезисов. XXIV Междунар. науч.-тех. конф. студентов и аспирантов – Москва, 2018. – С. 224.

Мобильное приложение для визуализации рекламного буклета с использованием дополненной реальности

Н.Г. Бабак, А.Ф. Крюков

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
Москва, Россия

Аннотация — В статье приводится сравнительный анализ платформ дополненной реальности, выбор среды и средств для реализации мобильного приложения для визуализации рекламного буклета НИУ «МЭИ». Описывается доработка буклета с целью применения для него современной технологии дополненной реальности. Показаны возможности реализованного мобильного приложения. Использование современной технологии дополненной реальности сделает более привлекательной работу с абитуриентами.

Ключевые слова — *дополненная реальность; мобильное приложение; мажкплатформенная среда разработки Unity; рекламный буклет; метка.*

I. ВВЕДЕНИЕ

Дополненная реальность в настоящее время стала активно распространяться в различных сферах деятельности человека. Реализуемое программное обеспечение создаёт среду с прямым или косвенным дополнением физического мира цифровыми данными в режиме реального времени при помощи компьютерных устройств. Впервые термин «дополненная реальность» был предложен в 1990 году исследователем Томом Коделом. Сейчас дополненная реальность всё активнее применяется в следующих сферах: компьютерные игры, кино, продажи, образование, здравоохранение, военная промышленность, проектирование. Предлагаемая статья затрагивает лишь небольшую задачу по созданию мобильного приложения дополненной реальности.

Национальный исследовательский университет «МЭИ» (НИУ «МЭИ»), как и все университеты России, несколько раз в году проводит для абитуриентов и их родителей дни открытых дверей. Готовятся стенды, брошюры и буклеты о факультетах. В такие дни в университетах можно получить много интересной и полезной информации. Абитуриентам предоставляется возможность получения консультаций у представителей руководства университета и кафедр. Перед каждым ВУЗом стоит задача привлечь будущих студентов.

Для «оживления» и увеличения привлекательности рекламных материалов необходимо активно использовать

новые технологии. Внедрение современных технологий в данную область позволит продуктивнее проводить работу по профориентации абитуриентов.

Для решения этой задачи была использована технология дополненной реальности. Задача состояла в разработке мобильного программного приложения к рекламному буклету НИУ «МЭИ», которое сделает взаимодействие с буклетом более интересным и привлечёт внимание абитуриентов. В качестве среды разработки и инструментария выбрана связка из операционной системы Android, межплатформенной среды разработки Unity [1] и инструмента разработки программного обеспечения дополненной реальности Vuforia (SDK AR Vuforia).

Проведён сравнительный анализ наиболее известных библиотек дополненной реальности: ARCore, ARToolKit, EasyAR, Kudan, Maxst, Vuforia, Xzimg, Wikitude, ThingWorx Studio. Из этого списка можно исключить ARCore, т.к. эта платформа подходит для ограниченного количества смартфонов.

Все представленные инструменты должны иметь совместимость с межплатформенной средой разработки Unity. Unity позволяет создавать проекты как в 2D, так и в 3D, поддерживает два скриптовых языка: C#, JavaScript. Эта среда разработки содержит в себе редактор сцен, редактор объектов и редактор скриптов. Для создания реалистичного поведения объектов в Unity встроен физический движок, обеспечивающий компонентами для симуляции физического поведения объектов. При разработке используется компонентно-ориентированный подход к программированию. Необходимость использования Unity обусловлена тем, что данная среда позволяет компилировать проекты под операционные системы Android и iOS, упрощает работу с 3D моделями. Кратко рассмотрим каждую платформу.

ARToolKit [2] представляет собой набор программных библиотек, которые могут использоваться в AR (augmented reality) приложениях. Главное достоинство библиотеки – открытый исходный код. Отсутствует WaterMark. WaterMark или водяной знак – это полупрозрачное

изображение, накладываемое поверх изображения с камеры. Чаще всего водяной знак представлен логотипом компании и присутствует в бесплатных лицензиях библиотек дополненной реальности. Имеется возможность распознавать 2D объекты. Несмотря на бесплатный доступ, документация для разработчиков весьма ограничена. Отсутствует возможность распознавания объёмных объектов и метки из облака.

EasyAR [3] – бесплатная и простая в использовании библиотека. Имеет возможность распознавания только 2D объектов. Отсутствует WaterMark. Является хорошей альтернативой Vuforia по качеству распознавания меток. Поддерживается до 1000 меток для распознавания. Отсутствуют хорошие учебные пособия, изучение возможно только по документации, что не удобно и не продуктивно.

Kudan [4]. К положительным возможностям можно отнести отсутствие ограничений на количество распознаваемых изображений и маленький объём памяти, требуемый для хранения файлов на устройстве. Существует возможность распознавания 3D объектов, безмаркерное отслеживание объектов. Разработчики могут воспользоваться базовой документацией при обращении к библиотеке. Однако руководство по использованию не очень подробное и требует поиска дополнительной информации. Отображение дополнений реализуется через отдельный компонент-обертку над OpenGL. Имеется WaterMark. Но бесплатная версия предназначена только для тестирования приложений. Для публикации приложения требуется покупка лицензии.

Maxst [5] оптимизирован именно для мобильных платформ. Распознаёт и отслеживает изображение, но одновременно максимально только 3 цели. Имеется возможность отследить плоскую поверхность и разместить на ней требуемый объект. Бесплатная версия позволяет вести разработку только для ОС Android и iOS. Имеется поддержка одновременного создания и сохранения трёхмерной карты пространства. Maxst работает только с 32-разрядной версией редактора Unity. Maxst обладает не очень хорошим качеством распознавания меток.

Xzing [6] представляет собой три продукта для работы с приложениями на основе дополненной реальности: Augmented Face, Augmented Vision и Magic Face. Xzing Augmented Face распознает и отслеживает лица. Xzing Augmented Vision распознает и отслеживает плоские изображения. Xzing Magic Face предназначен для замены черт лица и нанесения макияжа. Имеется возможность разработки проекта под HTML5. Наличие WaterMark. Бесплатная пробная версия доступна только для демонстрации (инвертирует цвет и меняет изображение).

Wikitude [7] имеет функцию Extended Tracking для сохранения положения метки на мобильном устройстве, даже если она за пределами обзора камеры. Поддерживается распознавание как 2D, так и 3D форматов. Существует возможность сканирования реального объекта для последующего распознавания. Имеется хорошая документация, но при этом малое количество обучающего материала. Но бесплатная версия предоставляется только

для тестирования. Для дальнейшей разработки и публикации необходимо приобретение лицензии.

ThingWorx Studio [8] – универсальный инструмент для создания и публикации продуктов дополненной реальности. Позволяет разрабатывать приложения для промышленных предприятий, используя понятный графический редактор. В ThingWorx Studio используется технология компьютерного зрения Vuforia. Метки для распознавания и 3D объекты хранятся и используются через облачную базу данных. ThingWorx Studio единственная из представленных сред разработки позволяет напрямую использовать САПР модели. Но данный инструмент имеет только пробную бесплатную версию, для дальнейшей разработки и публикации необходимо приобретение лицензии.

Vuforia [9] – одна из самых популярных в мире платформ дополненной реальности. Существует большое количество обучающего материала как в текстовом, так и в видео формате. Программное обеспечение реализует следующие функции: распознавание различных типов визуальных объектов (куб, цилиндр, плоскость), распознавание текста и окружающей среды, VuMark (комбинация изображения и QR-кода). Процесс распознавания меток может быть реализован с использованием локальной или облачной базы данных. Ограничения бесплатной версии относятся только к числу VuMark, количеству взаимодействий с облачной базой данных и наличию WaterMark. Vuforia поддерживает Extended Tracking. Имеются возможности распознавания 3D объектов и поддержки Virtual Button [10].

Исходя из приведённого анализа, сделан выбор инструмента разработки программного обеспечения дополненной реальности Vuforia. Данная платформа наиболее популярна, а значит более доступна для изучения. В настоящий момент владельцем Vuforia является компания PTC, занимающаяся внедрением в работу предприятий дополненной реальности, интернета вещей, 3D-печати, цифровых двойников, что даёт надежду на дальнейшую активную поддержку и развитие AR SDK Vuforia.

II. РЕКЛАМНЫЙ БУКЛЕТ НИУ «МЭИ»

Изображения, являющиеся метками для распознавания, должны соответствовать определённым требованиям. Согласно рекомендациям, распознаваемое изображение должно быть выполнено на плотной бумаге и быть достаточно контрастным по сравнению с фоном [11]. В связи с этим существующий буклет был доработан.

На буклете для всех институтов, входящих в НИУ «МЭИ», добавлены эмблемы и контрастное название. Увеличена общая контрастность всего буклета, добавлены QR-код и ссылка на скачивание приложения с Google Play. Итоговая версия буклета представлена на рис. 1 и рис. 2.

На рис. 3 представлены отличительные признаки в некоторых изображениях, выделенные Vuforia SDK. Жёлтые кресты – это контрольные точки, по совокупности которых фреймворк Vuforia отличает одни метки от других.

Инженерно-экономический институт

очная и очно-заочная формы обучения – бюджетные и договорные места

10.03.01 Информационная безопасность

- безопасность компьютерных систем – очное обучение
- организация и технология защиты информации – очное обучение
- безопасность автоматизированных систем – очно-заочное обучение

очная, очно-заочная и заочная формы обучения – бюджетные и договорные места

09.03.03 Прикладная информатика

- прикладная информатика в экономике

очная, очно-заочная и заочная формы обучения – договорные места

38.03.01 Экономика

- экономика предприятий и организаций
- финансы и кредит
- бухгалтерский учет, анализ и аудит
- экономика и экономическая безопасность предприятия (организации)
- корпоративные финансы – очное и очно-заочное обучение
- аналитическая экономика – очное обучение
- налоги и налогообложение – очно-заочное и заочное обучение

38.03.05 Бизнес-информатика

- информационное и программное обеспечение бизнес-процессов

38.03.02 Менеджмент

- менеджмент предприятий и организаций
- финансовый менеджмент
- маркетинг
- управление человеческими ресурсами
- государственная и муниципальная служба
- логистические системы в экономике и управлении – очно-заочное и заочное обучение

очно-заочная и заочная формы обучения – договорные места

27.03.02 Управление качеством

- управление качеством в производственно-технологических системах

очно-заочная форма обучения – договорные места

08.03.01 Строительство

- промышленное, гражданское и энергетическое строительство (неаккредитованное направление)

Гуманитарно-прикладной институт

очная форма обучения – договорные места

45.03.02 Лингвистика

- перевод и переводоведение

42.03.01 Реклама и связи с общественностью

- связи с общественностью

очная и очно-заочная формы обучения – договорные места

54.03.01 Дизайн

- графический дизайн
- дизайн предметно-пространственной среды
- дизайн интерьера

очно-заочная и заочная формы обучения – договорные места

42.03.01 Реклама и связи с общественностью

- реклама и связи с общественностью
- дизайн в рекламе
- реклама и управление в гостиничном бизнесе и туризме – заочное обучение

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

Адрес МЭИ: 111250, г. Москва, Красноказарменная ул., дом 14
mpei.ru

Факультет довузовской подготовки: Красноказарменная ул., дом 17, корп. А, ауд. А-311
тел.: 8 495 362-79-76, e-mail: fdp@mpei.ru
fdp.mpei.ru

Приемная комиссия: Красноказарменная ул., дом 17, корп. Б, ауд. Б-209
тел.: 8 495 362-77-77, e-mail: pk@mpei.ru
pk@mpei.ru

Проезд: ст. метро «Авиамоторная»; ж.д. платформа «Новая Казанского направления»
от ст. метро «Авиамоторная»: троллейбус 24, трамвай 24, 37, 50 (Остановка «МЭИ»), пешком – 8-10 мин.

План расположения корпусов МЭИ

Скачать приложение дополненной реальности можно просканировав QR-код или по ссылке: goo.gl/Cv5qGT

Google Play

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Рис. 1. Лицевая сторона буклета НИУ «МЭИ»

Институт тепловой и атомной энергетики

очная форма обучения – бюджетные и договорные места

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

- тепловые электрические станции
- технология воды и топлива на ТЭС и АЭС
- автоматизация технологических процессов в теплоэнергетике

14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

- теплофизика
- атомные электростанции и установки
- техника и физика низких температур
- термоядерные реакторы и плазменные установки
- нанотехнологии и наноматериалы в энергетике

очная форма обучения – договорные места

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

- тепловые электрические станции
- автоматизация технологических процессов в теплоэнергетике

Институт проблем энергетической эффективности

очная форма обучения – бюджетные и договорные места

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

- промышленная теплоэнергетика
- энергетика технологий
- энергообеспечение предприятий
- автономные энергетические системы
- экономика и управление на предприятии теплоэнергетики

очно-заочная и заочная формы обучения – договорные места

38.04.01 Экономика

- экономика предприятий и организаций
- теплоэнергетика и теплотехника
- экономика и управление на предприятиях теплоэнергетики

Институт электроэнергетики

очная форма обучения – бюджетные и договорные места

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

- электрические станции
- электроэнергетические системы и сети
- электроснабжение
- электроснабжение и кабельные сети
- высоковольтные электроэнергетика и электротехника
- гидроэлектростанции
- нетрадиционные и возобновляемые источники энергии
- релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем
- менеджмент в электроэнергетике и электротехнике
- техника и электрофизика высоких напряжений

очная форма обучения – договорные места

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

- электроснабжение

Институт автоматики и вычислительной техники

очная форма обучения – бюджетные и договорные места

01.03.02 Прикладная математика и информатика

- математическое и программное обеспечение вычислительных машин и компьютерных сетей
- математическое моделирование

09.03.01 Информатика и вычислительная техника

- вычислительные машины, комплексы, системы и сети
- вычислительно-измерительные системы
- системы автоматизированного проектирования
- автоматизированные системы обработки информации и управления

27.03.04 Управление в технических системах

- управление и информатика в технических системах
- системы и технические средства автоматизации и управления

12.03.01 Приборостроение

- приборы и методы контроля качества и диагностики

Институт энергомашиностроения и механики

очная форма обучения – бюджетные и договорные места

15.03.03 Прикладная механика

- динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры

15.03.06 Мехатроника и робототехника

- компьютерные технологии управления в робототехнике и мехатронике

13.03.03 Энергетическое машиностроение

- котлы, камеры сгорания и парогенераторы АЭС
- газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели
- автоматизированные гидравлические и пневматические системы и агрегаты
- производство энергетического оборудования

15.03.01 Машиностроение

- машины и технология высокоэффективных процессов обработки материалов

Институт электротехники

очная форма обучения – бюджетные и договорные места

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

- электромеханика
- электрические и электронные аппараты
- электровакуумная, кабельная и конденсаторная техника
- электропривод и автоматика
- электрогеологические установки и системы
- электрический транспорт
- электрооборудование летательных аппаратов
- электрооборудование автомобилей и тракторов
- электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений
- техногенная безопасность в электроэнергетике и электротехнике

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

- нанотехнология в электронике

очно-заочная форма обучения – договорные места

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

- электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений
- техногенная безопасность в электроэнергетике и электротехнике

Институт радиотехники и электроники

очная форма обучения – бюджетные и договорные места

Факультет электронной техники (ФЭТ)

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

- микроэлектроника и твердотельная электроника
- светотехника и источники света
- промышленная электроника
- квантовая электроника

Радиотехнический факультет (РТФ)

11.03.01 Радиотехника

- радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов

12.03.04 Биотехнические системы и технологии

- биотехнические и медицинские аппараты и системы

Специальность:

11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

- радионавигационные системы и комплексы

Рис. 2. Обратная сторона буклета НИУ «МЭИ»



Рис. 3. Характерные точки в метках, выделенные Vuforia

III. МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Разработка проводилась в межплатформенной среде разработки Unity под операционную систему Android с использованием Vuforia SDK. Был реализован следующий функционал.

При запуске приложения появляется приветственное окно с кратким руководством к действию, где сказано, что для получения более подробной информации о институте необходимо наводить смартфон с запущенным приложением на рекламный буклет. При наведении камеры смартфона на логотип и название института появляется объёмный логотип этого же института. Для этого в графическом редакторе Blender были разработаны объёмные логотипы институтов. При нажатии на логотип, являющийся кнопкой, пользователь попадает на страницу, где может подробнее узнать о институте, а также перейти на его сайт. Наведение камеры смартфона на вывески институтов, расположенные в коридорах корпусов НИУ «МЭИ», также приводит к аналогичным действиям (см. рис. 4).

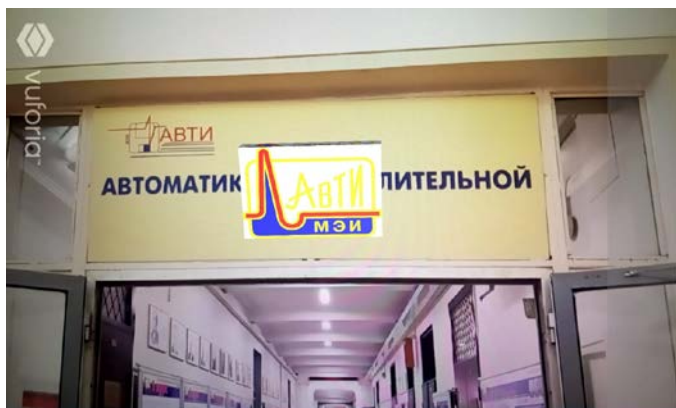


Рис. 4. Считывание метки, представленной объектом реального мира

При наведении камеры смартфона на карту в буклете показывается её увеличенная копия, а при наведении на изображение главного корпуса воспроизводится гимн НИУ «МЭИ».

Кроме описанных выше возможностей реализованы следующие функции мобильного приложения. Обеспечен

автофокус камеры. Данная функция возможна благодаря программному скрипту, переводящему камеру в режим автофокусировки. Для того чтобы приложение было адаптировано под различные разрешения экранов смартфонов, при разработке используется привязка по якорям элементов пользовательского интерфейса. Добавлена возможность отслеживания метки за её границами (Extended Tracking Vuforia). Поддерживается одновременное распознавание 9 меток, при необходимости это число можно увеличить.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Доработанный буклет удовлетворяет условиям хорошего качества распознавания меток. Мобильное приложение расширяет функционал буклета и делает взаимодействие с ним более информативным и интересным. Приложение опубликовано в Google Play и доступно для скачивания по ссылке или QR-коду из буклета. Планируется добавить функционал взаимодействия с картой в дополненной реальности.

При тестировании было выяснено, что во время перемещения реального объекта, являющегося меткой, или смартфона запаздывание отображения виртуального объекта находится в пределах допустимого. Наибольшее влияние на качество распознавания и отслеживание в дополненной реальности оказывает качество камеры в смартфоне и уровень окружающего освещения.

Разработанное мобильное приложение можно использовать на дне открытых дверей не только в пределах одного университета. Возможность добавления большого количества отслеживаемых меток позволяет делать одно мобильное приложение на несколько университетов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Unity 3D. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unity3d.com/ru/>.
- [2] Open Source Augmented Reality SDK | ARToolKit. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://artoolkit.org/>.
- [3] EasyAR-Best engine for developing Augmented Reality. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.easyar.com/>.
- [4] Home | Kudan. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kudan.eu/>.
- [5] Maxst. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://maxst.com/>.
- [6] Xzimg. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.xzimg.com/>.
- [7] Wikitude Augmented Reality. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.wikitude.com/>.
- [8] Developer Portal: ThingWorx. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developer.thingworx.com/>.
- [9] Vuforia Augment Reality. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vuforia.com/>.
- [10] Eight best augmented reality SDK for AR development for iOS and Android in 2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://thinkmobiles.com/blog/best-ar-sdk-review/>.
- [11] Optimizing Target Detection and Tracking Stability. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://library.vuforia.com/articles/Solution/Optimizing-Target-Detection-and-Tracking-Stability/>.

Кафедральная система BINP+ автоматизированной проверки знаний

В.С. Батасова, М.Д. Кочнева

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Москва, Российская Федерация

BatsovaVS@mpei.ru, KochnevaMD@mpei.ru

Аннотация — Рассматриваемая система осуществляет проверку знаний по тестам, хранящимся в текстовых файлах. Тесты должны быть подготовлены в формате «по умолчанию» системы дистанционного обучения (СДО) «Прометей». Одни и те же файлы тестов могут быть использованы и в системе BINP+, и в «Прометее». Кафедральная система применяется, когда использование «Прометее» затруднительно, либо из-за его недоступности, либо из-за невозможности подготовки преподавателя и учетных записей студентов в кратчайшие сроки. Система BINP+ реализована как Web-приложение с применением технологий PHP и AngularJS. Она занимает малый объем памяти, проста в установке и требует минимальных усилий для ее освоения преподавателем.

Ключевые слова — *тестирование, система проверки знаний, файлы тестов; сетевые приложения.*

I. МЕСТО КАФЕДРАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

В Национальном исследовательском университете (НИУ) «МЭИ» в течение многих лет используется СДО «Прометей» (см., например, [1]). Эта система предназначена для организации полноценного дистанционного образования и рассчитана на большие потоки слушателей. Она позволяет организовать учебный процесс с различной степенью соответствия классической модели университетского образования. «Прометей» представляет собой многофункциональную систему, состоящую из большого числа подсистем. Это, например, подсистемы управления группами, библиотеки учебных материалов, обмена информацией. В «Прометее» существует удобная интерактивная система подготовки тестов и хорошие возможности для проведения тестирования.

СДО «Прометей» допускает также подготовку теста в текстовом редакторе по определенным правилам (формату, схеме). Самая простая схема «по умолчанию» используется в том случае, если необходимо загрузить в систему уже имеющийся тест за минимальный срок. Загружаемый тест должен содержать вопросы только самых распространенных трех типов (поле ввода, один из многих, многие из многих) и не должен содержать рисунков. Подготовленный текстовый файл теста обрабатывается программой-конвертором и затем загружается в «Прометей».

Для проведения тестирования студенческой группы в СДО «Прометей» преподавателю, кроме подготовки тестов, требуется заранее подать заявку на тестирование, собрать адреса электронной почты студентов и передать их в «Прометей» для создания учетных записей студентов.

В некоторых случаях проведение тестирования в СДО «Прометей» затруднительно. Например, может отсутствовать учетная запись студента в системе «Прометей» (из-за отставания студента от графика учебного процесса), или может отсутствовать надежное и быстрое подключение к сети Интернет. Кроме того, проведение тестирования в среде «Прометей» требует и от преподавателя умения работать в этой среде и предварительного оформления учетной карточки преподавателя. Освоение среды «Прометей», в свою очередь, требует достаточной подготовки преподавателя. Например, в 2015 г. в НИУ «МЭИ» с этой целью организовывались краткосрочные курсы объемом 24 часа.

Если организация тестирования в СДО «Прометей» невозможна, то хорошим выходом из затруднительного положения является применение простой, предназначенной только для проверки знаний, кафедральной системой BINP+.

Система BINP+ использует файлы тестов в формате «по умолчанию» системы «Прометей». Таким образом, эти файлы можно использовать как в системе BINP+, так и в системе «Прометей». Если у преподавателя уже имеется тест, набранный в текстовом редакторе, то для приведения его в соответствие с форматом «по умолчанию» потребуется минимальное время (для теста из 30 вопросов не более 0,5 часа). Файл теста должен иметь расширение .txt и имя, совпадающее с названием теста. Подготовленный тест помещается в папку «Тесты» системы BINP+, в подпапку, именованную названием студенческой группы. После этого система BINP+ готова к проверке знаний студентов по этому тесту.

II. ПОРЯДОК ПРОХОЖДЕНИЯ ТЕСТА В СИСТЕМЕ BINP+

В начале работы с системой BINP+ студент должен ввести в форму стартовой страницы (см. рис. 1) свои идентификационные данные: имя, фамилию и группу. Нажав кнопку «Перейти к выбору теста», студент переходит к странице выбора одного из тестов, которая представлена на рис. 2 (верхнее окно).

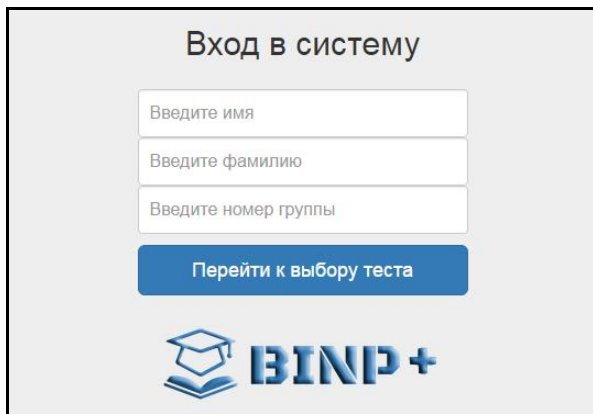


Рис. 1. Стартовая страница системы BINP+

После выбора теста и нажатия кнопки «Войти», в окно браузера выводится информация о тесте (см. рис.2, нижнее окно). Студент инициализирует начало выполнения теста с помощью кнопки «Начать тестирование», после чего в окно браузера выводится страница с первым вопросом. Пример страницы системы, содержащей вопрос теста типа «один из многих», приведен на рис.3.

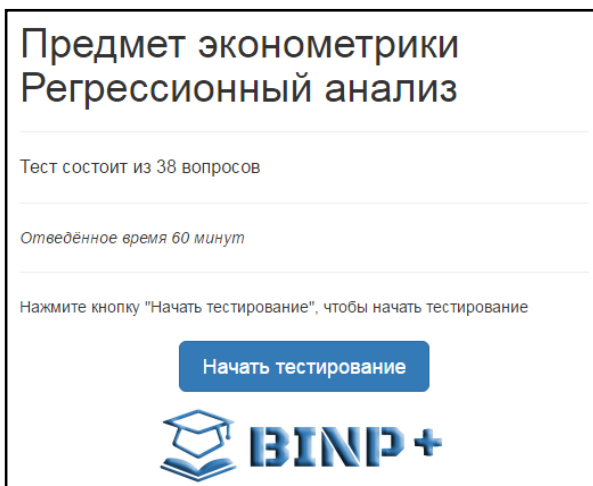
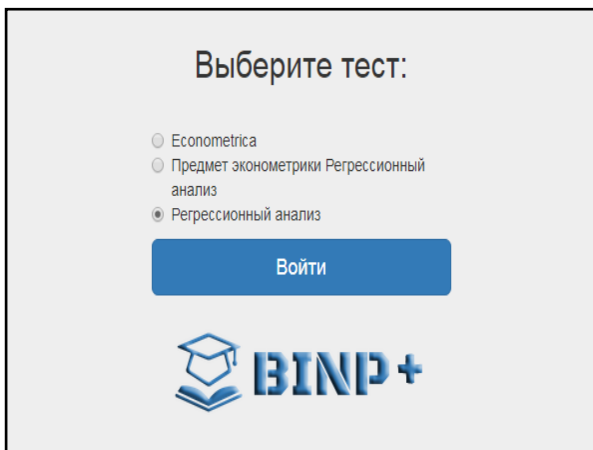


Рис. 2. Страницы выбора теста и начала тестирования

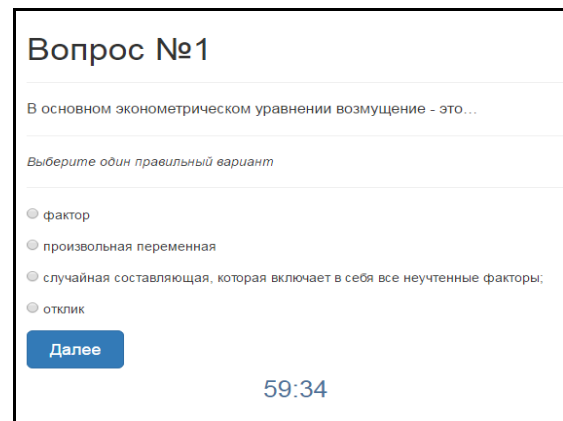


Рис. 3. Пример страницы с вопросом

Страницы с вопросами последовательно сменяют друг друга по мере того, как студент отвечает на них и нажимает кнопку «Далее». Внизу страницы показывается время, оставшееся на прохождение теста.

После завершения процесса проверки знаний выводится страница с результатами тестирования. На ней, кроме названия теста, фамилии, имени и группы студента, показывается количество вопросов, на которые студент ответил правильно, общее количество вопросов теста и оценка за выполнение теста. Оценка определяется в соответствии с долей вопросов, на которые был дан правильный ответ, в общем количестве вопросов.

Предусмотрена возможность пересдачи теста. Система подсчитывает количество попыток сдачи теста за один сеанс тестирования.

Отметим также, что результаты тестирования и вопросы, на которые был дан неправильный ответ, сохраняются в файле формата .csv. Этот файл может быть использован преподавателем для анализа результатов тестирования.

III. ТЕХНОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ СОЗДАНИИ СИСТЕМЫ

Предлагаемая система проверки знаний представляет собой многомодульное сетевое приложение. Большинство модулей приложения разработано на основе PHP-технологии (см., например, [2, 3]).

Для вывода вопросов теста в окно системы, получения, обработки и сохранения ответов студента, применялась платформа AngularJS совместно с технологией AJAX (см., например, [4, 5]).

Отладка системы производилась с использованием Web-сервера Apache в операционной среде Windows XP Professional.

IV. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ

Функциональная схема предлагаемой системы проверки знаний представлена на рис. 4.

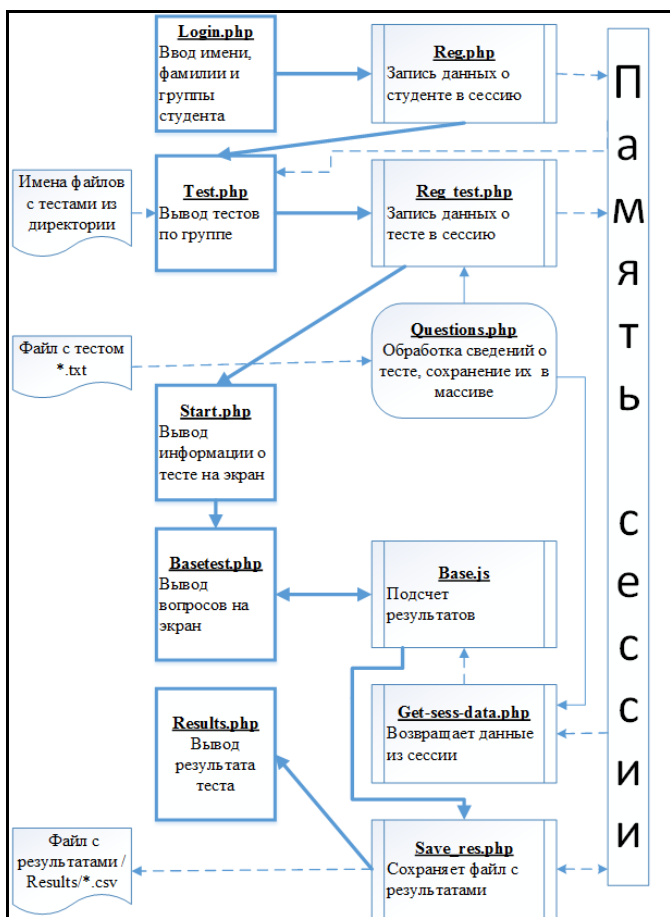


Рис. 4. Функциональная схема системы BINP+

Прямоугольными блоками на рис. 4 показаны модули системы; причем прямоугольники с одинарными утолщенными рамками — это интерактивные страницы, через которые пользователь, проходящий тестирование, общается с системой. Блоки с двойными боковыми сторонами представляют собой программные файлы, содержащие скрипты на языке PHP или JavaScript, не осуществляющие вывод в окно браузера. Блоки в виде криволинейных трапеций изображают файлы, с которыми работает система: входные файлы, содержащие тесты в формате «по умолчанию», и выходные файлы, хранящие результаты тестирования в формате .csv. Прямоугольный блок с закругленными углами соответствует файлу, в котором хранится определение класса, содержащего данные и методы для преобразования теста из текстового файла в массив вопросов. Стрелки, нарисованные тонкими сплошными линиями, означают включение этого файла в другие модули. Утолщенные сплошные стрелки, показывающие переход от одного модуля системы к другому.

Данные пользователя, обрабатываемые различными модулями системы на протяжении сеанса тестирования, запоминаются в памяти сессии для дальнейшего использования во всех модулях системы. К таким данным относятся, например, фамилия, имя, группа студента, название теста, количество вопросов теста, массив вопросов теста, максимальное время прохождения теста, результаты и протокол тестирования.

Пунктирные стрелки на рис. 4 показывают передачу данных между модулями и памятью сессии или между модулями и файлами данных.

Работа с системой начинается со страницы `login.php`, на которой вводятся сведения о студенте, проходящем тестирование (см. рис. 1). Введенные данные передаются на сервер в модуль `reg.php`, который запоминает их в памяти сессии и осуществляет переход к странице выбора теста `test.php`. Отображение страницы `test.php` в окне браузера представлено на рис.2 (верхнее окно). Предлагается выбрать тест из списка тестов, предназначенных для студенческой группы (то есть хранящихся в папке группы). Таким образом, распределение тестов по папкам студенческих групп обеспечивает доступ студента только к тестам, соответствующим программе обучения. Название выбранного пользователем на этой странице теста передается на сервер в модуль `reg_test.php`.

В модуле `reg_test.php` осуществляется переписывание теста из файла в массив вопросов, причем вопросы теста в пределах одной секции (темы) перемешиваются в случайном порядке. Этот массив, количество элементов в нем и название теста запоминаются в памяти сессии. Модуль `reg_test.php` использует класс обработки теста, определение которого хранится в модуле `Questions.php`. Модуль `reg_test.php` передает управление странице `start.php`.

Страница `start.php` выводит сведения о выбранном тесте в виде, представленном на рис.2 (нижнее окно). Нажатие кнопки «Начать тестирование» приводит к переходу на страницу `basetest.php` и появлению на экране первого вопроса теста.

Страница `basetest.php`, взаимодействуя с модулем `base.js`, обеспечивает последовательный вывод вопросов теста в окно браузера и обработку ответов пользователя. Контроллер, хранящийся в модуле `base.js`, в соответствии с технологией AngularJS, описывает логику обработки данных тестирования: определяется тип вопроса («многие из многих», «один из многих», «поле ввода»), и для каждого типа описывается алгоритм обработки. На вход модуля `base.js` массив вопросов теста поступает с помощью сервиса `$http` технологии AngularJS, предназначенного для обмена данными с Web-сервером посредством Ajax-запроса. Серверный модуль `get-sess-data.php` подготавливает массив вопросов для сервиса `$http`: берет этот массив из памяти сессии и преобразует его в формат JSON.

Результаты прохождения теста передаются с помощью сервиса `$http` из модуля `base.js` в серверный модуль `save_res.php`; последний модуль сохраняет результаты тестирования в файле с расширением .csv. Имя файла состоит из номера группы, фамилии и имени студента и названия теста.

Модуль `save_res.php` передает управление модулю `results.php`, который выводит в окно браузера название теста, фамилию, имя и группу студента, количество вопросов, на которые студент дал правильный ответ,

общее количество вопросов и оценку за выполнение теста. Кроме того, эта страница дает пользователю возможность инициализировать повторное прохождение теста. Количество предыдущих попыток также выводится в это окно.

V. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ

Ниже перечислены основные свойства предлагаемой системы проверки знаний:

- Тесты готовятся в виде текстовых файлов, размеченных по формату «по умолчанию» СДО «Прометей».
- Файл теста должен быть помещен в подпапку студенческой группы папки «Тесты» системы.
- Файл теста должен иметь расширение .txt и имя, совпадающее с названием теста. Именно это имя (без расширения) будет использовано при общении пользователя с системой.
- Предусмотрен выбор одного из нескольких тестов, предназначенных для данной группы в соответствии с учебной программой.
- Система обеспечивает ввод и сохранение идентификационных данных пользователя.
- Система осуществляет многостраничное тестирование, то есть выводит каждый вопрос в отдельное (и единственно доступное в каждый момент времени) окно системы. Пока студент не ответит на текущий вопрос, он не может перейти к следующему. Возврат к вопросам, пройденным ранее, не предусмотрен.
- Система обеспечивает случайный порядок вывода вопросов на экран, перемешивая случайным образом вопросы каждого тематического раздела.
- Результаты тестирования сразу после завершения тестирования выводятся в окно браузера.
- Протокол тестирования сохраняется в файле расширением .csv. Имя файла содержит название группы, фамилию и имя студента, название теста. Этот файл в дальнейшем может быть проанализирован с помощью табличного процессора Microsoft Excel.
- Система занимает весьма малый объем памяти — приблизительно 500 КБ, включая файлы библиотек angular.min.js и bootstrap.min.css и не учитывая файлы тестов и результатов тестирования.
- Система проста в установке, освоении и использовании.
- Система предназначена для использования в том случае, когда требуется провести тестирование для небольшого числа студентов в кратчайшие сроки с минимальными затратами труда. Никакие другие задачи, кроме тестирования, система не решает.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система BINP+ была создана на кафедре Прикладной и бизнес информатики (ПБИ) НИУ «МЭИ». Работа над системой началась в 2013 году. Первый вариант системы (см. [6]) был реализован на основе классической ASP-технологии. Развитие программного обеспечения привело к необходимости перепрограммирования системы с использованием более современных технологий, были выбраны платформы PHP и AngularJS. В 2016 году была разработана система BINP, а в 2017 – BINP+.

К достоинствам системы следует отнести простоту ее установки, освоения и использования, а также малые требуемые вычислительные ресурсы. Все варианты системы были многократно опробованы при тестировании студентов НИУ «МЭИ», отстающих от графика учебного процесса.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую благодарность заведующему кафедрой ПБИ Крепкову Игорю Михайловичу за неизменную поддержку разработчиков системы и доценту кафедры ПБИ Емельяновой Наталии Захаровне за многократное обсуждение системы и критические замечания по определению возможностей и описанию системы.

Создание системы BINP+ было бы невозможно без студентов кафедры ПБИ, которые в течение нескольких лет выполняли работу по программированию системы.

Авторы благодарят выпускников кафедры ПБИ:

- Назарову М.А. — за участие в разработке варианта системы на основе ASP-технологии (см. [6]).
- Глухову П.И. — за участие в разработке варианта системы на основе технологий PHP и AngularJS. Именно она придумала название системы BINP (But Is Not Prometheus).
- Власову В.В. — за участие в совершенствовании системы.
- Серенко Д.И. — за участие в создании будущих, пока не входящих в систему, модулей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Общее описание Системы дистанционного обучения «Прометей». — М., 2012.
- [2] Колисниченко Д.Н. PHP и MySQL. Разработка приложений. — Издательство «БХВ-Петербург», 2017. — 640 с.
- [3] Котеров Д.В., Симдянов И.В. PHP 7. Наиболее полное руководство. — Издательство «БХВ-Петербург», 2017. — 1088 с.
- [4] Адам Фримен. Angular для профессионалов. — Издательство «Питер», 2018. — 800 с.
- [5] Кристиан Дари, Богдан Бринзаре, Филип Черchez-ТОза, Михай Бусика. AJAX и PHP. Разработка динамических сайтов. — Издательство «Символ-Плюс», 2009. — 336 с.
- [6] Батасова В.С., Назарова М.А. О простой системе проверки знаний студентов. Сборник трудов Международной научно-методической конференции «Информатизация инженерного образования (Инфорино-2014)», Москва, 15-16 апреля 2014 года, с.25-26.

Внедрение информационных технологий: методология подготовки кадров

Богатенков С.А., Паламарчук Л.Н.

Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)
г. Челябинск, Российская Федерация
bogatenkovsa@susu.ru, palamarchukln@susu.ru

Баженов Р.И.

Приамурский государственный университет
им. Шолом-Алейхема
г. Биробиджан, Российская Федерация
r-i-bazhenov@yandex.ru

Аннотация. Отсутствие системного подхода к минимизации рисков и достаточных моделей компетенций приводит к неэффективности проектов внедрения новых информационных технологий. Целью исследования является разработка методологии подготовки кадров, сводящей к минимуму риски профессиональной деятельности при внедрении информационных технологий. Основу методологии составляют инвариантные модели и методы сетевого планирования персональных траекторий развития и проектирования системы безопасного внедрения информационных технологий. Построены инвариантные модели компетенций, состава и оценки мероприятий, позволяющие свести к минимуму трудозатраты и ошибки персонала при адаптации системы подготовки кадров к работе с конкретным видом информационных технологий на конкретном предприятии или в организации. На основе модели компетенций, учитывающей уровень образования, опыт работы, сертификаты и должностные обязанности, предложен метод проектирования персональных траекторий развития для работы с информационными технологиями, сводящий к минимуму экономические риски. На основе моделей состава и оценки мероприятий предложен метод проектирования системы безопасного внедрения информационных технологий, учитывающий системный подход к учету рисков, а также компетенции и интересы всех участников процесса внедрения информационных технологий. Применение результатов исследования на Челябинском кузнечно-прессовом заводе, в Южно-Уральском и Приамурском государственных университетах привело к экономии затрат, связанных с подготовкой персонала к безопасному внедрению продуктов платформы 1С.

Ключевые слова: информационные технологии, подготовка кадров, безопасность, моделирование, компетенции

1. ВВЕДЕНИЕ

Четвертая промышленная революция приведет к значительным изменениям, благодаря развитию Интернет, позволит общаться людям с машинами в кибернетических системах и глобальных сетях. Индустрия 4.0 позволит собирать и анализировать различные данные на компьютерах, что обеспечит возможность быстро, эффективно и гибко создавать товары высокого качества с минимальными затратами [1]. К основным целям, которые заложены в программу развития цифровой экономики в России до 2024 года, относятся: обеспечение быстрого доступа в интернет для каждого россиянина, включая жителей отдаленных населенных пунктов; замена вузовских дипломов и трудовых книжек на траектории развития, «умные города» и даже автоматизированная система принятия государственных решений [2].

Экономическая целесообразность и привлекательность повышения качества жизни сопровождается рисками повышения нестабильности и возможного коллапса мировой системы. Ущерб в результате применения новых информационных технологий соизмерим с ежегодным ростом валового внутреннего продукта [3]. В последние годы в крупных энергосистемах мира участились случаи крупномасштабных аварий [4]. Например, катастрофический пожар и мощные взрывы в марте 2004 г. на крупном американском нефтеперерабатывающем заводе компании British Petroleum в г. Техас Сити привели к многочисленным человеческим жертвам и резкому росту биржевых цен на топливо. Благодаря следственным экспериментам появилась возможность подтвердить замаскированное дистанционное изменение параметров электроснабжения и технологических температурных режимов ректификационного оборудования по сети Интернет [5].

Такое положение объясняется рядом причин.

Во-первых, расширение сектора интеллектуальных систем управления в энергетической сфере, включая «интеллектуальные» сети – smart grid, информационные технологии поддержки принятия управленческих решений, создаваемые на основе средств и методов искусственного интеллекта, повышает риски управленческих решений, связанные с авариями и сбоями в работе таких систем [6].

Во-вторых, наблюдается рост кибертерроризма и усиление угроз для применения зарубежного программного обеспечения на территории России в связи с применением санкций [7].

В-третьих, проблема обеспечения техногенной безопасности на 70 % связана с человеческим фактором [3] и неудовлетворительной подготовкой кадров к работе с информационными технологиями в связи с недостаточной эффективностью применяемых методов [8].

Объяснением ситуации видится отсутствие адекватной интеллектуальной системы управления и поддержки решений, которая по совокупности динамик текущих и ретроспективных значений отдельных параметров ситуации (политических, природных, технических, мотивационных, экономических, социальных и пр.) способна была бы предупредить наступление катастрофических событий. Здесь могли бы помочь нейронные технологии либо системы управления знаниями (экспертные системы), обучаемые с подключением сетевых экспертных процедур [6].

Согласно утвержденной Распоряжением Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р программе развития цифровой экономики, подготовку специалистов инженерных отраслей, как и систему образования в целом, планируется адаптировать к потребностям цифровой экономики. В общем профессиональном и дополнительном образовании для всех специальностей будут выработаны требования к сформированным базовым компетенциям цифровой экономики. Одновременно, учитывая компетенции в области цифровой экономики, будут изменены федеральные государственные образовательные стандарты для всех уровней образования, появится механизм индивидуальных профилей компетенций и траекторий их развития, где будут фиксироваться результаты образовательной и трудовой деятельности [2].

Персональные траектории помогут в решении задачи выявления талантов на ранней стадии в процессе обучения. По окончании учебных заведений персональные траектории будут передаваться в организации, в которых будет работать выпускник. В случае увольнения работника его персональная траектория будет передаваться следующему работодателю. У потенциальных работодателей, учебных заведений и других организаций будет возможность с согласия гражданина и с соблюдением требований законодательства о персональных данных, получить доступ к его персональной траектории [9].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Данные для образования обладают довольно сложной внутренней семантикой. С одной стороны, они включают несколько значимых уровней иерархии и связи между разными типами данных. С другой стороны, они представляют собой очень разобщенную и недостаточную информацию для принятия эффективных решений [10].

Существуют различные подходы к решению задач подготовки кадров для работы с новыми информационными технологиями.

Первый подход основан на использовании опыта работы. Например, для формирования компетенций при работе с новыми информационными технологиями применяется опыт внедрения распределенной информационной системы в многофилиальной организации на примере ФГУП «Почта России» [11] и информационно-измерительных систем на Челябинской ТЭЦ-2 [12].

Второй подход основан на применении математических моделей для формирования компетенций при работе с новыми информационными технологиями. Например, для создания математических моделей по экспериментальным данным используются методы главных компонент и собственных состояний [13], а также многомерной интерполяции и аппроксимации на основе теории случайных функций [14].

Анализ образовательных данных использует стандартные методы классификации, кластеризации, регрессии, корреляции, визуализации, статистики, поиска правил связей [15], а также специфичные методы, например, из области психометрии, которая изучает теорию и методику психологических измерений и является частью статистики. Методы этой дисциплины помогают разбивать студентов на группы по восприятию информации, что в свою очередь позволяет адаптировать образовательный процесс

под студента: подбирать соответствующий тип контента и определенным образом его организовывать [16].

Учет влияния рисков и компетенций участников процесса внедрения выполняется в результате моделирования процессов функционирования стейкхолдеров [17] и системы защиты, обеспечивающей информационную безопасность информационных технологий [18].

Перспективным направлением для построения математических моделей является использование возможностей новых информационных технологий. Например, методы на основе теории оценивания состояния предполагают наличие автоматизированной информационно-измерительной системы, которая формирует систему уравнений, описывающих ее состояние или режим. Изменения режимных параметров системы имеют информационные погрешности, вследствие которых в уравнениях состояния, содержащих "сырые" измерения, будут присутствовать невязки и небалансы. Основная идея оценивания состояния связана с получением расчетных аналогов для всех имеющихся измерений. Разность между измерением и его расчетным аналогом называется остатком оценивания. Существенные значения остатков оценивания являются признаком больших погрешностей конкретных измерений. Представленный в статье [19] метод дает возможность реализовать ряд полезных функций перспективной измерительной системы.

Другой пример, используя возможности автоматизированной информационно-измерительной системы, на основе моделей безопасного состояния электроэнергетической системы разработан метод контроля над соблюдением безопасного режима эксплуатации, что позволяет повысить эффективность энергосберегающих мероприятий, связанных с безопасной работой оборудования и объективностью работы с персоналом [20].

Однако, несмотря на достигнутые успехи, существуют определенные трудности для решения ряда задач, связанных с подготовкой кадров к работе с новыми информационными технологиями.

С одной стороны, при внедрении новых информационных технологий перед руководством предприятий и организаций встает задача эффективной подготовки персонала для работы в новых условиях.

Во-первых, необходимо подготовить уже работающий персонал для перехода к работе с новыми ИТ. Такой переход обычно выполняется в результате дополнительной сертификации персонала путем внесения изменений в должностные инструкции и обучения на курсах повышения квалификации, завершается сдачей экзамена на допуск к работе с новыми информационными технологиями.

Во-вторых, необходимо в должностных инструкциях определить обоснованные требования к уровню образования и опыту работы для приема сотрудников на вакантные должности.

В-третьих, для формирования эффективных персональных траекторий развития для работы с новыми информационными технологиями необходимо сформировать множество их различных вариантов.

Решение данной задачи затруднено в связи с отсутствием достаточной модели компетенций, учитывающей образование, опыт работы, сертификаты и функциональные обязанности.

С другой стороны, при внедрении новых информационных технологий каждый специалист применяет свои способы и методы для достижения заданных целей. При этом каждый из них находит свои правильные решения. Однако, как показывает практика, совокупность таких правильных решений не дает в сумме положительного результата - система в целом и в целом работает неэффективно. По мнению экспертов американского Института управления проектами (Project Management Institute — PMI), невосполнимые потери организаций по причине низкого качества управления проектами составляют на каждый миллиард долларов США 109 млн. долл. США [21]. Примерно такая же картина наблюдается и с выполнением проектов внедрения новых информационных технологий, т.е. на практике реализуется не более половины всех возможностей.

Такое положение обусловлено отсутствием системного подхода к минимизации рисков, учитывающего опыт внедрения ИТ, компетенции и интересы всех участников процесса внедрения.

Целью исследования является разработка методологии подготовки кадров, сводящей к минимуму риски профессиональной деятельности при внедрении информационных технологий.

Объектом исследования являются процессы подготовки кадров к внедрению новых информационных технологий, таких как информационно-измерительные системы, дистанционные образовательные технологии, системы автоматизированного проектирования, программные продукты платформы 1С и т.п.

Предметом исследования являются методы и модели, учитывающие цели, задачи, функции и компетенции лиц, участвующих во внедрении новых информационных технологий сторон.

III. МЕТОДОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО ВНЕДРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Основу методологии подготовки кадров для безопасного внедрения информационных технологий составляют инвариантные модели и методы сетевого планирования персональных траекторий развития и проектирования системы безопасного внедрения информационных технологий.

Методология включает процедуры формирования моделей видов ИТ и плана мероприятий для создания системы безопасности (Рис. 1).

Структура моделей системы безопасного внедрения ИТ представлена на рис. 2.

Базой для формирования моделей конкретных видов информационных технологий являются инвариантные модели, полученные в результате обобщения и систематизации опыта внедрения информационно-измерительных систем, систем автоматизированного проектирования технологических процессов и дистанционных образовательных технологий.



Рис.1. Структура и состав методологии безопасного внедрения ИТ



Рис.2. Структура моделей системы безопасного внедрения ИТ

IV. ПОСТРОЕНИЕ ИНВАРИАНТНЫХ МОДЕЛЕЙ

Применение инвариантных моделей позволяет свести к минимуму трудозатраты и ошибки персонала при адаптации системы подготовки кадров к работе с конкретным видом информационных технологий на конкретном предприятии или в организации.

На основе анализа и обобщения опыта внедрения дистанционных образовательных технологий, информационно-измерительных систем и систем автоматизированного проектирования, построены инвариантные модели компетенций, а также модели состава и оценки мероприятий для безопасного внедрения информационных технологий.

Под моделью компетенций будем понимать модель, включающую объем знаний, умений и навыков, достаточный для выполнения функциональных обязанностей специалиста в соответствии с его должностной инструкцией.

Уровневая модель компетенций (таблица 1), включает инвариантную (столбцы 1–3) и вариативную часть (столбцы 4, 5).

Каждый участник процесса безопасного внедрения информационных технологий должен иметь соответствующий уровень образования, опыт работы и сертификаты, а также знать возможные риски, их степени влияния на безопасность и состав мероприятий, сводящий к минимуму влияние этих рисков.

Процесс адаптации модели компетенций к работе с конкретным видом информационных технологий на конкретном предприятии или в организации сводится к определению данных столбцов 4 и 5 таблицы 1.

Таблица 1. Уровневая модель компетенций

Вариант	Образование	Опыт работы, мес.	Сертификаты	Функциональные обязанности
1.1	Среднее	6	Сертификат №1	Обязанность №1
1.2	Среднее профессиональное	0		
2.1	Среднее или среднее профессиональное	12	Сертификат №2	Обязанность №2
2.2	Бакалавриат или специалитет	6		
3.1	Бакалавриат или специалитет	24	Сертификат №3	Обязанность №3
3.2	Магистратура	6		
4.1	Магистратура	36	Сертификат №4	Обязанность №4
4.2	Аспирантура	6		

Инвариантные модели состава и оценки мероприятий для безопасного внедрения информационных технологий приведены в таблицах 2 и 3.

Процесс адаптации моделей состава и оценки мероприятий к работе с конкретным видом информационных технологий на конкретном предприятии или в организации сводится к определению данных таблиц 2 и 3 на основе учета компетенций и интересов всех участников процесса внедрения.

V. СЕТЕВОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ РАЗВИТИЯ

Сетевое планирование персональных траекторий развития выполняется на основе соответствующей модели компетенций, полученной в результате адаптации инвариантной модели.

На основе заполнения вариативных частей таблицы 1 сформирована модель компетенций для планирования персональных траекторий развития при работе с программными продуктами платформы 1С (таблица 4).

Таблица 2. Инвариантная модель состава мероприятий для безопасного внедрения ИТ

Этап	Мероприятие
1. Экономические риски	
1.1. Отношение к внедрению ИТ как к статье расходов, перекладывание на других участие в процессе, который определяет видение организации	1.1. Формулирование цели внедрения ИТ с точки зрения бизнеса, определение целевой рентабельности инвестиций и ключевых факторов успеха
1.2. Необоснованный выбор варианта внедрения ИТ	1.2. Выбор варианта внедрения ИТ по экономическому критерию
2. Информационные риски	
2.1. Ошибки персонала	2.1. Выявление и устранение причин, приводящих к ошибкам персонала
2.2. Потеря и искажение данных в результате неправильной работы программно-технических средств ИТ	2.2. Организация своевременного обнаружения причин неправильной работы программно-технических средств ИТ и перехода на традиционные ИТ до момента устранения неполадок.
3. Социальные риски	
3.1. Потеря работы для персонала, работающего с традиционными средствами ИТ и психологический барьер для освоения новых ИТ	3.1. Планирование персональных траекторий развития для подготовки кадров к работе с новыми ИТ на основе моделей компетенций и организация эффективной кадровой политики

Таблица 3. Инвариантная модель оценки рисков для безопасного внедрения ИТ

Этап	Вес риска
1. Экономические риски	
1.1. Отношение к внедрению ИТ как к статье расходов, перекладывание на других участие в процессе, который определяет видение организации	2
1.2. Необоснованный выбор варианта внедрения ИТ	3
2. Информационные риски	
2.1. Ошибки персонала.	2
2.2. Потеря и искажение данных в результате неправильной работы программно-технических средств ИТ	3
3. Социальные риски	
3.1. Потеря работы для персонала, работающего с традиционными средствами ИТ и психологический барьер для освоения новых ИТ	2

Применение модели компетенций позволяет управлять траекториями развития с помощью факторов образования и опыта работы на основе методов сетевого моделирования.

Сетевая модель персональных траекторий развития содержит информацию об определенных состояниях достигнутых уровней компетенций (вершины) и их логической взаимосвязи (дуги). Основу логической взаимосвязи составляет технологическая и ресурсная (время и стоимость) зависимость состояний. Сетевой график, представляющий собой графическое изображение сетевой модели персональных траекторий развития, приведен на рис. 3.

Дуги графика задают работы по формированию компетенций для перехода на следующий уровень, определяемый соответствующей вершиной (состоянием). Каждой дуге сетевого графика (ij) поставим в соответствие пару чисел (T_{ij}, C_{ij}), обозначающих продолжительность работы и ее стоимость. Здесь i и j обозначают номера начального и конечного события дуги.

Множество дуг, упорядоченное таким образом, что конечное событие одной из них является начальным событием другой, называется траекторией развития. Траектория развития называется полной, если ее начало совпадает с исходным (нулевым) событием, а конец – с завершающим.

Многовариантность полных персональных траекторий развития дает возможность их планирования в оптимизационной постановке по критерию минимизации времени или стоимости. Для решения этих задач используются известные методы нахождения кратчайших путей на графе с заданными значениями дуг.

Применение результатов исследования в Южно-Уральском и Приамурском государственном университетах привело к экономии затрат, связанных с подготовкой персонала к безопасному внедрению продуктов платформы 1С.

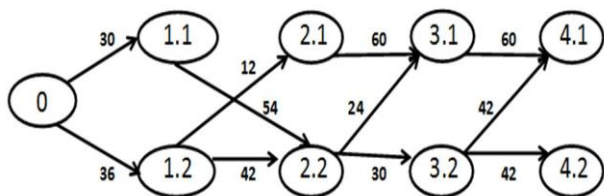


Рис. 3. Сетевой график персональных траекторий развития

ТАБЛИЦА 4. УРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ КОМПЕТЕНЦИЙ ДЛЯ РАБОТЫ С ПРОГРАММНЫМИ ПРОДУКТАМИ ПЛАТФОРМЫ 1С

Вариант	Образование	Опыт работы	Сертификаты	Функциональные обязанности
1.1	Среднее	3 месяца	1С: Профессионал	Оформление первичной документации, проведение приходных документов в 1С, работа с заявками на отгрузку в 1С, отчеты по складу, ведение реестров
1.2	Среднее профессиональное			
2.1	Среднее или среднее профессиональное	1 год	1С: Специалист	Консультации клиентов по использованию типовых продуктов 1С, выполнение небольших программ в 1С
2.2	Бакалавриат или специалитет	3 месяца		
3.1	Бакалавриат или специалитет	2 года	1С: Руководитель проекта	Разработка и модернизация ПО 1С в соответствии с ТЗ, разработка инструкций для тестирования ПО, создание технической документации, организация разработок ПО в среде 1С
3.2	Магистратура	1 год		
4.1	Магистратура	3 года	1С: Эксперт по технологическим вопросам	Руководство подразделением разработчиков 1С; управление контроль и планирование задач подразделения; мотивация персонала на достижение результата
4.2	Аспирантура	2 года		

VI. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОГО ВНЕДРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Проектирование системы безопасного внедрения информационных технологий выполняется на основе соответствующих моделей, полученных в результате адаптации инвариантных моделей (см. таблицы 2 и 3).

На основе учета компетенций и интересов всех участвующих в процессе внедрения программных продуктов платформы 1С на Челябинском кузнечно-прессовом заводе разработана модель состава мероприятий (таблица 5).

Для учета интересов всех участвующих в процессе внедрения новых информационных технологий необходимо сформировать модель оценки эффективности мероприятий. Требования к созданию и оценке системы безопасности выполнены, благодаря привлечению в группу экспертов представителей всех участвующих в процессе внедрения информационных технологий. Алгоритм планирования мероприятий для безопасного внедрения информационных технологий представлен на рис. 4.



Рис. 4. Алгоритм планирования мероприятий для безопасного внедрения ИТ

ТАБЛИЦА 5. МОДЕЛЬ СОСТАВА МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО ВНЕДРЕНИЯ ПРОДУКТОВ 1С

Этап	Мероприятие
1. Экономические риски	
1.1. Отношение к внедрению продуктов 1С как к статье расходов, перекладывание на других участие в процессе, который определяет видение организации	1.1. Формулирование цели внедрения продуктов 1С с точки зрения бизнеса, определение целевой рентабельности инвестиций и ключевых факторов успеха
1.2. Необоснованный выбор варианта внедрения продуктов 1С	1.2. Выбор варианта внедрения продуктов 1С по экономическому критерию
2. Информационные риски	
2.1. Ошибки персонала	2.1. Выявление и устранение причин, приводящих к ошибкам персонала
2.2. Потеря и искажение данных в результате неправильной работы продуктов 1С	2.2. Организация своевременного обнаружения причин неправильной работы продуктов 1С и перехода на традиционные ИТ до момента устранения неполадок.
3. Социальные риски	
3.1. Потеря работы для персонала, работающего с традиционными средствами ИТ и психологический барьер для освоения продуктов 1С	3.1. Планирование персональных траекторий развития для подготовки кадров к работе с продуктами 1С на основе моделей компетенций и организация эффективной кадровой политики

На основе моделей оценки системы безопасности, разработанных экспертами, создается итоговая модель оценки системы безопасности, в которой вес каждого риска определяется как сумма весов рисков из моделей экспертов (таблица 6).

На основе итоговой модели оценки системы безопасности разрабатывается предварительный план мероприятий для создания системы безопасности, в котором порядок выполнения мероприятий определяется весами соответствующих рисков итоговой модели.

На основе учета взаимосвязей мероприятий выполняется корректировка плана мероприятий для создания системы безопасности:

- на первом этапе целесообразно выполнять мероприятия, сводящие к минимуму экономические риски (мероприятия 1.1 и 1.2);

- на втором этапе рекомендуется выполнять организационные мероприятия, сводящие к минимуму информационные риски (мероприятия 2.1 и 2.2);

- на третьем этапе имеет смысл выполнять мероприятия, сводящие к минимуму социальные риски (мероприятие 3.1)

ТАБЛИЦА 6. ИТОГОВАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОГО ВНЕДРЕНИЯ ПРОДУКТОВ 1С

Этап	Весовые коэффициенты рисков							Сумма
	1	2	3	4	5	6	7	
1.1	3	3	3	3	2	2	2	18
1.2	3	3	3	2	2	2	2	17
2.1	3	3	3	2	2	1	2	16
2.2	3	3	3	2	2	2	2	17
3.1	2	2	2	3	2	2	2	15

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методологии подготовки кадров, позволяющая минимизировать риски профессиональной деятельности при внедрении информационных технологий.

Построены инвариантные модели компетенций, состава и оценки мероприятий, позволяющие свести к минимуму трудозатраты и ошибки персонала при адаптации системы подготовки кадров к работе с конкретным видом информационных технологий на конкретном предприятии или в организации.

На основе модели компетенций, учитывающей уровень образования, опыт работы, сертификаты и должностные обязанности, предложен метод проектирования персональных траекторий развития для работы с информационными технологиями, сводящий к минимуму экономические риски.

На основе моделей состава и оценки мероприятий предложен метод проектирования системы безопасного внедрения информационных технологий, учитывающий системный подход к учету рисков, а также компетенции и интересы всех участников процесса внедрения информационных технологий.

Применение результатов исследования на Челябинском кузнечно-прессовом заводе, в Южно-Уральском и Приамурском государственном университетах привело к экономии затрат, связанных с подготовкой персонала к безопасному внедрению продуктов платформы 1С.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

[1] Kateryna Bondar. What is in reality Industry 4.0? [Электронный ресурс]. Код доступа: <http://innovacima.com/en/2017/11/09/what-is-industry-4-0>

[2] Круглов С. Умные люди, умные города: что надо знать о программе развития цифровой экономики [Электронный ресурс]. Код доступа: <http://tass.ru/ekonomika/4306382>

[3] Толмачев В.Д. О кадровом обеспечении современной энергетики / Энергобезопасность и энергосбережение. – 2011. – №1. – С. 37–38.

[4] Логинов Е.Л. Сетевые информационные атаки на системы управления энергетическими объектами критической инфраструктуры / Е.Л. Логинов, А.Н. Райков // Теплоэнергетика. – 2015. – №4. – С. 3-9.

[5] Oil Hits New Hiw after Refinery Blast // Reuters. 2004. August 13

[6] Интеллектуальная электроэнергетика: стратегический тренд международной конкурентоспособности России в XXI веке / Т.В. Иванов, С.Н. Иванов, Е.Л. Логинов, Э.Б. Наумов. М.: Спутник+, 2012

[7] 2016 Cost of Data Breach Study: United States. [Электронный ресурс]. Код доступа: <http://www-01.ibm.com/common/ssi/cgi-in/ssialias?htmlfid=sel03094usen>

[8] Е.А. Гнатышина, С.А. Богатенков, Е.В. Гнатышина, Н.В. Уварина. Информационная подготовка педагогов профессионального обучения в аспекте безопасности: монография. – Челябинск: Изд-во Челяб. гос. пед. ун-та, 2015. – 415 с.

[9] Хамми И. Цифровая экономика: как будет меняться рынок труда с 2018 до 2015 годы [Электронный ресурс]. – Код доступа: http://neohr.ru/kadrovye-voprosy/article_post/tsifrovaya-ekonomika-kak-budet-menyatsya-rynok-truda-s-2018-po-2025-gody

[10] C. Romero, S. Ventura. Educational Data Mining: A Review of the State-of-the-Art. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews. 40(6), 601-618, 2010.

[11] Моргунов А.Ф. Внедрение распределенной информационной системы в многофилиальной организации: опыт ФГУП «Почта России» // Бизнес-информатика. 2014. №1. С. 34–41.

[12] Bogatenkov S.A., Gelrud Ya.D. Decision-Making in the Application of Automated Information-Measuring Systems for Thermal Power Plants: the Experience of the Chelyabinsk Thermal Power Station-2. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 74–83. DOI: 10.14529/ctcr170108

[13] V.V. Mokeyev, D.A. Vorobiev “Analysis of socio-economic system processes performance with the help of eigenstate models” in Bulletin of the South Ural state University. Series: Mathematical modeling and programming, 2015, Vol. 8, №1, pp. 66-75

[14] Колчев К.К., Мезин С.В. Построение математических моделей технологических процессов теплоэнергетического оборудования на основе статистических методов аппроксимации // Теплоэнергетика. – 2015. – №7. – С. 44-51

[15] Белоножко П.П., Карпенко А.П., Храмов Д.А. Анализ образовательных данных: направления и перспективы применения // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №4 (2017) [Электронный ресурс]. – Код доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/15TVN417.pdf>

[16] Ferguson R. The State Of Learning Analytics in 2012: A Review and Future Challenges // Technical Report KMI-12-01, Knowledge Media Institute, The Open University, UK. [Электронный ресурс]. – Код доступа: <http://kmi.open.ac.uk/publications/techreport/kmi-12-01>

[17] Логиновский О.В., Гельруд Я.Д. Информационно-аналитическая система управления проектами на базе использования комплекса математических моделей функционирования стейкхолдеров // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника, 2015, Т. 15. № 3. С. 133-141.

[18] Домарев, В.В. Безопасность информационных технологий. Методология создания систем защит / В.В. Домарев. – К.: ООО «ТИД «ДС», 2002 – 688 с.

[19] Паздерин А.В., Софьин В.В., Самойленко В.О. Математический метод контроля достоверности измерительной информации о потоках энергетических ресурсов на основе теории оценивания состояния // Теплоэнергетика. – 2015. – №11. – С. 26-31.

[20] S. A. Bogatenkov, S. N. Malovechko, V. V. Kosterin. Secure state power system models building // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), pp. 1–5. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911642

[21] Young, T.L. Successful Project Management / T.L. Young. – London: Kogan Page Ltd., 2006.

Использование искусственных нейронных сетей в процессе обучения специалистов по охране труда и инженерной экологии

А.М. Боровкова, В.С. Малышев, Е.В. Федорова, М.Р. Мангасарова
Кафедра Инженерной экологии и охраны труда
ФГБОУ ВО Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва, Россия
BorovkovaAM@mpei.ru

Аннотация — Рассматривается применение в учебном процессе модели экспресс-анализа цикла дыхания с использованием компьютерного комплекса, разработанного на кафедре Инженерной экологии и охраны труда НИУ «МЭИ». Модель помогает отработать навыки обнаружения симптомов нарушения функционального состояния органов дыхания. Предложенная модель основана на искусственных нейронных сетях и может быть использована для других предметных областей и приложений, в том числе в инженерном образовании.

Ключевые слова — *искусственные нейронные сети; информационные технологии; бронхофонография*

I. ВВЕДЕНИЕ

Важную роль в системе охраны труда на современном этапе играет компьютерная система поддержки принятия решений. Ее использование дает возможность при оценке состояния условий труда уменьшить влияние субъективности мнения специалиста, а также более точно учесть влияние на профессиональную заболеваемость ряда факторов. В работе представлена нейросетевая технология экспресс-анализа нарушений респираторного цикла при помощи компьютерного диагностического комплекса. Предложенная технология обеспечивает повышение оперативности, чувствительности и специфичности метода оценки влияния вредных производственных факторов на персонал предприятий энергетики при проведении профилактических осмотров по сравнению с традиционными методами.

Данная технология используется при проведении практических занятий по дисциплине «Физиология человека», в рамках которой студенты изучают общие вопросы физиологии, последствия воздействия неблагоприятных экологических и производственных факторов на организм, методы их анализа, профилактики, изучают риски для здоровья.

На практических занятиях студенты приобретают базовые навыки анализа функционального состояния основных систем организма. Для анализа состояния органов дыхания наряду с традиционными методами, такими, как спирометрия, используется

инновационная методика бронхофонографии с применением КДК «Паттерн-1», разработанного на кафедре ИЭ и ОТ.

Для обработки полученных данных используется нейросетевая технология, владение которой позволит обучающимся в дальнейшем использовать ее для решения сложных многофакторных задач в сфере охраны труда и экологической безопасности.

II. ОСНОВЫ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО МЕТОДА РЕГИСТРАЦИИ ПАТТЕРНОВ ДЫХАНИЯ

Для обеспечения надежности профессиональной деятельности и снижения уровня профессиональной заболеваемости органов дыхания, оценке влияния вредных производственных факторов на здоровье персонала необходима разработка специализированного аппаратного обеспечения, предназначенного для контроля состояния системы охраны труда на предприятии.

Исследование функций внешнего дыхания (ФВД) является обязательным для оценки состояния бронхолегочной системы обследуемого.

Рассматриваемый метод оценки ФВД – компьютерная бронхофонография (КБФГ) – представляет собой сканирование респираторного цикла с целью обнаружения специфических акустических признаков и изменений в воздухопроводных путях, с дальнейшей обработкой при помощи персонального компьютера [1].

В целях аппаратного обеспечения метода на кафедре Инженерной экологии и охраны труда НИУ «МЭИ» был разработан компьютерный диагностический комплекс (КДК) «Паттерн», предназначенный для регистрации, последующей математической обработки и визуализации специфических акустических феноменов в виде, обеспечивающем хорошее восприятие и идентификацию [2].

В основе комплекса лежит анализ временных и частотных характеристик спектра дыхательных шумов, возникающих при изменении диаметра воздухопроводных путей бронхов за счет увеличения ригидности стенок бронхов или за счет уменьшения внутреннего диаметра

бронхов. В сочетании с бифуркацией указанные изменения воздуховодных путей приводят к образованию турбулентных воздушных потоков и, как следствие, к образованию низко- и высокочастотных акустических феноменов, регистрируемых при сканировании акта дыхания.

Специфический феномен дыхательных шумов регистрируется в диапазоне от 0,2 до 12,6 кГц с последующим расчетом акустического компонента работы дыхания. Термин «акустический компонент работы дыхания» (АКРД) вводится для описания итоговой интегральной характеристики, получаемой при использовании методики КБФГ. АКРД отображает физическую работу легких, затрачиваемой на совершение акта дыхания, единицы измерения — наноджоули (нДж) [1].

Результаты компьютерной обработки данных сканирования в виде кривых АКРД (дыхательных шумов во временной и частотной области отображаются на экране дисплея) (рис. 1).

Полученное таким образом графическое отображение представляет собой «паттерн дыхания» (рис.1) или акустический портрет респираторного цикла (бронхофонограмма), на котором весь частотный спектр подразделяется на 3 зоны, соответствующие определенным информационным признакам:

- низкочастотный диапазон 0,2-1,2 кГц (зеленый),
- среднечастотный диапазон 1,2-5,0 кГц (красный),
- высокочастотный диапазон 5,0-12,6 кГц (синий).

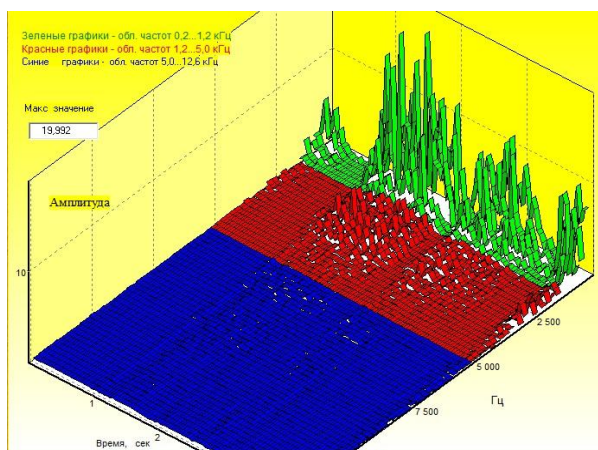


Рис. 1. Пример бронхофонограммы (паттерна)

В состав диагностического комплекса входят:

о аппаратная часть, предназначенная для регистрации специфического акустического феномена, возникающего вследствие изменения турбулентности воздушного потока при дыхании (внешний вид прибора представлен на рис. 2);

о пакет прикладных программ, который включает программы Pattern обработки и визуализации результатов регистрации специфического акустического феномена.



Рис. 2. Внешний вид прибора

Регистрация специфических акустических феноменов, проявляющихся дыхательными шумами, осуществляется с помощью датчика, обладающего высокой чувствительностью в широкой полосе частот. Набор специальных фильтров, предназначен для формирования частотного спектра, содержащего полезную информацию о специфических акустических феноменах.

Результаты компьютерной обработки данных сканирования отображаются на экране компьютера.

Программное обеспечение (ПО) «Паттерн» предназначено для количественного и качественного анализа результатов регистрации.

ПО «Паттерн» позволяет проводить следующие процедуры:

- получать отображение всех блоков, формирующих акустический портрет респираторного цикла для проведения детального количественного анализа отдельных мгновенных реализаций паттерна (мгновенных спектров),
- получать интегральные количественные характеристики паттерна — АКРД, под которым понимается энергетическое представление специфических акустических феноменов, возникающих за респираторный цикл,
- проводить визуальное сравнение двух паттернов и их количественных характеристик.

Перед началом регистрации проводится сбор жалоб обследуемого (сбор анамнеза), объясняется принцип проведения исследования.

Полученная информация заносится в специальную форму (рис. 3), содержащую: Ф.И.О, возраст, пол, адрес обследуемого, дата обследования, жалобы, диагноз, Ф.И.О специалиста, проводящего обследование.

Информация о Пациенте

Данные пациента

Фамилия: М Имя: М Отчество: Р

Фамилия И.О. доктора: Яцш А.П.

адрес пациента: г. Москва, ул. Красная, д.5

возраст: 22 пол: ж развернутый диагноз: БРОНХИАЛЬНАЯ АСТМА Перевая регистрация

дата обследования: 25.10.16

Печать Паттерн Сохранить

Рис 3. Форма «данные пациента»

Регистрация проводится в положении сидя при спокойном дыхании в течение короткого промежутка времени (10 секунд) три раза. Начало регистрации рекомендуется совмещать с началом фазы выдоха.

После завершения регистрации проводится визуальный скрининг акустических кривых (наличие значимых пиков, а также анализ их сгруппированности в различных диагностических участках частотного диапазона) и оценка основных энергетических показателей [2].

III. КЛАССИФИКАЦИЯ ПАТТЕРНОВ ДЫХАНИЯ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Применение искусственных нейронных сетей (ИНС) предопределило следующий технологический процесс: из всего 10-ти секундного диапазона выбирается подходящий 4-секундный интервал. Желательно, чтобы в выбранный интервал укладывался весь респираторный цикл.

В количественном представлении характеристики выбранного 4-секундного интервала в абсолютных величинах представлены параметром АКРД (нДж) в каждом частотном диапазоне (A(1,2-12,6), A(5-12,6), A(1,2-5,0), A(0,2-1,2)), а в относительных единицах - так называемыми коэффициентами паттерна K_1 , K_2 , K_3 , которые отображают значения АКРД в соответствующем частотном диапазоне в относительных единицах.

Пример количественных характеристик паттерна дыхания представлен на рис. 4.

Данные для выбранного 4 сек интервала

Работа дыхания в диапазоне 0,2 - 1,2 кГц	9487,26	x1000 нДж	к2%	5,68
Работа дыхания в диапазоне 1,2 - 5,0 кГц	539,26	x1000 нДж	к3%	0,80
Работа дыхания в диапазоне 5,0 - 12,6 кГц	78,27	x1000 нДж	к1%	6,49
Работа дыхания в диапазоне 1,2 - 12,6 кГц	615,53	x1000 нДж		

Рис. 4. Абсолютные и относительные результаты регистрации респираторного цикла

Поскольку визуальная дифференциация паттернов и установление принадлежности к одному из двух классов, по которым, в соответствии с двоичной основой принятия решения, в рассматриваемом случае принято подразделение на классы «болен» или «здоров» невозможна (рис. 5), целесообразно применять математические методы распознавания образов.

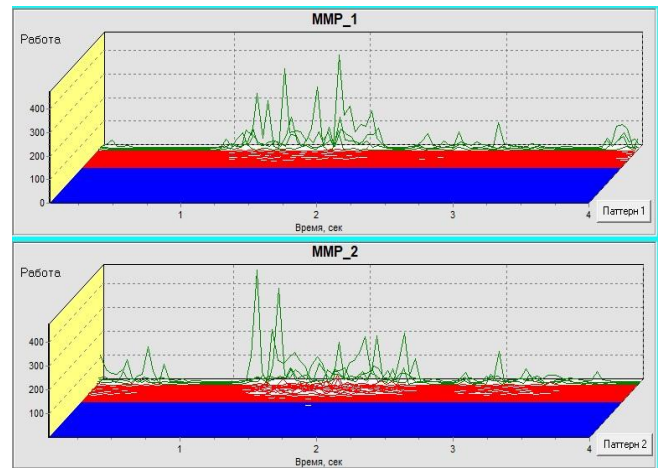


Рис 5. Пример графического изображения результатов сравнения паттернов во всем частотном диапазоне (0,2кГц —12,6кГц)

Классификация паттернов стандартными методами математической статистики также затруднительна, поэтому в нашем случае была применена методика классификации, основанная на искусственных нейронных сетях (ИНС) [3]. Это связано с тем, что искусственные нейросети, состоящие из искусственных нейронов, целесообразно использовать при решении задач, в которых отсутствует алгоритм или не известны принципы решения, но накоплено достаточное количество практических примеров. Также нейронные сети рекомендуется использовать при неполных или противоречивых данных, либо при большом количестве входной информации, что соответствует нашему случаю.

Идея предлагаемого подхода экспресс – анализа заболеваний органов дыхания состоит в том, чтобы классифицировать паттерны респираторного цикла по заведомо установленным нарушениям и обучить нейронную сеть выявлять эти признаки. Полученная нейронная сеть может быть применена при оценке влияния условия труда на заболевания органов дыхания даже на ранней стадии развития [4].

Известно, что биологический нейрон – клетка, которая может сгенерировать сигнал, если суммарный сигнал из всех входящих дендритов превысит или достигнет порога срабатывания. Похожим образом работает и искусственный нейрон (рис. 6). При объединении нейронов в сети у сетей возникают такие свойства, как способность к распознаванию образов, обучению, интеллект [5].

ИНС работает в двух режимах – обучение и опытная эксплуатация.

Задачей исследователя является обучение сети так, чтобы при предоставлении неизвестных ей образов она с большой достоверностью смогла верно идентифицировать этот образ, то есть отнести его к тому или иному классу.

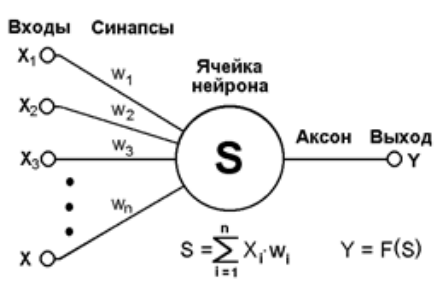


Рис.6. Схема технического нейрона

Для обучения сети на базе медицинских учреждений г. Москвы и кафедре ИЭиОТ МЭИ было получено 354 паттерна дыхания пациентов, среди которых половина - 177 имеют различные болезни органов дыхания (бронхиальная астма, силикозы, пневмокониозы, хронический пылевой бронхит и др.) [6].

По результатам предварительного анализа паттернов в качестве начальной информации было выбрано 7 обучающих параметров, отражающих состояние дыхательной функции у работающих – работа дыхания в трех частотных диапазонах: 0,2 – 1,2 кГц; 1,2 – 5, 0 кГц; 5,0 – 12,6 кГц; 1,2 – 12,6 кГц (абсолютные величины) и коэффициенты K_1, K_2, K_3 отражающие значение работы дыхания в относительных величинах.

С целью иллюстрации рассмотрен наиболее простой случай, когда экспериментальные спектры можно условно разделить на два класса: здоровые (признаки заболеваний по форме «болезни органов дыхания» не обнаружены) и больные (признаки заболеваний по «болезни органов дыхания» обнаружены). В других случаях можно предлагаемую модель использовать при сравнительном анализе паттернов, зарегистрированных у здоровых пациентов и у пациентов с разными диагнозами. В этом случае возможно проведение анализа с учетом диагноза: например, здоровые пациенты – бронхиальная астма средней тяжести.

В ходе эволюционной оптимизации было рассмотрено свыше 50 вариантов структур нейронных сетей, среди которых использовались такие сети как – многослойный перцептрон, радиальная базисная функция, вероятностные нейронные сети. Для тестирования используется метод перекрестного тестирования, который заключается в следующем: ошибка сети на одном примере определяется после того, как она обучится на всех остальных примерах. Сеть оценивается по сумме ошибок во всех примерах [6]. Моделирование нейронных сетей производилось с использованием программного обеспечения Statistica Neural Networks.

Среди рассмотренных вариантов была отобрана сеть с наименьшей ошибкой на примерах - многослойный перцептрон. Согласно [5], многослойный перцептрон – вид нейронных сетей для задач классификации, представляет собой сеть, состоящую из нескольких последовательно соединенных слоев формальных нейронов, в которой связанные между собой нейроны (узлы сети) объединены в несколько слоев. Структура этой сети представлена на рис. 4. имеет 7 входных

нейронов, один выходной. Число нейронов скрытого слоя - 12. Положительный выход сети Y интерпретируется как отнесение спектра к классу больные.

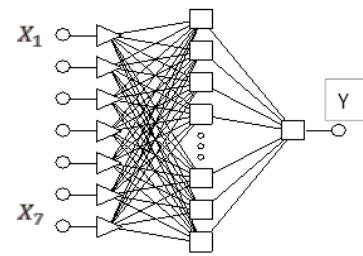


Рис.7. Структура многослойного перцептрона с семью входами, двенадцатью нейронами в скрытом слое, и одним нейроном выходного слоя.

Межнейронные синаптические связи сети устроены таким образом, что каждый нейрон на данном уровне иерархии принимает и обрабатывает сигналы от каждого нейрона более низкого уровня. Таким образом, в данной сети имеется выделенное направление распространения нейроимпульсов - от входного слоя через один (или несколько) скрытых слоев к выходному слою нейронов.

На низшем уровне иерархии находится входной слой, состоящий из сенсорных элементов, задачей которого является только прием и распространение по сети входной информации. Далее имеются один или, реже, несколько скрытых слоев. Каждый нейрон на скрытом слое имеет несколько входов, соединенных с выходами нейронов предыдущего слоя или непосредственно со входными сенсорами $X_1..X_n$, и один выход Y . Нейрон характеризуется уникальным вектором весовых коэффициентов w . Веса всех нейронов слоя формируют матрицу W . Функция нейрона состоит в вычислении взвешенной суммы его входов с дальнейшим нелинейным преобразованием ее в выходной сигнал.

Выходы нейронов последнего, выходного, слоя описывают результат классификации $Y=Y(X)$. Особенности работы перцептрона состоят в следующем. Каждый нейрон суммирует поступающие к нему сигналы от нейронов предыдущего уровня иерархии с весами, определяемыми состояниями синапсов, и формирует ответный сигнал (переходит в возбужденное состояние), если полученная сумма выше порогового значения. Перцептрон переводит входной образ, определяющий степени возбуждения нейронов самого нижнего уровня иерархии, в выходной образ, определяемый нейронами самого верхнего уровня. Число последних обычно сравнительно невелико. Состояние возбуждения нейрона на верхнем уровне говорит о принадлежности входного образа к той или иной категории.

Для обучения многослойной сети был использован алгоритм обратного распространения ошибок (error back propagation) [5]. Основная идея обратного распространения состоит в том, как получить оценку ошибки для нейронов скрытых слоев.

По результатам тестирования полученных исходных данных достоверность классификации составила 92,85%,

ее оценивали как соотношение общего количества ответов сети, указывающих на этот класс, к верным ответам этого же класса. Достаточно высокие операционные характеристики, выявленные при клинической апробации, свидетельствуют о перспективности предложенного метода диагностики и адекватности рассмотренной выше модели.

Таким образом, можно использовать предложенную модель на основе обученной нейронной сети для классификации вновь зарегистрированных паттернов обследуемых с неизвестным диагнозом. В дальнейшем на вход сети можно подавать дополнительные входные данные такие как, пол, возраст, стаж работы работника, что позволит производить учет влияния данных факторов на возникновение профессиональных болезней. Также можно проводить не бинарную классификацию, а решать более сложные задачи с постановкой конкретного диагноза.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе обучения студентов предмету «Физиология человека» используется разработка искусственных систем поддержки принятия решений на основе КДК, моделирующая систему выявления патологии органов дыхания.

Предложен алгоритм, программное и информационное обеспечение, позволяющее объективно дифференцировать работающих при воздействии вредных производственных факторов на соответствующие группы и оценивать степень достоверности выводимого заключения.

Обнаружение отклонения характеристик паттерна дыхания от определенных норм должно стать предпосылкой для углубленного анализа производственных факторов, приводить к необходимости использования средств индивидуальной защиты

конкретным работником, а также к его дальнейшему обследованию врачами-пульмонологами. Технология экспресс-анализа функционального состояния органов дыхания с помощью КДК «Паттерн» может реализовываться без отрыва рабочих от производства.

Следует подчеркнуть, что владение методом нейросетевой технологии позволит обучающимся использовать его для решения сложных многофакторных задач в сфере охраны труда и экологической безопасности как в процессе обучения, так и при дальнейшей самостоятельной работе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Компьютерная бронхофонография респираторного цикла / Под ред. Н.А. Геппе, В.С. Малышева. М.: Медиа-Сфера, 2016 - 108 с.
- [2] Прибор бронхофонографический диагностический автоматизированный «ПАТТЕРН-01». Руководство по эксплуатации. – Москва, 2013. – 36 с
- [3] С.З. Шкундин, И.В. Степанян «Возможность выявления признаков профессиональных заболеваний органов дыхания с помощью акустического спироанализатора и вероятностных нейронных сетей. Московский государственный горный университет, Москва Медицина труда и промышленная экология.- №12.- 2006.
- [4] Боровкова А. М. Разработка научных основ аппаратно-программного метода оценки воздействия вредных производственных факторов на персонал в энергетике: дис. канд. техн. наук: 05.26.01 / Боровкова Анастасия Михайловна – Москва, 2010. – 177 с.
- [5] С. Оссовский. Нейронные сети для обработки информации. М. Финансы и статистика.- 2004 – 344 с..
- [6] Техногенное влияние экологической нагрузки на органы дыхания: учебное пособие / В.С. Малышев, Е.В. Федорова, А.М. Боровкова, О.Е. Кондратьева. - М.: МЭИ, 2016 - 64 с.

Контроль и оценка возможностей моделирования образов геометрических объектов

Бурдунина Н.А., Гордеева И.В., Исаева О.И.
Кафедра Инженерной графики, ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»
Москва, Россия

Аннотация — В условиях модернизации высшего технического образования остро проявляется несоответствие уровня развития пространственного мышления студентов требованиям, предъявляемым к усвоению различных технических дисциплин. В статье проанализирован опыт применения в учебном процессе на кафедре инженерной графики НИУ «МЭИ» комплекта проверочных заданий для текущего контроля по темам «Метод проекций» и «Комплексный чертеж».

Ключевые слова: образы геометрических объектов, пространственное мышление, отображение, 3D-моделирование

I. ВВЕДЕНИЕ

Современные инновационные технологии предъявляют высокие требования не только к специальной, но и к фундаментальной подготовке будущих инженеров. Обучение в вузе должно обеспечивать высокое качество знаний выпускников и формирование компетенций, требуемых в дальнейшей профессиональной деятельности.

Инженерная графика — это одна из учебных дисциплин базовой части основной профессиональной образовательной программы, составляющих основу инженерного образования. Изучая данный предмет, студенты осваивают основные правила построения проекционных изображений трехмерных геометрических объектов на плоскости, основы геометрического моделирования, требования стандартов к оформлению чертежей и схем, а также развивают пространственное мышление, которое необходимо инженеру при разработке новых технических объектов.

Одна из главных характеристик технического объекта — его конструкция — связана с его геометрическими свойствами, которые отображаются наиболее точно геометрическими и графическими моделями [1].

Пространственное мышление — это такой вид мыслительной деятельности, при котором происходит создание пространственных образов и оперирование ими в

воображении людей. Однако деятельность человека осуществляется в реальном пространстве, поэтому будущий специалист для решения технических задач должен научиться использовать полученную в процессе обучения информацию. Для этого ему необходимо развивать свои когнитивные способности по созданию и преобразованию геометрических образов в виртуальном пространстве [2].

На протяжении последних лет преподаватели общетехнических дисциплин (математики, физики, инженерной графики) в высших учебных заведениях отмечают снижение базового школьного уровня подготовки будущих студентов, что однозначно ощущается на первых курсах высших учебных заведений. Это вызывает необходимость не только преобразования объема и качества материала учебных заданий в соответствии с постоянно меняющимися требованиями Федеральных Государственных Образовательных Стандартов, но и трансформирования содержания контрольных материалов [3].

II. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ КОМПЛЕКТА ПРОВЕРОЧНЫХ ЗАДАНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ОБРАЗОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

A. Обоснование необходимости разработки проверочных заданий

Появление роботов и искусственного интеллекта облегчает трудоемкие технологические процессы, заменяет человека на опасных производствах, создает возможность информационного контроля там, где недостаточно физических возможностей человека. Однако бурное развитие цифровых образовательных технологий не может заменить необходимости развития когнитивных способностей студентов.

Компьютерные технологии в образовании должны способствовать дополнительному, наглядному и эффективному с точки зрения временных затрат, развитию творческих способностей учащихся, а также способствовать процессу интенсивного обучения для

получения специальных знаний. Кроме обязательных типовых заданий курса, содержащихся в логике построения учебной дисциплины, необходимы контрольные мероприятия освоения пройденного материала.

Цифровые образовательные технологии позволяют осуществлять представление учебного материала на лекциях и практических занятиях наглядно и познавательно [4].

Но только демонстрация учебного материала недостаточна. Необходимо добиться понимания цели, заинтересованного поиска возможности решения поставленной конкретной задачи. А для этого необходимо создать конкретные учебные и контрольные задания с учетом сегодняшних возможностей обучающихся [5]. Одним из примеров контрольных мероприятий в семестре является представленная проверочная работа.

Принимая во внимание современное использование цифровых технологий, необходимо убедиться, чтобы в процессе обучения не происходило подмены получения знаний учащихся по изучаемым предметам на их умение пользоваться современными гаджетами. Цифровые технологии, применяемые бесконтрольно, могут оказать плохую услугу. У студента должна быть мотивация к анализу форм объектов, представленных в задании, а не к сканированию готовых решений из интернета.

Для развития пространственного мышления необходимы задания, в которых для выполнения работы студенту требуется выполнить следующие действия:

- проанализировать задание;
- создать пространственные образы геометрических форм, составляющих заданный объект;
- определить положение отдельных элементов, составляющих данный геометрический объект, относительно друг друга, а также их ориентацию в трехмерном пространстве.

С этой целью, а также для проверки освоения студентами учебного материала по темам «Метод проекций» и «Комплексный чертёж», на кафедре инженерной графики НИУ «МЭИ» разработан комплект проверочных заданий, позволяющих провести промежуточную аттестацию по указанным темам, а также оценить уровень пространственного воображения студентов. Эти темы являются одними из первых тем, изучаемых в дисциплине «Инженерная графика», и от того, как студенты освоят этот материал, зависят их дальнейшие успехи в освоении предмета.

В. Анализ результатов применения проверочных заданий в учебном процессе

Комплект текстовых заданий был опробован в нескольких группах студентов, обучающихся по различным направлениям инженерной подготовки на стадии бакалавриата.

Студентам предлагалось задание, содержащее текстовое описание геометрического объекта, состоящего из несколько различных геометрических тел или их частей: призм, пирамид, цилиндров, конусов, сфер. В задании указаны размеры этих элементов, взаимное расположение и положение относительно плоскостей проекций. Задано, каким образом геометрический объект закреплён в относительной системе координат $\{x,y,z\}$. Текст задания однозначно определяет составляющие объект элементы и их положение.

Текстовое описание графических моделей способствует развитию творческих способностей будущих инженеров, необходимых при конструировании деталей, их способности к анализу условий задачи и принятию технических решений.

По сравнению с традиционной постановкой задачи при изучении темы «Комплексный чертёж», а именно, по двум заданным видам построить третий вид, данная задача является более творческой, а не чисто формальной.

В качестве примера приведен вариант текстового задания:

«Начертить три вида геометрического объекта, нижняя часть которого представляет собой усеченный прямой круговой конус высотой 20 мм. Диаметр нижнего основания 80 мм, верхнего 60 мм. Начало относительной системы координат (ОСК) находится в центре нижнего основания конуса. Плоскостью симметрии объекта является фронтальная плоскость уровня, проходящая через ось конуса.

К верхнему основанию конуса примыкает вертикальный прямой круговой цилиндр высотой 60 мм, такого же диаметра, как и основание конуса. В цилиндре имеется сквозное горизонтальное отверстие, представляющее собой цилиндрическую поверхность диаметром 30 мм, с осью, пересекающей ось вертикального цилиндра и являющейся фронтально-проецирующей прямой, расположенной на высоте 40 мм от нижнего основания конуса.

Симметрично относительно оси симметрии объекта в верхней части вертикального цилиндра имеется углубление (паз) прямоугольной формы, выполненное двумя фронтальными плоскостями уровня, расположенными на расстоянии 15 мм от оси цилиндра и одной горизонтальной плоскостью уровня. Глубина паза 15 мм.

В верхней части цилиндр с левой стороны срезан фронтально-проецирующей плоскостью на высоте 40 мм от основания объекта, которая направлена под углом 30 градусов к вертикали».

По предложенному тексту задания студентам необходимо построить три вида (вид спереди, вид сверху и вид слева) геометрического объекта в проекционной связи. Проекция относительной системы координат, в которую заключен проецируемый объект, так же должны быть изображены на чертеже. 3D-модель описанного в задании объекта представлена на рис. 1.

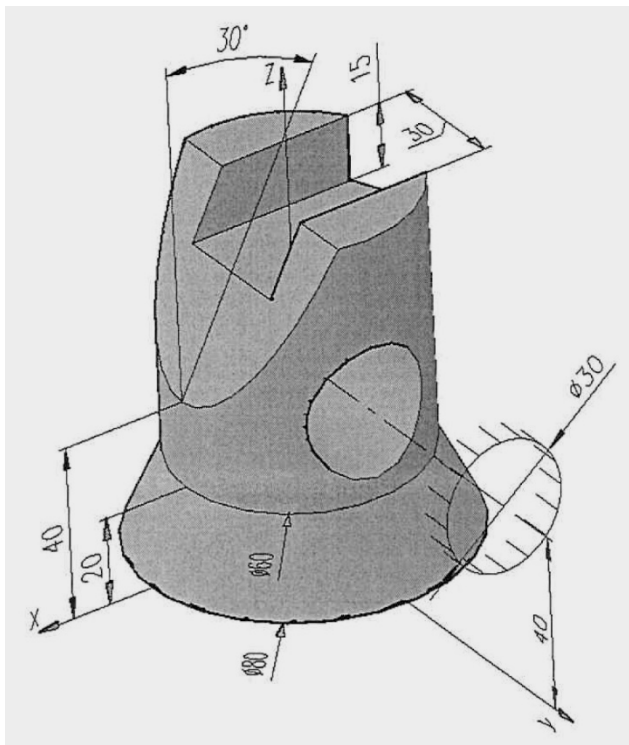


Рис. 1. 3D-модель геометрического объекта, выполненного по описанию

Таким образом, в заданиях использовались понятия, описывающие геометрические элементы реальных технических объектов, которые были наглядно представлены на занятиях в виде 3D-моделей [6]. Задачей студента было связать эти элементы в единый образ и представить в виде 2D-модели.

Несмотря на изучение в средней школе разделов геометрии, у большинства студентов вызывает затруднение восприятие текстового описания простых геометрических тел, входящих в виде элементов в геометрический объект, и их изображение на чертеже. При выполнении данной работы студенты пытались на свободном поле чертежа вычертить упрощенно отдельные элементы в соответствии с заданной ориентацией их в пространстве.

Ниже приведены трудности, выявленные при выполнении задания.

- Не у всех студентов (примерно 10%) сформированы связи между понятием и пространственным образом элемента детали.
- У 5% студентов возникли сложности с правильным размещением элементов геометрической модели (срезов, пазов, отверстий различной формы) в относительной системе координат.

- Затраты времени на выполнение задания превысили ожидаемые.

Большая часть студентов, выполнявших работу, с ней успешно справилась. Некоторые из учащихся составляли из заданных элементов пространственную 3D-модель объекта, что помогало им в дальнейшем построении проекционных изображений.

Для студентов, освоивших графические компьютерные программы (AutoCAD, SolidWorks и другие), не представляет проблемы создать указанный в задании геометрический объект, как пространственную 3D-модель, пользуясь возможностями моделирования, содержащимися в данных программах. В дальнейшем компьютерная программа выполнит представление объекта в виде связанных проекционной связью видов.

В этом случае задача студента, освоившего компьютерную программу, сводится к тому, чтобы правильно расположить элементарные геометрические формы в соответствии с указанным заданием.

Чтобы не происходило своего рода подмены реализуемой цели контроля освоения изучаемого материала и развития пространственного мышления студентов демонстрацией владения компьютерными программными продуктами, полезно начинать выполнение задания с создания компьютерной 2D-модели, а 3D-модель использовать для самоконтроля.

Инженерное мышление формируется (базируется) на «трех китах»: понятие — образ — действие [7]. Представленная проверочная работа позволяет связать в единую цепь перечисленные составляющие.

Творческая задача создания пространственных образов и оперирования ими, а также анализ полученного результата не теряют своей актуальности с точки зрения развития творческих способностей будущих конструкторов и проектировщиков. Возможности применения в практике проектирования современных компьютерных программ в настоящее время являются вспомогательным инструментом, не заменяющим инженерное мышление.

Пример выполненного студентом задания представлен на рис. 2.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях широкого внедрения информационных технологий в учебный процесс необходима разработка методики обучения и рационального использования средств компьютерной графики для формирования требуемых компетенций будущих специалистов без ущерба развитию их инженерного мышления.

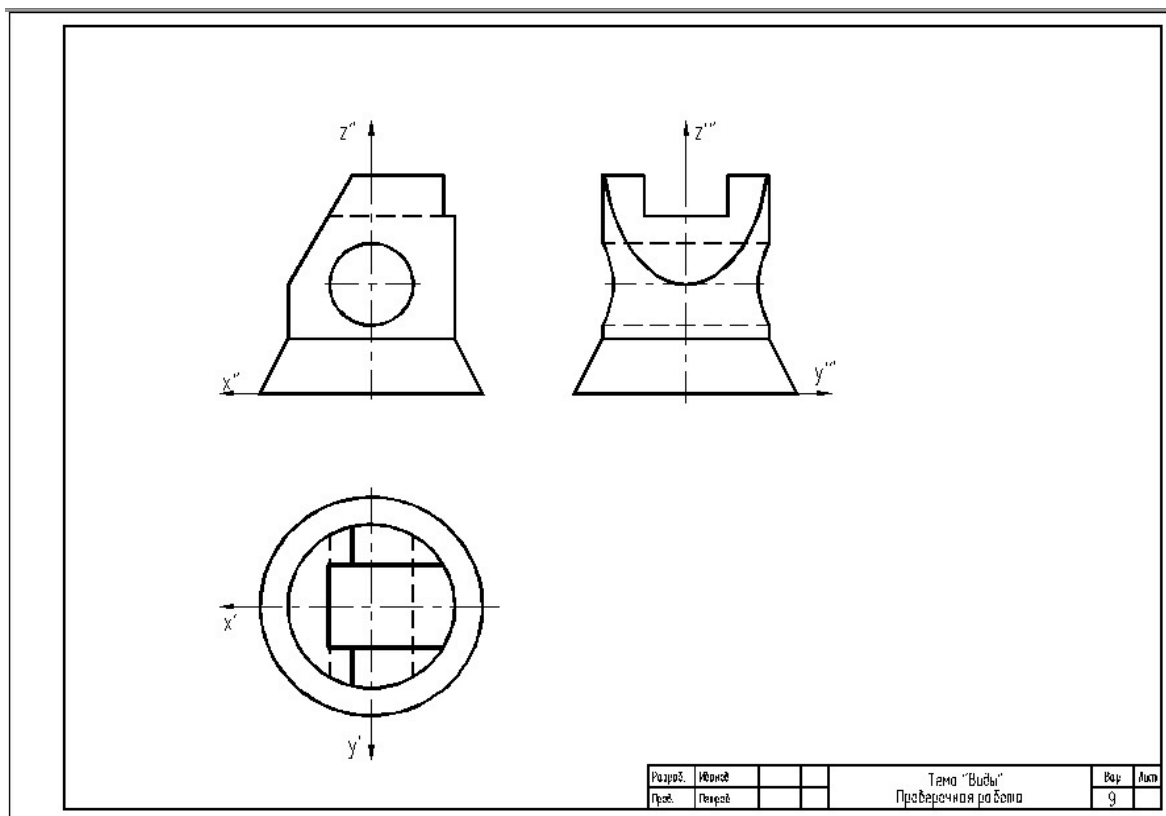


Рис. 2. Пример выполнения 2D-модели заданного объекта

Анализ студенческих работ показал, что представленная проверочная работа является весьма полезной для оценки знаний студентов, формирования у них восприятия образов геометрических форм объектов и развития пространственного воображения. Приобретаемые навыки создания и проецирования геометрических объектов, включающих элементы реальных технических объектов, необходимы в дальнейшем при выполнении курсовых проектов, а также в последующей инженерной деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Головина Л.Г. Горнов А.О. и другие. Геометрические модели. Параметры и размеры. Методические указания по курсу «Инженерная графика» - М; Изд-во МЭИ, 2001. - 60 с.
- [2] Русинова Л.П., Формирование системно-пространственного мышления студентов технических вузов (на примере преподавания начертательной геометрии); автореф. дис. канд. пед. наук; 13.00.08 /Русинова Людмила Петровна.- Ижевск, 2007.- 22 с.
- [3] Зепнова Н.Н., Развитие пространственного мышления школьников - залог успешного изучения точных дисциплин в вузе, Вестник ИрГТУ, №6 (65), 2012 Иркутский государственный технический университет, с. 231-237.
- [4] Карабельская И.В., Использование цифровых технологий в образовательном процессе высшей школы. Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. №1 (19), 2017, с. 127-131.
- [5]
- [6] T. Araki, Sh. Hirano, K. Yamashima, and M. Horikoshi, "Design and drawing CAD education with modeling technical assistance – effective education through self-assessment and collaboration," Journal for Geometry and Graphics, vol. 21, No. 2 pp. 273-288, 2017.
- [7] Касаткина Е.П., Степанов Ю.В., Практика использования мультимедийных технологий при обучении начертательной геометрии и инженерной графике. Труды XVI международной научно-технической конференции «Информационные средства и технологии». В 3 томах. Т.1. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008, с. 214 – 217.
- [8] Касаткина Е.П., Влияние курса инженерной графики на развитие технического мышления. Доклады международной научно-технической конференции «Информационные средства и технологии». Т.2. – М.: Янус-К, 2003, с. 107-110.

Организация единой информационной среды для приема документов поступающих в НИУ «МЭИ» и его филиалы

А.А. Васьковский, Д.В. Вершинин, Г.В. Крупин, Р.И. Поляк, Д.А. Титов, Н.Я. Фролов, А.М.Чернецов
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва, Россия
chernetsovam@mpei.ru

Работа посвящена организации единого информационного пространства для организации приема документов поступающих в НИУ «МЭИ». Рассматривается задача обмена информацией между филиалами МЭИ и головным вузом. Приведены варианты распределенной БД и обмена между локальными БД. Рассматривается master-slave репликация распределённых данных.

Ключевые слова — распределенные базы данных; репликация; web—программирование; PHP; MySQL

I. ВВЕДЕНИЕ

Информационные системы (ИС) автоматизации деятельности приемной комиссии (ПК) ВУЗа являются необходимой составляющей процесса приема поступающих. Большое количество поступающих в соответствии с регламентирующими процесс поступления документами [1] пользуются возможностью подавать заявления в пять ВУЗов, а внутри ВУЗа они могут заявлять об участии в конкурсе на три направления или специальности подготовки, причем как на бюджетное, так и на платное обучение. Это требует быстрого ввода большого количества данных, оперативного выпуска приказов о зачислении, проводимого в очень ограниченные сроки. Высшее учебное заведение вынуждено отправлять разнообразные многопозиционные статистические отчеты в различные организации.

Подобные ИС могут разрабатываться либо самостоятельно ВУЗами, либо приобретаются у весьма многочисленных на нашем рынке разработчиков, в основном ориентированных на надстройку платформы 1С. Упомянем лишь 1С-Университет [2] и БИТ-Вуз [3].

Однако, в связи с регулярными изменениями законодательства (Порядок приема и пр.) и необходимостью «подстройки» под требования конкретного вуза, необходимо приобретать ежегодное продление техподдержки. К сожалению, этот процесс может быть многоступенчатым:

- обнаружение проблемы – организация-эксплуатант ИС;
- передача оператору тех. поддержки ИС – передача разработчику ИС;

- передача оператору организации-эксплуатанта ИС – решение проблемы.

Это – возможные большие временные затраты, т.е. нет гарантий внесения исправлений (исправления выявленных ошибок) в заданное короткое время. Поэтому более рациональным является самостоятельная разработка ИС, как поступили многие ВУЗы России [4, 5]. На территории СНГ примером является Киргизия [6]. В НИУ «МЭИ» всегда шли по второму пути.

II. ОСОБЕННОСТИ ИСПК НИУ «МЭИ»

Автоматизированная обработка заявлений поступающих началась в НИУ «МЭИ» ещё в 1996 г. Информация из рукописных заявлений поступающих вводилась автономными отборочными комиссиями структурных учебных подразделений НИУ «МЭИ» в ИС, разработанную на базе SQL Anywhere [7]. Объём составлял не более 5500 поступающих за 2 недели приема документов. С ростом числа поступающих и их заявлений, ИС усложнялась. Начиная с 2009 года, поступающие получили возможность подавать заявления сразу на несколько направлений и специальностей подготовки. Это привело к увеличению числа заявлений до 11 тысяч при том, что число поступающих по-прежнему составляло примерно 5500 человек при увеличении срока приема до 2 месяцев. В этом же году была предпринята попытка использовать для проведения приемной кампании ИС на базе Microsoft Dynamics CRM [8]. Из-за глобальной универсальности данной среды она оказалась негибкой, не позволяла вносить оперативные изменения, связанные с постоянной коррекцией нормативных документов о приеме в ВУЗы. В 2011 г. работа приемной комиссии НИУ «МЭИ» была реорганизована по принципу «одного окна». Для реализации такого способа приема документов, подаваемых поступающими, Информационная система Приемной комиссии (ИСПК) была полностью написана «с нуля».

В настоящее время ИСПК НИУ «МЭИ» в г. Москве обрабатывает за год в общей сложности около 11000 личностей, подавших суммарно примерно 33000 заявлений только на направления бакалавриата и

специалитета. ИСПК представляет собой сложную систему взаимодействующих модулей, решающих различные задачи процесса приема [9-11].

Начиная с 2011 г. ИСПК НИУ «МЭИ» является web—based приложением на языке PHP. В качестве СУБД выступает MySQL v. 5.7, а web-сервера – apache 2.4.

III. ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ БД

НИУ «МЭИ» как юридическое лицо имеет территориально распределенную структуру: головной вуз в г. Москве, и 4 филиала в г. Смоленске, Волжском, Конаково и г. Душанбе (Республика Таджикистан).

После внесения очередных изменений в действующее законодательство [1] перед НИУ «МЭИ» встала задача обеспечить синхронизацию данных об поступающих между Москвой и филиалами на территории РФ. Для этого информационная система должна была быть территориально распределенной. Для решения задачи можно было пойти различными путями:

- 1) использование одной БД (в Москве), куда будут идти обращения от всех филиалов;
- 2) использование распределенных БД (MySQL Cluster [12], Perconna [13], Galera [14] и т.д.);
- 3) обеспечение передачи данных между несколькими локальными СУБД.

Использовать схему 1 крайне опасно – любой разрыв связи между Москвой и филиалом не позволит вводить данные в ИС. С учетом территориальной распределенности такая потеря связи в принятой модели является вероятной.

При схеме распределенной БД получается, что теоретически (мы не рассматриваем учёт полномочий уровня БД) из любого филиала доступна любая информация о поступающих. Это недопустимо с точки зрения безопасности работы с персональными данными (ПДн) – филиал не может иметь доступ к данным поступающих, подавших заявления в другой филиал/головной вуз.

Кроме того, во втором варианте при потере связи между серверами возникают многочисленные проблемы последующей (после восстановления связи) синхронизации БД. Поэтому применение БД с распределенным хранением информации для целей ИСПК признано нерациональным.

Поэтому в разработанной ИСПК НИУ «МЭИ» реализован третий путь, т.е. обеспечение передачи данных между несколькими локальными СУБД.

На рис. 1 изображена часть схемы БД ИСПК НИУ «МЭИ» до учёта территориальной распределённости ИСПК НИУ «МЭИ».

Основными таблицами, хранящими информацию о поступающих, являются 2 таблицы – Persons и Entrants. Связь между ними идет по ключу IdPerson. Уникальность личности определяется по полям (ФИО, паспортные

данные, уровень образования, который хочет получить поступающий). Любой поступающий имеет право поступать как в Москву, так и в филиал. Соответственно, в таблицах может происходить дублирование записей о личности, что невозможно в исходной структуре БД. Поэтому пришлось вносить изменения в структуру БД ИСПК НИУ «МЭИ». Ранее первичным ключом являлось одно поле IdPerson, уникальное значение которого генерировалось автоматически. Теперь первичный ключ личности в распределенной базе данных становится составным: первая часть содержит значение ключа филиала IdBranch из таблицы с_branches, вторая состоит из автоматически сгенерированного ключа таблицы Persons в каждой локальной базе данных.

Принято решение обеспечить передачу и взаимодействие между СУБД с использованием механизма регулярно (по заданному расписанию) выполняющихся скриптов.

Выделяется главный сервер, который хранит частичную информацию о личности поступающего (паспортные данные, направления подготовки, результаты вступительных испытаний по дисциплинам). На этот сервер с запросами хэша паспортных данных обращаются все ИСПК в филиалах. В случае совпадения хэшей на каких-либо данных, возвращается строка (конкурсные группы, результаты вступительных испытаний). При обнаружении коллизий (превышение числа направлений подготовки на госбюджетные места, балл ниже порога) ввод невозможен. При разрыве связи непроверенные заявления временно принимаются, но их проверка происходит сразу же по восстановлению канала связи.

IV. РЕПЛИКАЦИЯ БД

Репликация бывает двух видов: master-slave и master-master. В первом случае выделяется главный сервер (master), который передаёт всю информацию в подчиненный (slave). Во втором все узлы СУБД равнозначны, и любые изменения в БД могут вноситься на любом узле, а передачу информации между физическими узлами СУБД обеспечивается механизмами СУБД.

При этом возникает проблема обеспечения корректности информации в БД. Если были внесены изменения в БД, а какой-то из узлов не функционировал (был недоступен) во время внесения изменений, то после включения он должен получить все обновленные данные, прежде чем приступить к нормальному функционированию. В связи с этим в ИСПК НИУ «МЭИ» используется репликация master-slave.

Поскольку структура БД в филиалах идентична, то при изменении справочников необходимо передать их в БД каждого филиала. Делать это вручную ненадежно (например, можно забыть внести какое-нибудь изменение, а также требуются большие временные затраты на обработку всех серверов). Поэтому было принято решение сформировать отдельную БД справочников (рек_dict) в Москве, и реплицировать её на БД филиалов. Схема репликации представлена на рис. 2.

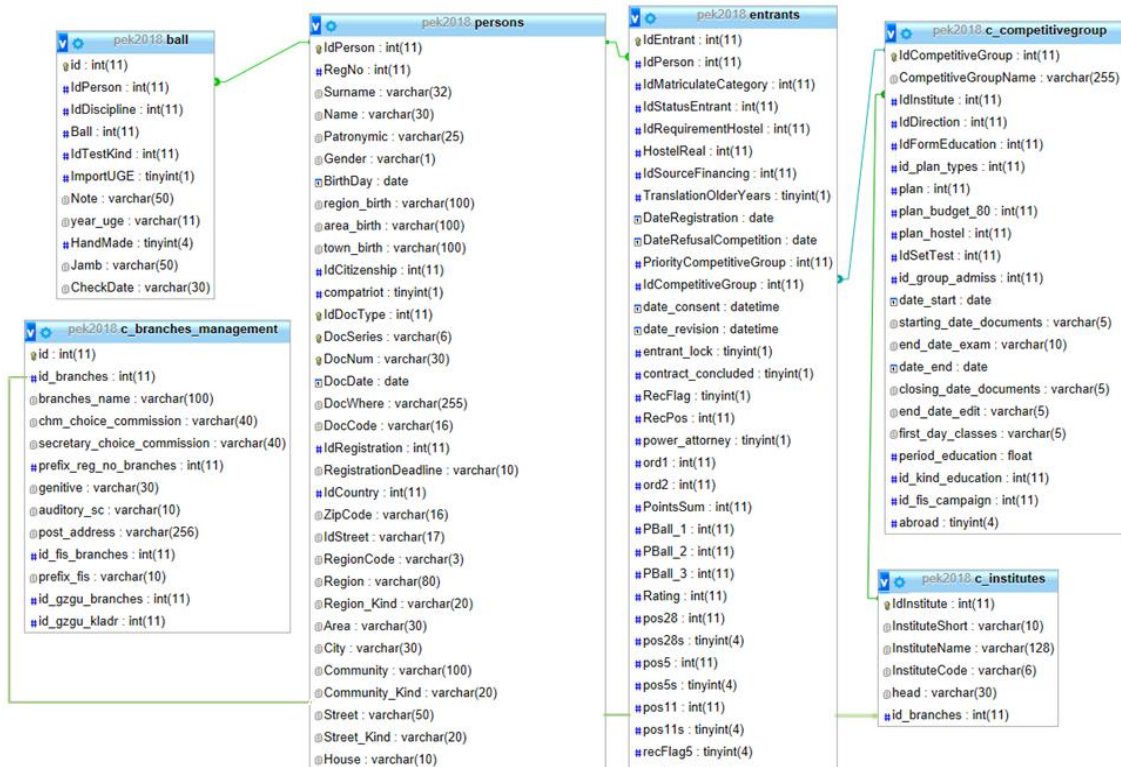


Рис. 1. Фрагмент схемы данных в БД ИСПК НИЦ «МЭИ»

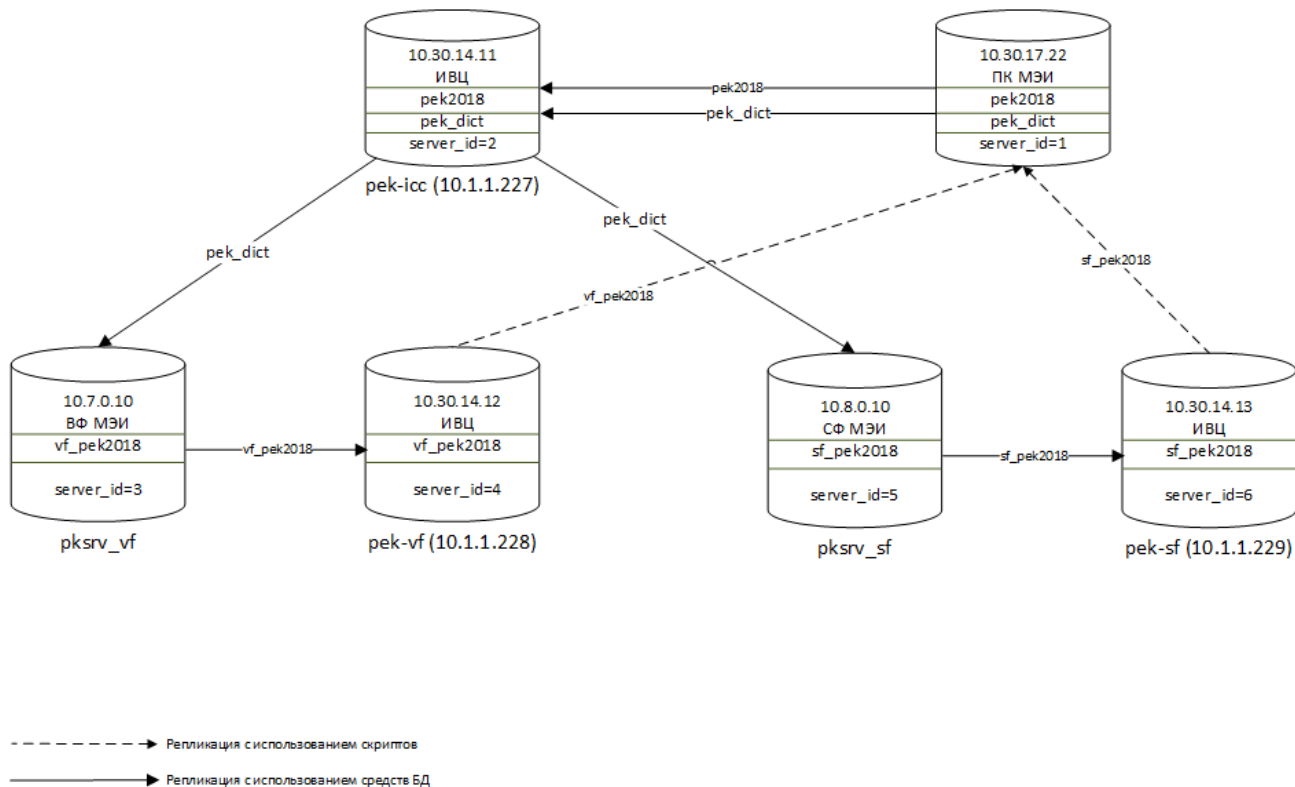


Рис. 2. Схема репликации справочников

Изменение структуры БД, не являющейся справочником (при необходимости изменений) надо производить на всех СУБД одновременно, в противном случае возможно нарушение процесса репликации. В СУБД MySQL есть 2 механизма репликации - использование бинарных логов [15] и использование механизма GTID [16]. В разработанной ИСПК НИУ «МЭИ» используется первый механизм.

V. ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ В ФИС ГИА И ПРИЕМА

В соответствии с действующим законодательством [17], любая образовательная организация (ОО) должна оперативно передавать в федеральную информационную систему государственной итоговой аттестации и приема (ФИС ГИА и приема) информацию о поданных заявлениях в процессе приема документов. Подключение ОО к ФИС ГИА и приема – долгий и дорогой процесс, поэтому было принято решение о подключении к ФИС только головного вуза в Москве.

Поскольку необходимо передавать в ФИС ГИА и приема информацию обо всех поступающих из филиалов НИУ «МЭИ», возникает задача собрать в Москве всю информацию из каждой локальной БД. Эта задача также решается применением механизма репликации баз данных. Репликации данных из БД филиалов на главный сервер соответствуют пунктирные линии на рис. 2.

Окончательное получение данных на сервере в сети ПК МЭИ происходит с использованием механизма скриптов, запускающихся по запросу. Данные скрипты организуют подключение к БД на серверах-репликах в ИВЦ МЭИ и загрузку новой информации.

Таким образом, обеспечивается сбор данных от филиалов. Получив полный набор данных, мы с использованием отдельной подсистемы ИСПК НИУ «МЭИ» взаимодействия с ФИС ГИА и приема [11], передаем сведения в ФИС ГИА и приема.

Общая схема обмена данными между ИСПК НИУ «МЭИ» и ФИС ГИА и приема представлена в работе [11].

Ещё одно важное замечание касается проверки результатов ЕГЭ поступающих и загрузки этой информации в БД филиалов. Поскольку между БД серверов в МЭИ и филиалах нет связи master-master, то загрузку приходится выполнять для ИС филиала в административном режиме.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поставленная задача по синхронизации данных поступающих между Москвой и филиалами была выполнена, и в настоящее время ИСПК НИУ «МЭИ» является территориально распределенной, обеспечивая синхронизацию необходимой информации от одной локальной БД к другой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки России) от 14 октября 2015 г. N 1147 "Об утверждении Порядка приема на обучение по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры".
- [2] 1c-университет [Online]. <https://solutions.1c.ru/catalog/university-prof/features> [Дата обращения: 10.03.18]
- [3] БИТ-вуз [Online]. <https://www.1cbit.ru/1csoft/bit-priemnaya-komissiya/> [Дата обращения: 10.03.18]
- [4] ИСПК МГУ [Online]. https://www.msu.ru/projects/amv/doc/h7_nim3_ab.pdf [Дата обращения: 10.03.18]
- [5] ИСПК МИЭМ [Online]. <https://cyberleninka.ru/article/v/struktura-informatsionnoy-sistemy-priemnoy-komissii-vuza-abiturient> [Дата обращения: 10.03.18]
- [6] Торобеков Б.К. Автоматизация процессов приемной комиссии вузов на основе информационной системы //Наука, техника и образование, 2017 г. №4, с. 30-33.
- [7] SQL Anywhere описание СУБД [Online]. <https://www.sybase.ru/products/asa> [Дата обращения: 10.03.18]
- [8] Dynamics CRM [Online]. <https://dynamics.microsoft.com/> [Дата обращения: 10.03.18]
- [9] Вершинин Д.В., Крюков А.Ф., Поляк Р.И., Титов Д.А. Информационная система приёмной комиссии «мэи». Труды 3-й международной конференции "Информатизация инженерного образования", Москва, 12-13 апреля 2016 г., с. 71-74. М.: МЭИ, 2016.
- [10] Васильковский А.А., Вершинин Д.В., Поляк Р.И., Фролов Н.Я. Информатизация как неотъемлемый компонент конкурсного отбора абитуриентов приёмной комиссией. Труды 3-й международной конференции "Информатизация инженерного образования", Москва, 12-13 апреля 2016 г., с. 67-68. М.: МЭИ, 2016.
- [11] Васильковский А.А., Крупин Г.В., Фролов Н.Я., Чернецов А.М. Взаимодействие с федеральной информационной системой государственной итоговой аттестации и приема. Труды 3-й международной конференции "Информатизация инженерного образования", Москва, 12-13 апреля 2016 г., с. 69-70. М.: МЭИ, 2016.
- [12] MySQL NDB кластер [Online]. <https://dev.mysql.com/doc/refman/5.7/en/mysql-cluster.html> [Дата обращения: 10.03.18].
- [13] Percona [Online]. <https://www.percona.com/software/mysql-database/percona-server> [Дата обращения: 10.03.18].
- [14] Galera [Online]. <http://galeracluster.com/products/> [Дата обращения: 10.03.18].
- [15] Репликация MySQL бинарные логи [Online]. <https://dev.mysql.com/doc/refman/5.7/en/replication-configuration.html> [Дата обращения: 10.03.18]
- [16] Репликация MySQL использование GTID [Online]. <https://dev.mysql.com/doc/refman/5.7/en/replication-gtids.html> [Дата обращения: 10.03.18].
- [17] Постановление Правительства Российской Федерации от 31 августа 2013 г. № 755 «О федеральной информационной системе обеспечения проведения государственной итоговой аттестации обучающихся, освоивших основные образовательные программы основного общего и среднего общего образования, и приема граждан в образовательные организации для получения среднего профессионального и высшего образования и региональных информационных системах обеспечения проведения государственной итоговой аттестации обучающихся, освоивших основные образовательные программы основного общего и среднего общего образования» [Online]. <http://www.rg.ru/2013/09/06/obr-dok.html> [Дата обращения: 17.03.18].

Разработка веб-сервиса для подачи и рецензирования докладов на базе платформы Sharepoint Server на примере конференции Инфорино-2018

Горбунова Анна Олеговна, Еремеев Алексей Александрович, Лаврушко Валентина Викторовна, Смыслина Анастасия Ивановна
Отдел Веб-разработки и внедрения порталных решений
ИВЦ НИУ «МЭИ»
г.Москва

Аннотация — В статье рассматривается разработка системы рецензирования с помощью платформы Sharepoint Server. Реализация происходит на примере конференции Инфорино-2018. Описываются процессы подачи доклада и рецензирования. Работа представляет законченный, полностью реализованный проект, однако в дальнейшем возможны доработки, которые также описаны в докладе.

Ключевые слова – веб-портал; веб-сервис; конференция; рецензирование; автоматизация.

1. ВВЕДЕНИЕ

Международная научно-практическая конференция «Информатизация инженерного образования (Inforino 2018)» посвящена применению информационных технологий в инженерном образовании особенно в инженерных и научно-технических расчетах, в обработке экспериментальных данных, удаленном доступе к лабораторному и производственному оборудованию, разработке электронных ресурсов и дистанционного образования по естественно-научным и инженерным дисциплинам. Конференция проводится каждые 2 года в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования "Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»). Автоматизация процесса рецензирования докладов является одним из ключевых факторов для успешного функционирования конференции. Обусловлено это целым рядом причин, из которых можно выделить следующие: необходимость наличия единой базы докладов с наличием фильтрации по разным полям; стремление к повышению скорости прохождения жизненного цикла заявки, в том числе за счет уведомлений различным группам пользователей; потребность в нетривиальной системе рецензирования.

II. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ

Для достижения поставленных целей логично использовать уже имеющиеся технологические решения, это значительно облегчит процесс реализации и избавит от лишних ошибок.

В процессе поиска решений были рассмотрены готовые сервисы для организации научных мероприятий, такие как EasyChair, Event 4SCIENCE, Ломоносов и др. Часть рассмотренных сервисов не имеет необходимый организаторам конференций функционал, другая часть удовлетворяет требованиям, но имеет слишком высокую стоимость подписки. Исходя из этого, было принято решение разработать новый сервис для подачи и рецензирования статей с использованием имеющихся у НИУ МЭИ сервисов.

В качестве программного продукта (ПП) был выбран Microsoft Sharepoint Server. Архитектура Sharepoint, состоящая из веб-приложения, коллекции сайтов, сайтов, списков и библиотек документов (рис. 1), подходит для решения поставленных задач [1]:



Рис. 1. Структура приложения Sharepoint.

- реализация функционала подачи заявки;
- реализация функционала рецензирования.

В конференции представлено 5 секций, у каждой из которых от 1 до 3 руководителей, а также несколько рецензентов. Для удобства управления правами доступа они были добавлены в группы пользователей. Руководители секции должны использовать e-mail адреса, зарегистрированные в Общеуниверситетской системе электронной почты (ОСЭП).

Данное условие связано с завязкой Sharepoint на профилях Active Directory (AD). Эта связь является еще одним преимуществом выбранного ПП. В большинстве систем имеются лишь основные встроенные группы пользователей и администраторы не имеют возможности их изменять. MS Sharepoint, благодаря гибкой системе настройки прав доступа, позволяет реализовывать практически любые задачи. По умолчанию, элементы, представленные на рис. 1, имеют наследование прав доступа, но при необходимости наследование можно отменять и выдавать индивидуальные права доступа, например, на списки.

Списки в рамках Sharepoint — это наборы данных, они будут использоваться для хранения всех необходимых сведений об авторах, заявках и рецензиях, также в отдельном списке хранится информация о секциях и их руководителях (рис. 2). Список является очень гибким инструментом, к основным возможностям относится:

- возможность содержать поля разных типов данных – однострочный текст, многострочный текст, время и дата, гиперссылка, подстановка и т.д.;
- наличие настройки представлений, т.е. вывод разных полей, применение фильтрации и сортировки;
- при необходимости можно изменять формы создания, просмотра и изменения элемента списков.

На рис. 2 видно, что списки связаны между собой, такая связь может быть осуществлена несколькими способами: использование полей типа «Подстановка», настройка рабочего процесса или программный способ. В процессе проектирования этапа подачи заявки был выбран третий способ. Только написание специальной веб-части позволяет решить основную проблему при работе со списками Sharepoint — невозможность работы со списками анонимным пользователям. Настройки доступа, предусмотренные по умолчанию в Sharepoint, позволяют неавторизованным пользователям работать со списком только в случае открытия доступа ко всему списку, что не отвечает требованиям федерального закона Российской Федерации от 27 июля 2006 г. N 152-ФЗ "О персональных данных" [2].



Рис. 2. Схема списков.

Перечисленные выше особенности списков были использованы в ходе реализации проекта. Для руководителей секций были настроены представления, которые отображают только те данные, которые необходимы, кроме того создана фильтрация по секциям, что облегчит работу, а также поможет в сборе статистики. А возможность редактирования формы изменения элементов списков помогла реализовать запрет на изменение некоторых полей от руководителей секций.

III. РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ

Регистрация доклада состоит из двух этапов:

- заполнение формы со сведениями о докладе, а также сведениями о каждом авторе;
- загрузка файла с докладом.

В рамках первого этапа пользователь заполняет форму, состоящую из двух частей. Первая часть содержит сведения о докладе:

- секция;
- название доклада;
- email для связи.

Затем пользователь заполняет сведения об авторах:

- имя;
- фамилия;
- email;
- страна;
- организация;
- должность;
- веб-страница.

Пользователь добавляет по одному автору с помощью кнопки «добавить автора». Такой способ позволяет собирать и хранить информацию в структурированном виде, что даст возможность избежать ошибок и неточностей на этапе принятия доклада к публикации. Кроме этого, наличие базы авторов обеспечит в будущем возможность почтовой рассылки.

Также предусмотрена возможность участия без доклада, в этом случае процесс рецензирования не нужен, однако участнику всё равно необходимо зарегистрироваться и загрузить в систему необходимые документы.

Для удобства пользователя каждый этап сопровождается уведомлениями на e-mail. Первое письмо участник получает после регистрации всех авторов, данное письмо содержит ссылку на страницу с формой загрузки доклада. После подгрузки документа автору присваивается регистрационный номер, который отправляется ему на e-mail.

Таким образом, можно выделить логику, представленную на рис. 3.

После загрузки автором доклада в систему ответственный по секции получает соответствующее уведомление. Дальнейшее взаимодействие с автором произойдет в случае, если доклад будет отправлен на доработку. После внесения правок автор может загрузить новую версию, перейдя по ссылке из первого письма. Если статья принята к публикации, то автору остается загрузить на сайт следующие документы:

- свидетельство об оплате;
- лицензионный договор;
- экспертное заключение.

IV. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ

Руководители секции получают уведомления на e-mail адреса, зарегистрированные в Общеуниверситетской системе электронной почты (ОСЭП). Это связано с завязкой профилей Active Directory (AD). Доменная среда Active Directory является единой точкой аутентификации и авторизации пользователей и приложений в масштабах предприятия [3]. При помощи Active Directory администраторы могут использовать групповые политики для обеспечения единообразия настроек пользовательской рабочей среды, установки ПО, обновлений и т.д.

Использование стандартных, уже имеющихся решений было недостаточно для выполнения второй задачи, которая в итоге была решена с помощью рабочих процессов (workflow).

Рабочие процессы в SharePoint позволяют моделировать и автоматизировать бизнес-процессы [4]. Эти процессы могут быть как элементарными, например, процесс утверждения документа одним утверждающим лицом, так и нелинейными и многоэтапными, как большинство структурированных бизнес-процессов, содержащих условия, циклы, входные данные пользователя, задачи и настраиваемые действия [5].

На рис. 4 представлен процесс рецензирования, выполненный согласно техническому заданию.

Как уже было сказано ранее, после загрузки пользователем доклада в систему ответственному по секции приходит письмо с уведомлением о необходимости назначить рецензентов, данное письмо содержит ссылку с формой назначения рецензентов. Все рецензенты занесены в систему на этапе разработки функционала, но при необходимости список может быть изменен администраторами. Ответственный должен выбрать из списка нужного рецензента и нажать кнопку «Сохранить», после чего ссылка на форму рецензирования приходит на почту назначенному пользователю.

Согласно логике процесса, решение о количестве рецензентов принимает ответственный по секции – в некоторых случаях достаточно одного, а в спорных ситуациях есть возможность назначить второго рецензента. Однако итоговый вердикт выносит руководитель секции, основываясь на рецензиях.

Форма рецензирования, помимо информации о докладе, содержит поля, которые необходимо заполнить рецензенту:

- отзыв (тип поля — многострочный текст);
- проверка на антиплагиат (тип поля — однострочный текст);
- статус (тип поля — поле выбора).

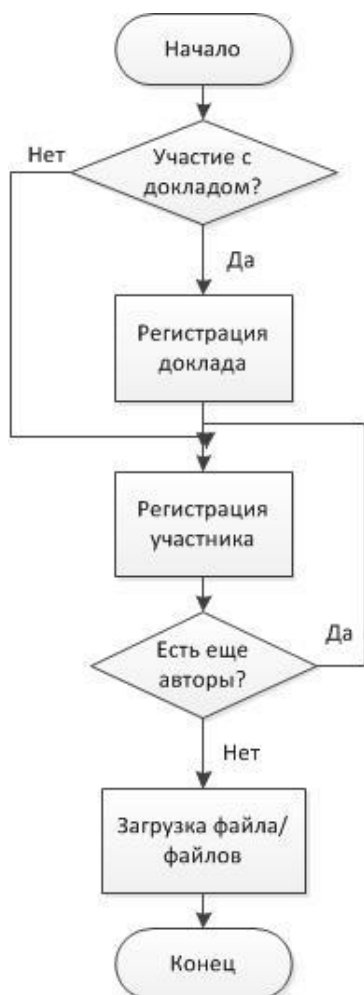


Рис. 3. Блок-схема «Регистрация участника».



Рис. 4. Блок-схема «Процесс рецензирования».

Руководитель секции, открывая заявку, видит все данные по заявке, а также подготовленные рецензии, на основании которых он может подготовить итоговую рецензию.

Необходимо отметить, что в ходе реализации рабочего процесса необходимо с помощью настроек выбрать способ запуска:

- вручную;
- автоматически при создании нового элемента;
- автоматически при изменении элемента.

Рабочий процесс должен запускаться после того, как ответственный по секции выберет рецензентов, то есть происходит изменение элемента, поэтому в ходе реализации был применен третий способ запуска.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализованный функционал можно считать адаптированным для приема заявок на участие во всех конференциях в НИУ МЭИ.

После проведения этапа тестирования системы стало понятно, что следует организовать функционал личных кабинетов для участников конференции. В таких личных кабинетах предполагается выводить все данные по докладу, это позволит избавиться от большого количества писем при регистрации доклада. Вся информация о докладе и функционал загрузки файлов планируется разместить в личном кабинете участника конференции.

Для упрощения обработки заявок планируется реализовать функционал личного кабинета руководителя секции. В нем планируется отображать всю информацию необходимую рецензенту:

- ссылки на файлы с докладами,
- статусы заявок,
- общая информация о секции.

Информация в личном кабинете должна динамично обновляться. При назначении рецензента, доклад автоматически отправляется в личный кабинет рецензента. Доклады в личном кабинете будут храниться в сортированном по статусу заявки виде.

Такой функционал также станет полезным для других конференций, проводимых в НИУ МЭИ. Он позволит избежать необходимости использовать почту для отслеживания статусов заявок. Все действия можно будет производить в личном кабинете.

Обновления планируется внести в систему к проведению следующей конференции Инфорино в 2020 году.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Brian Wilson, Brendon Schwartz, Matt Ranlett, Reza Alirezaei, Jeff Fried, Paul J. Swider, Scot Hillier Professional SharePoint 2013 Development // ISBN 9781118495780
- [2] Официальный интернет-портал правовой информации // Электронный ресурс // <http://pravo.gov.ru/>
- [3] Стен Реймер, Конан Кезема, Майк Малкер, Байрон Райт, Служба Active Directory. Ресурсы Windows Server 2008. 2009 // ISBN 978-5-388-00507-6.
- [4] Jennifer Mason, Shane Perran, Laura Rogers, Amanda Perran Beginning SharePoint 2013. Building Business Solutions // ISBN: 978-1-118-49589-6
- [5] Oleg Svatos Process Events and States in Business Process Models // ISBN 9783659282393

Учебная дисциплина «Компьютерная графика» для системы открытого образования

В.Н. Гузненков, П.А. Журбенко

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)
Москва, Российская Федерация
vn@bmstu.ru; rk1bmstu@mail.ru

Аннотация — Представлена разработка учебной дисциплины «Компьютерная графика» для системы открытого образования. Показано, что на современном этапе интегрированная дисциплина «Компьютерная графика» может вобрать в себя теоретический материал дисциплины «Начертательная геометрия» и практическую область дисциплины «Инженерная графика». Отмечено, что современные программные решения позволяют моделировать трехмерные объекты практически любой сложности, используя базовый инструментариий САД-модуля. Предложена стратегия построения электронной геометрической модели детали. Отмечено, что выделение электронного геометрического моделирования как фундамента геометро-графического образования обеспечивает конструктивное использование развивающихся возможностей компьютерной графики. Описано содержание интегрированной учебной дисциплины «Компьютерная графика». Дисциплина обеспечивает формирование у обучающихся следующих основных компетенций: знать и применять теорию геометрического моделирования для создания электронных геометрических форм объектов техники и технологий и уметь создавать электронную техническую и технологическую документацию с помощью современных графических технологий.

Ключевые слова — *открытое образование; начертательная геометрия; инженерная графика; компьютерная графика; видео-лекции; видео-уроки*

I. ВВЕДЕНИЕ

Министерство образования и науки Российской Федерации поставило перед ведущими университетами задачу создания системы открытого образования. Система открытого образования помимо организационной структуры включает учебные материалы. Современные требования к учебным материалам – качество и доступность. В Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана (МГТУ им. Н.Э. Баумана) принято решение разработать в первую очередь учебные материалы по общеобразовательным дисциплинам. Геометро-графические дисциплины по своей сути требуют наглядного представления материала. В докладе рассматривается учебная дисциплина

«Компьютерная графика», создаваемая для системы открытого образования.

II. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Традиционно геометро-графическую подготовку в высшем техническом образовании обеспечивали две учебные дисциплины: «Начертательная геометрия» и «Инженерная графика» [1]. С развитием вычислительной техники появляется новая учебная дисциплина – «Компьютерная графика». В начале 21-го века геометро-графическая подготовка включает: научную дисциплину «Начертательная геометрия», практическую, прикладную дисциплину «Инженерная графика» и информационно-технологическую дисциплину «Компьютерная графика» [2].

В современном понимании предметная область геометро-графической подготовки в высшем техническом образовании – это геометрическое формообразование и создание технической документации. Геометрическое формообразование обеспечивает дисциплина «Начертательная геометрия», основу которой составляет теория геометрического моделирования. Создание технической документации прерогатива дисциплины «Инженерная графика». Выполняется все это на компьютерах средствами компьютерной графики. Компьютер, как инструмент заменил карандаш и линейку, а системы трехмерного моделирования позволяют эффективнее решать задачи моделирования геометрических объектов, определения их формы и размеров, а также определения их взаимного положения в пространстве [3].

Современные технологии проектирования и производства не возможны без использования САД/CAM/CAE систем. Опыт работы в этих системах студенты должны приобретать, начиная с первого курса. Для этой цели лучше всего подходят дисциплины геометро-графического цикла. Использование САД-систем в обучении позволяет объединить в одной дисциплине формообразование технологических объектов и создание технической документации. Таким образом, интегрированная учебная дисциплина «Компьютерная графика» может вобрать в себя теоретический материал

дисциплины «Начертательная геометрия» и практическую область дисциплины «Инженерная графика» [4].

Интегрированная учебная дисциплина «Компьютерная графика» состоит из лекций и практических занятий. Для системы открытого образования лекции оформлены в виде видео-лекций, практические занятия представлены в виде презентаций и дополнительно созданы видео-уроки. Методическое обеспечение учебного процесса включает: учебные пособия [5, 6], комплекты домашних заданий [7], комплекты контрольных заданий.

Создание экранного образа реального (существующего) или идеального (воображаемого) объекта начинается с пространственного формообразования его геометрической модели. Современные программные решения позволяют моделировать трехмерные объекты практически любой сложности, используя базовый инструментариий CAD-модуля.

Достаточно редко электронная геометрическая модель детали состоит из одного элемента, а сам элемент формируется на основе одного единственного контура. В зависимости от геометрии детали обычно модель детали состоит из двух и более элементов модели, каждый элемент модели содержит более одного контура. Поэтому важно создавать взаимосвязи между контурами для каждого элемента модели, задавать надлежащее расположение контуров на соответствующих рабочих плоскостях и расположение самих рабочих плоскостей в модельном пространстве. Необходимо, чтобы модель детали была редактируемой, т.е. сохраняла свою геометрическую целостность при изменениях значений размерных ограничений [8]. Отсюда требование к модели детали: при внесении изменений в значения размерных зависимостей модель детали должна предсказуемо корректно перестроиться, т.е. сохранить свою геометрическую целостность.

Вышесказанное не означает, что существует только один правильный способ построения геометрии модели детали. Так, прямой круговой конус можно построить разными базовыми операциями: по известным диаметру основания и высоте – операция «Лофт»; по известным диаметру основания и углу при вершине – операция «Выдавливание»; по известным радиусу основания и высоте (или длине образующей) – операция «Вращение». Отсюда критерии выбора базовой операции при построении элементов модели детали:

1. Наименьший пересчет размеров для моделирования при построении контуров элемента модели детали.

2. Наиболее простые по геометрической форме контуры для построения элемента модели детали.

3. Наименьшее количество контуров для построения элемента модели детали.

Этапы построения электронной геометрической модели детали [9]:

- разбиение детали на элементы, из которых может состоять модель детали;

- определение расположения элементов относительно основных рабочих плоскостей;

- определение размеров для моделирования элементов модели детали;

- выбор операций для построения элементов модели детали и определение контуров для каждого элемента;

- определение последовательности построения элементов модели детали и количества используемых тел.

Опыт преподавания инженерно-графических дисциплин с использованием различных систем автоматизированного проектирования (AutoCAD, Autodesk Inventor, SolidWorks, Компас) позволил разработать стратегию построения электронных геометрических моделей деталей [10]:

1. Сбор и анализ данных геометрии детали. В качестве исходных данных могут быть: реально существующий образец, комплекты документации, комплекты электронной документации. После анализа исходных данных геометрии детали определяются элементы модели детали на основе геометрической формы или на основе конструктивной принадлежности. Следующим шагом определяется расположение элементов в модельном пространстве и определяются размеры для моделирования.

2. Выработка решения для построения электронной геометрической модели детали. Первый шаг – выбор базовой или конструкционной операции. При выборе базовой операции в дальнейшем определяется способ построения по формообразованию, выбор операции по критериям, определение контуров.

3. Построение электронной геометрической модели детали – определение последовательности построения элементов. Использование CAD-модуля системы автоматизированного проектирования.

Отдельного внимания заслуживает изучение стандартов Единой системы конструкторской документации на электронный документооборот и правил организации и структуры данных при выполнении электронной конструкторской документации. Стандарты с ГОСТ 2.051-2013 по ГОСТ 2.057-2014 определяют: электронные документы, электронную модель изделия, электронную структуру изделия, электронное описание изделия, электронную спецификацию, электронную модель детали, электронную модель сборочной единицы. Стандарты ГОСТ 2.001-2013, ГОСТ 2.102-2013, ГОСТ 2.104-2006, ГОСТ 2.109-73 определяют общие положения и правила оформления конструкторской документации. Стандарты ГОСТ 2.511-2011 и ГОСТ 2.512-2011 регламентируют правила передачи данных электронных документов.

Выделение электронного геометрического моделирования как фундамента геометро-графического образования обеспечивает конструктивное использование развивающихся возможностей компьютерной графики [11]. Быстрая визуализация результатов решения, возможность мгновенного исправления ошибок, выбор удобного варианта графического представления – все это

повышает эффективность усвоения знаний и освоения навыков и создает положительную мотивацию к изучению дисциплины.

Этой идеологии подчинен курс учебной дисциплины «Компьютерная графика» для системы открытого образования. Лекции созданы как видеоролики со звуком и эффектами анимации. Практические занятия изложены в виде презентаций. Видео-уроки демонстрируют все этапы создания электронных геометрических моделей деталей и этапы выполнения электронных чертежей.

III. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА»

Пилотный проект интегрированной учебной дисциплины «Компьютерная графика» для системы открытого образования включает девять видео-лекций, пять практических занятий, 11 видео-уроков. К каждому видео-уроку разработано домашнее задание. По результатам изучения дисциплины предусмотрены контрольные мероприятия. Учебные пособия по дисциплине предназначены для самостоятельного изучения.

При создании видео-лекций соблюдалось правило – продолжительность лекции около 20 минут. Темы лекций:

1. Введение в инженерную компьютерную графику.
2. Система автоматизированного проектирования. Работа в режиме «Эскиз». Основные группы команд.
3. Работа в режиме «Модель». Панель команд «Браузер». Команды навигации.
4. Работа в режиме «Модель». Вспомогательная геометрия.
5. Работа в режиме «Модель». Базовые операции.
6. Работа в режиме «Модель». Конструкционные операции.
7. Стратегия построения электронной геометрической модели детали.
8. Файл-шаблон чертежа. Команды создания основных изображений. Слои. Свойство ассоциативности. Команды оформления изображений.
9. Выполнение изображений: разрезы, сечения и выносные элементы. Основная надпись. Выполнение бумажных копий электронного документа.

Содержание практических занятий:

1. Регистрация на сервере: открытие сеанса работы с сервером. Правила работы с сервером в компьютерном классе. Системы автоматизированного проектирования (САПР). Классификация САПР. Официальный бесплатный доступ к студенческой версии САПР Autodesk Inventor. Основные стандарты на электронные документы. Состав и взаимосвязь типов представления формы изделия. Электронная модель изделия. Электронная геометрическая модель детали. Структурная схема электронной геометрической модели детали. Ограничения. Виды

электронных геометрических моделей деталей. Основные требования к электронным геометрическим моделям деталей. Интерфейс Autodesk Inventor. Настройка рабочей среды: создание и работа с проектами. Файлы-шаблоны. Работа в режиме «2D Эскиз». Команды построения примитивов. Команды простановки геометрических зависимостей. Команды простановки размерных зависимостей. Этапы построения контура.

2. Работа в режиме «Модель». Панель команд «Браузер». Команды навигации: «Панорамировать», «Зумировать», «Орбита», «Вид грани». Вспомогательная геометрия модельного пространства. Команды построения вспомогательной геометрии: «Точка», «Ось», «Плоскость». Редактирование элементов вспомогательной геометрии. Базовые операции: «Выдавливание», «Вращение», «Лофт» («По сечениям»), «Сдвиг». Редактирование элементов модели детали. Критерии выбора базовой операции. Особенности управления деревом построения при создании и редактировании элементов модели детали. Сохранение файлов моделей деталей: структура формирования учебных имен файлов и расположение файлов на жестком диске компьютера при сохранении.

3. Конструкционные операции: «Отверстие», «Фаска», «Ребро жесткости», «Сопряжение», «Оболочка», «Пружина», «Резьба». Стратегия построения ЭГМД (этапы построения ЭГМД).

4. Файл-шаблон чертежа. Модуль «Поддержка ЕСКД». Команда «Базовый вид». Переопределение «Системного вида». Масштабы изображений на электронных чертежах (ГОСТ 2.004). Компоновка изображений на листе. Команда «Проекционный вид». Слои: назначение, основные параметры. Работа со слоями. Внесение дополнительных построений в изображения. Свойство ассоциативности. Нанесение размеров. Основные правила и особенности нанесения штрихпунктирных линий (ГОСТ 2.004). Команды простановки штрихпунктирных линий: «Маркер центра», «Осевая линия», «Окружность центров», «Линия-биссектриса». Сохранение файлов электронных чертежей деталей: структура формирования учебных имен файлов и расположение файлов на жестком диске компьютера при сохранении.

5. Правила выбора базового вида. Команда «Сечение». Выполнение сложных разрезов: особенности и ограничения. Нанесение штриховки. Отображение и обозначение резьбы на изображениях. Условности и упрощения в электронном чертеже детали. Команда «Выносной элемент». Основные правила выполнения и оформления изображения выносного элемента. Простановка размерных линий с обрывом. Выполнение бумажных копий электронного документа.

Шесть видео-уроков посвящены созданию электронных геометрических моделей деталей («Контур», «Призма», «Пирамида со сквозным отверстием» (рис. 1), «Шар со сквозными отверстиями», «Деталь типа Основание», «Деталь типа Вал» (рис. 2)), пять видео-уроков посвящены выполнению электронных чертежей деталей.

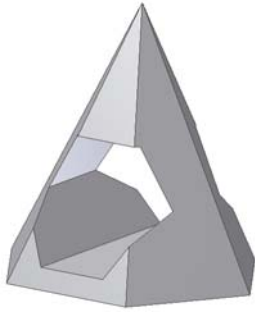


Рис. 1. Электронная геометрическая модель детали «Пирамида со сквозным отверстием»

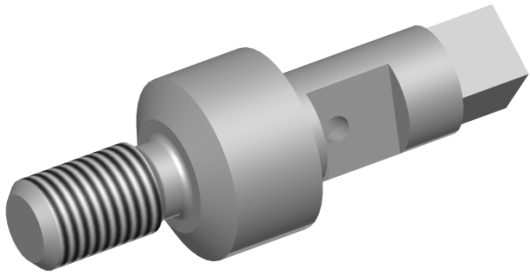


Рис. 2. Электронная геометрическая модель детали «Деталь типа Вал»

Чертежи и модели обладают свойствами ассоциативности: изменение в геометрии модели автоматически влечет преобразование чертежа, и наоборот: изменения в чертеже создают изменения геометрии модели.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Идеология построения электронной геометрической модели детали и сами модели, созданные студентами на младших курсах, используются в дальнейшем при обучении на общеобразовательных и выпускающих кафедрах университета [12, 13, 14].

Интегрированная учебная дисциплина «Компьютерная графика» обеспечивает формирование у обучающихся следующих основных компетенций: знать и применять теорию геометрического моделирования для создания электронных геометрических форм объектов техники и технологий и уметь создавать электронную техническую и технологическую документацию с помощью современных графических технологий [15, 16, 17].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

[1] Иванов Г.С. Перспективы начертательной геометрии как учебной дисциплины // Геометрия и графика. Т. 1. № 1. С. 26–27.

[2] Гузнецов В.Н. Применение информационных технологий в графических дисциплинах технического университета // Интеграция образования. 2013. № 1. С. 86–89.

[3] Гузнецов В.Н., Якунин В.И. Проектирование геометро-графической подготовки в техническом университете // Образование и общество. 2013. Т. 6. № 83. С. 25–27.

[4] Демидов С.Г. Особенности использования информационных технологий при преподавании графических дисциплин / Информатизация инженерного образования: Труды

Международной научно-практической конференции – ИНФОРИНО-2016 (Москва, 12-13 апреля 2016 г.). М.: Издательский дом МЭИ, 2016. С. 112–113.

[5] Гузнецов В.Н., Журбенко П.А., Винцулина Е.В. Autodesk Inventor 2016. Трехмерное моделирование деталей и выполнение электронных чертежей: учеб. пособие. М.: ДМК Пресс, 2017. 124 с.

[6] SolidWorks 2016: Трехмерное моделирование деталей и выполнение электронных чертежей: учебное пособие / В.Н.Гузнецов, П.А.Журбенко, Т.П.Бондарева. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2017. 124 с.

[7] Прокофьева И.В., Демидов С.Г. Особенности организации самостоятельной работы студентов с применением информационных технологий при изучении графических дисциплин / Информатизация инженерного образования ИНФОРИНО-2014: Труды Международной научно-методической конференции. М.: Издательский дом МЭИ, 2014. С. 123–124.

[8] Гузнецов В.Н., Журбенко П.А. Стратегия электронного геометрического моделирования в учебном процессе / Информатизация инженерного образования: Труды Международной научно-практической конференции – ИНФОРИНО-2016 (Москва, 12-13 апреля 2016 г.). М.: Издательский дом МЭИ, 2016. С. 100–101.

[9] Гузнецов В.Н., Серегин В.И., Журбенко П.А. Учебная дисциплина «Компьютерная графика» // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 6–4(37). С. 16–18.

[10] Гузнецов В.Н., Журбенко П.А. Компьютерное моделирование как основа геометро-графической подготовки в техническом университете // Строительство и техногенная безопасность. 2016. № 4(56). С. 63–65.

[11] Гузнецов В.Н., Журбенко П.А. Модель как ключевое понятие геометро-графической подготовки / Информатизация инженерного образования – ИНФОРИНО-2012: Труды Международной научно-методической конференции (Москва, 10-11 апреля 2012 г.). М.: Издательский дом МЭИ, 2012. С. 29–32.

[12] Полежаев В.Д., Полежаева Л.Н., Корзинова Е.И. Использование информационных и коммуникационных технологий при обучении студентов с ограниченными возможностями здоровья графическим дисциплинам // Право и практика. 2017. № 3. С. 217–222.

[13] Polezhaev V.D., Polezhaeva L.N., Kamenev V.V. Use of information and communication technologies for teaching physics at the Technical University. AIP Conference Proceeding: "Information Technologies in Education of the XXI Century, ITE-XXI 2015: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference "Information Technologies in Education of the XXI Century"" 2017. P. 030013.

[14] Gizatulin R.A., Valuev D.V., Valueva A.V., Serikbol A., Borovikov I.F. Optimizing technological parameters of the reduction processes in treating steels in a ladle furnace. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering "6th International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering" 2015. P. 012039.

[15] Walter A.V., Chernukhin R.V., Nozirezoda S.S., Borovikov I.F. Research on geometric errors of intermediate unit shell of a Geokhod. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: "International Scientific and Practical Conference on Urgent Problems of Modern Mechanical Engineering" 2016. P. 012017.

[16] Walter A.V., Borovikov I.F., Savin M.F. Research on geometric errors of geokhod prototype shell based on coordinate control data. Innovative Technologies in Engineering VII International Scientific Practical Conference. Conference Proceedings. National Research Tomsk Polytechnic University. 2016. P. 12129.

[17] Gizatulin R.A., Valueva A.V., Baldanova A.S., Senkus V.V., Borovikov I.F. A technology of wastewater sludge treatment. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering "International Scientific and Practical Conference on Urgent Problems of Modern Mechanical Engineering" 2016. P. 012038.

Использование онтологий учебных дисциплин для генерации контрольно-измерительных материалов

Демидов Дмитрий Витальевич

Кафедра Кибернетики

НИЯУ МИФИ

Москва, Россия

dvdemidov@mephi.ru

Аннотация — В статье предлагается использование онтологий в качестве основы для автоматизированного построения контрольно-измерительных материалов, проводится анализ языков описания онтологий и языков запросов к онтологиям, анализ методов и средств приобретения знаний в виде онтологий. Предлагаются методы генерации контрольно-измерительных материалов по онтологиям, описывается прототип построенной онтологии. Описываются разработанные программные средства.

Ключевые слова — онтология учебной дисциплины, язык описания онтологии, язык запросов к онтологиям, контрольно-измерительные материалы, генерация проверочных вопросов и ответов

I. ВВЕДЕНИЕ

Реформирование системы образования в РФ сопровождается разработкой федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования. Последние несколько лет они активно развиваются и модернизируются. Активно формируются фонды оценочных средств (ФОС), в состав которых входят и контрольно-измерительные материалы (КИМ), необходимые для оценки знаний, умений, навыков, приобретаемых в процессе освоения образовательной программы. Процесс разработки ФОС и, в частности, КИМ трудоёмок и ответственен, т.к. включает в себя множество оценочных средств. В положении о ФОС указаны:

- индивидуальные задания расчетного, графического, расчетно-графического типа;
- индивидуальные темы рефератов и эссе по заданной теме;
- индивидуальные задания для выполнения контрольных работ;
- тесты по темам дисциплины;
- сценарии деловых и ролевых игр, дискуссий, круглых столов, мастер-классов;
- задания для выполнения лабораторных работ, курсовых работ (проектов), научно-

исследовательских работ, выпускных квалификационных работ;

- задания для прохождения практик;
- вопросы для защиты лабораторных работ, вопросы к экзамену и государственному экзамену, вопросы для проведения коллоквиумов по темам дисциплины.

Традиционно, оценочные средства формируются вручную и заносятся в базу данных для автоматизации процесса оценивания. Однако, сам процесс формирования оценочных средств не автоматизирован. Таким образом, разработка методов и программных средств автоматизированного построения контрольно-измерительных материалов является актуальной научной и практической задачей.

В качестве основы для автоматизированного формирования КИМ в данной работе предлагается использовать онтологии учебных дисциплин. Существует множество определений онтологии. Среди них самым известным является определение Тома Грубера [20]: онтология – это точная спецификация концептуализации. Среди определений есть и те, которые отражают способы построения и использования онтологий. Например, онтология – это иерархически структурированное множество терминов, описывающих предметную область, которое может быть использовано как исходная структура для базы знаний [5]. Другие определения онтологии [11], [23]:

- логическая теория, которая состоит из словаря и набора утверждений на некотором языке логики;
- основа для коммуникации между людьми и компьютерными агентами;
- надежный семантический базис в определении содержания;
- структура, артефакт, описывающая значения элементов некоторой системы.

Онтологии помогают классифицировать информацию, представляют новые понятия так, что они становятся пригодными для машинной обработки. Можно представить онтологию как связующее звено между

новыми понятиями и уже известными классами, отношениями, свойствами и объектами реального мира.

Основными компонентами онтологии являются классы (или понятия), отношения (или свойства, атрибуты), функции, аксиомы, экземпляры (или индивиды).

Для описания онтологий разработан ряд специальных языков описания онтологий, таких как RDF (Resource Description Framework) [27], OWL (Web Ontology Language) [33], KIF (Knowledge Interchange Format) [22], CycL [32], CL (Common Logic) [17]. Тексты на этих языках являются машинно-читаемыми, что делает возможным их автоматическую обработку языковыми процессорами запросов и поисковыми машинами.

Для запросов к онтологиям разработаны языки (SPARQL [29], CycL и др.) и средства вывода на онтологиях (Табл.1).

Таблица 1. СРЕДСТВА ВЫВОДА НА ОНТОЛОГИЯХ

Название	Описание
Cyc inference engine	Семантический решатель, поддерживающий прямой и обратный вывод с модулями для логики высшего порядка, в составе проекта Cyc [19], [18].
FaCT (Fast Classification of Terminologies) [30], [21]	Разработка профессора Манчестерского университета Яна Хоррокса (Ian Horrocks). FaCT – бесплатная DL машина вывода (DL reasoner), первоначально реализованная на Common Lisp, в настоящее время имеет несколько реализаций, в первую очередь - реализация DIG интерфейса для этой машины вывода, называемый FaCT DIG servlet
RacerPro [31]	Разработка немецкой компании Racer Systems GmbH & Co. KG. RacerPro – семантическое промежуточное программное обеспечение для промышленных проектов, базирующееся на стандартах W3C RDF/OWL DL. Программа RacerPro имеет несколько видов лицензий; на бессрочное пользование продуктом выдаются только коммерческие лицензии
Pellet [26]	Разработка группы исследователей Semantic Web из лаборатории MIND LAB Мэрилендского университета. Pellet - open-source Java машина вывода OWL DL. Эта машина вывода может совместно использоваться с API Jena и OWL API
Apache Jena [15]	Каркас Java-приложений, поддерживающий работу с: RDF (с помощью RDF API и SPARQL), OWL (с помощью Ontology API и Inference API), хранилищами триплетов (с помощью TDB и Fuseki).
Fuseki [16]	Сервер обработки SPARQL-запросов с HTTP-интерфейсом.

Можно отметить такие средства приобретения знаний в виде онтологий как Protégé [10]; Ontolingua [11]; Swoop - редактор OWL-онтологий от MIND Lab Университета Мэриленда; TopBraid Composer (среда разработки онтологий и приложений Semantic Web); LISP Semantic Web - среда разработки онтологий и приложений Semantic Web на Common Lisp; NeOn Toolkit (Eclipse-среда разработки онтологий OWL2).

II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

A. Использование онтологий учебных дисциплин

В обучающем процессе очень важно установление общего понимания между обучающим и обучаемыми, поэтому наличие онтологии учебной дисциплины несомненно оказало бы положительное воздействие на ход учебного процесса, включая контрольные мероприятия.

Здесь следует отметить высокую трудоёмкость создания онтологии предметной области и высокие требования к квалификации автора онтологии. Автор Suggested Upper Merged Ontology (SUMO) Адам Пиз в [25] указывает на наиболее распространённые трудности, поджидающие редакторов онтологий:

- сложность выбора между отношениями "экземпляр класса" и "подкласс";
- сложность выбора между отношениями "часть-целое" и "подкласс";
- ошибочное моделирование событий отношениями в онтологии;
- беспорядочность и избыточность терминов (сущности без надобности);
- добавление слов языка в онтологию вместо концептов (разные слова могут оказаться одним концептом);
- ошибочное моделирование ролей классами в онтологии (роль может меняться со временем, а класс нет);
- слабая пригодность для повторного использования.

С другой стороны разрабатываются автоматические методы построения онтологий, например, [12].

Ясно, что пользователи онтологий, будь то студенты или преподаватели, становятся в некоторой степени заложниками субъективных решений, заложенных авторами в онтологию. Однако, как было указано выше, онтологии делают допущения в предметной области явными, а значит коллектив авторов со временем может совершенствовать онтологию, снижая долю ошибок и субъективизма. В этом смысле контроль знаний с применением онтологий может оказаться более стабильным процессом нежели контроль знаний, проводимый группой преподавателей, в котором оценка одного и того же студента может различаться в зависимости от преподавателя.

Онтологии учебных дисциплин успешно строятся, в частности, в Институте автоматизации и процессов управления ДВО РАН. Опубликованы результаты построения онтологий для таких дисциплин как: органическая химия [1]; рентгенофлуоресцентный анализ [4]; оптимизация последовательных программ [2], [3], [8]; физика [6]; медицинская диагностика [7];

программирование на языке С [28]; молекулярная спектроскопия [13], а также онтологии по географии, юриспруденции, экономике, финансам, распределённым вычислениям, химическим элементам и др., входящие в состав SUMO [24].

Перечень достаточно разнообразен, чтобы заявлять о потенциальной применимости онтологий в учебном процессе университета. Так, в [9] описан подход к систематизации содержимого электронного курса с помощью онтологического инжиниринга; в [6] онтологии применяются для представления программ учебных дисциплин.

В. Построение прототипа онтологии учебной дисциплины

Рассмотрим вопросы построения онтологии учебной дисциплины на примере обучающего курса по управлению проектами (PMBOK Guide v4 [14]). Процессы управления проектами, соотнесёны с областями знаний и с группами процессов управления. Базовыми понятиями онтологии логично выбрать области знаний, группы процессов и сами процессы.

В данной работе для создания прототипа онтологии в качестве языка описания онтологии выбран OWL, а в качестве редактора - программа Protégé. В терминах OWL для базовых понятий были объявлены три класса-потомка owl:Thing:

- Knowledge area (Область знаний): 9 экземпляров класса;
- Management process (Процесс управления): более 40 экземпляров класса;
- Process group (Группа процессов управления проектом): 5 экземпляров класса.

Между экземплярами классов имеют место отношения принадлежности:

- Affiliation_Knowledge_Area_Processes (Принадлежность процесса области знаний)
- Affiliation_Process_Group_Processes (Принадлежность процесса группе процессов)

В OWL отношениям соответствуют свойства экземпляров классов.

Для каждого процесса были установлены значения свойств, указывающих на область знаний с одной стороны и на группу процессов с другой.

К созданной онтологии можно задать ряд вопросов для проверки знаний испытуемого. В данной работе для построения запросов используется язык SPARQL.

Пример 1. Какие процессы относятся к группе процессов инициации?

Запрос SPARQL, соответствующий примеру, выглядит следующим образом:

```
SELECT ?x ?label
WHERE {?x
  pmbok:Affiliation__Process_Group__Processes
  pmbok:Initiating_process_group.
  ?x rdfs:label ?label}
```

Результаты поиска, удовлетворяющие указанным условиям:

```
pmbok:stakeholder_identification_process
pmbok:develop_project_charter_process
```

Пример 2. К какой области знаний относится процесс «Обеспечение качества»?

Тот же запрос на SPARQL:

```
SELECT ?x ?label
WHERE {?x
  pmbok:Affiliation__Process_Group__Processes
  pmbok:Quality_assurance_process.
  ?x rdfs:label ?label}
```

Результаты поиска, удовлетворяющие указанным условиям:

```
pmbok:project_quality_management (Управление
качеством проекта)
```

III. МОДЕЛИ ТЕСТОВЫХ ВОПРОСОВ И ВАРИАНТОВ ОТВЕТОВ

Рассмотрим такой вид контрольно-измерительных материалов как тестовые вопросы, где все вопросы формулируются с четырьмя вариантами ответов и для каждого вопроса есть только один верный ответ. С помощью языка запросов к онтологии можно формулировать вопросы следующих классов:

- о принадлежности объектов конкретному классу;
- о значениях нефункциональных свойств типа object properties;
- об уместности отношений между объектами: rdfs:domain должен содержать класс первого объекта, а rdfs:range должен содержать класс второго объекта;
- о значениях нефункциональных свойств типа datatype properties;
- о свойствах класса.

Рассмотрим различные модели вопросов.

A. Модель вопроса «Три объекта являются экземплярами класса, один - нет»

Пример вопроса: "Какой процесс управления сроками проекта не относится к группе процессов планирования?"

Варианты ответов:

- a) Определение операций
- b) Оценка ресурсов операций
- c) Управление расписанием
- d) Разработка расписания

Верный ответ - С.

Модель применима в ситуациях, когда у класса три или более экземпляра, из которых можно набрать три верных варианта, а также имеются экземпляры других классов на том же уровне иерархии классов, среди которых можно выбрать неверный вариант.

Следует отметить использование отрицания в формулировке вопроса, чтобы выделить объект, не являющийся экземпляром рассматриваемого класса.

B. Модель вопроса с ответом «верны все варианты»

Пример вопроса, соответствующего модели: "Какие из данных процессов принадлежат группе процессов планирования?"

Варианты ответов:

- a) Планирование коммуникаций*
- b) Определение операций*
- c) Сбор требований*
- d) Все варианты верны*

Верный ответ - D.

Модель применима в ситуациях, когда у класса три или более экземпляра, из которых можно набрать три верных варианта, и затруднительно выбрать неверный вариант среди других объектов.

C. Модель вопроса «Один объект является экземпляром класса, три - нет»

Пример вопроса, соответствующего модели: "Какой процесс относится к управлению коммуникациями проекта?"

Варианты ответов:

- a) Распределение информации*
- b) Контроль качества*
- c) Мониторинг и управление рисками*
- d) Закрытие закупок*

Верный ответ - A.

Модель применима в ситуациях, когда у класса несколько экземпляров, из которых можно выбрать верный вариант, а также имеются экземпляры других классов на том же уровне иерархии классов, среди которых можно выбрать три неверных варианта.

D. Модель вопроса с ответом «ни один вариант не верен»

Пример вопроса, соответствующего модели: "Какой процесс не относится к управлению закупками проекта?"

Варианты ответов:

- a) Планирование закупок*
- b) Закрытие закупок*
- c) Осуществление закупок*

d) Ни один вариант не верен

Верный ответ - D.

Модель применима в ситуациях, когда у класса три или более экземпляра, и затруднительно выбрать объект для неверного варианта.

Следует отметить использование отрицания в формулировке вопроса, чтобы выделить правильный ответ.

E. Модель вопроса с парами объектов в ответах

Пример вопроса, соответствующего модели: "Какие процессы группы процессов планирования относятся к управлению содержанием проекта?"

Варианты ответов:

- a) Создание ИСП и Сбор требований*
- b) Определение содержания и Управление стоимостью*
- c) Разработка плана управления проектом и Создание ИСП*
- d) Оценка стоимости и Сбор требований*

Верный ответ - A.

Модель применима в ситуациях, когда можно подобрать множество комбинаций, удовлетворяющих и неудовлетворяющих заданным условиям.

Можно разработать и другие модели вопросов, но и рассмотренных моделей уже достаточно для демонстрации работоспособности предлагаемого подхода.

IV. МЕТОД ГЕНЕРАЦИИ ВОПРОСОВ И ОТВЕТОВ

Продемонстрируем метод генерации вопросов и ответов для моделей "Три объекта являются экземплярами класса, один - нет" и "Один объект является экземпляром класса, три - нет".

Шаги алгоритма генерации.

Шаг 1. Цикл по всем классам онтологии.

Запрос на SPARQL выглядит следующим образом:

```
SELECT ?class
WHERE { ?class rdf:type owl:Class }
```

Ответ интерпретатора для прототипа онтологии:

```
rmbok:ManagementProcess (процесс управления)
rmbok:KnowledgeArea (область знаний)
rmbok:ManagementProcessGroup (группа процессов
управления проектом)
```

Шаг 2. Поиск всех экземпляров класса.

Запрос на SPARQL выглядит следующим образом:

```
SELECT ?instance
WHERE { ?instance rdf:type ?class }
SELECT ?object ?class
WHERE { ?class rdf:type owl:Class .
?object rdf:type ?class }
```

Шаг 3. Подбор вариантов ответов

а. Если число экземпляров N больше или равно 3, то сгенерировать все тройки из N . Для каждой тройки подобрать 1 неправильный ответ. Для этого выбрать экземпляры любых других классов, желательно близких по уровню в иерархии классов. Сгенерировать вопрос по образцу «Какой объект не является экземпляром класса ?class».

б. Если число экземпляров $N = 0$, то пропустить класс ?class и перейти к следующему.

в. Если число экземпляров $N = 1$ или 2, то для каждого экземпляра подобрать 3 неправильных ответа. Сгенерировать вопрос по образцу «Какой объект является экземпляром класса ?class».

Таким образом, алгоритм генерирует сразу группу вопросов для каждого класса онтологии. На третьем шаге алгоритма делается выбор подходящей модели вопроса в зависимости от количества экземпляров класса.

При поиске неверных ответов если не удастся найти экземпляров соседних классов, то далее поиск можно направить вверх по иерархии. Однако, если объекты отстают друг от друга более чем на один уровень в иерархии классов, то неправильные ответы будут сильно отличаться от правильного по уровню абстракции, что сделает правильный ответ легко вычислимым.

Поиск вариантов ответа вниз по иерархии классов бесперспективен в силу того, что экземпляры дочерних классов также являются экземплярами текущего класса (свойство полиморфизма).

V. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ГЕНЕРАЦИИ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ОНТОЛОГИИ

В работе использовался SPARQL-сервер Fuseki, который принимает запрос, исполняет его, упаковывает содержимое ответа в виде RDF и возвращает ответ в теле HTTP-response.

Прототип онтологии в формате OWL размещается в папке веб-сервера, развернутого на локальной машине. В тестовом режиме веб-сервер Fuseki позволяет интерпретировать SPARQL-запрос из окна браузера. Указав URL онтологии на локальном веб-сервере, можно получить доступ к тестовой странице запросов.

В качестве прототипа программных средств формирования тестовых вопросов и вариантов ответов на языке C# были разработаны программные средства, реализующие следующие возможности:

- программное взаимодействие с сервером SPARQL по HTTP-протоколу (Fuseki-клиент);
- отправка SPARQL-запросов на сервер в формате URL-encoded;
- настройка формата ответа;
- XSLT-преобразование XML-ответа в HTML-разметку;

- визуализация ответа SPARQL-сервера.

Для генерации удобочитаемого текста из структурированного ответа применялись следующие подходы:

- русскоязычные названия термов онтологии размещались в атрибутах label в самой онтологии;
- текст контрольных вопросов генерировался на основе простых шаблонов с подстановками термов из ответов SPARQL-сервера;
- для изменения морфологии использовалась библиотека Morphet для C#;
- выгрузка построенных вариантов вопросов и ответов выполнялась в формат CSV (для совместимости с Excel), где правильный ответ всегда шёл первым.

Для разработанного CSV-формата были разработаны средства генерации билетов на VBA в виде макросов Excel. Параметрами генератора билетов являются общее количество вопросов в базе; количество вопросов в билете (обычно 25 для промежуточного контроля и 50 для зачёта/экзамена); желаемое количество билетов (по числу студентов на потоке).

Результат может быть экспортирован в базу данных для использования автоматическими системами контроля успеваемости, либо выведены на печать. Генерация билетов выполняется на основе формул Excel; выгрузка билетов в файловую систему выполняется на основе шаблона документа MS Word и макросов на VBA. Матрица правильных ответов сохраняется в отдельный файл для использования преподавателем для проверки работ студентов.

Программные средства генерации билетов по тестовым вопросам апробировались на таких учебных дисциплинах как информатика (основы программирования), основы архитектуры ЭВМ, компьютерная графика, проектирование человеко-машинных интерфейсов, проектирование баз данных, обработка аудиовизуальной информации.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате построен прототип онтологии и продемонстрирована возможность моделирования контрольных вопросов по онтологии с примерами на языке SPARQL; разработан алгоритм генерации тестовых вопросов о принадлежности объектов конкретному классу и генерации вариантов ответов к вопросам для разных моделей вопросов; разработан прототип программных средств, демонстрирующий работоспособность разработанных моделей и метода автоматизированного формирования КИМ.

С точки зрения экономической эффективности разработанных методов основная трудоёмкость процесса формирования КИМ переносится на фазу подготовки онтологии. Совершенствование КИМ прежде всего

достигается через совершенствование онтологии учебной дисциплины. С течением времени сопровождение машинно-обрабатываемых онтологий может многократно окупаться за счет повторного использования онтологий непосредственно в процессе обучения в качестве основы интерактивных обучающих материалов. В то же время издержки на построение и сопровождение контрольно-измерительных материалов учебных дисциплин будут снижаться за счёт автоматизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Артемьева И.Л., Высоцкий В.И., Рештаненко Н.В. Модель онтологии предметной области (на примере органической химии) // НТИ, сер.2. 2005. № 8. С.19-27.
- [2] Артемьева И.Л., Князева М.А., Купневич О.А. Модель онтологии предметной области «Оптимизация последовательных программ». Часть 1. Термины для описания объекта оптимизации // НТИ, сер. 2. 2002. № 12. С. 23-28
- [3] Артемьева И.Л., Князева М.А., Купневич О.А. Модель онтологии предметной области «Оптимизация последовательных программ». Ч.2. Термины для описания процесса оптимизации // НТИ, сер.2.. 2003. №1. С.22-29.
- [4] Артемьева И.Л., Мирошниченко Н.Л. Модель онтологии рентгенофлуоресцентного анализа // Информатика и системы управления. 2005. № 2. С.78-88. – ISSN 1814-2400.
- [5] Добров Б.В., Иванов В.В., Лукашевич Н.В., Соловьев В.Д. Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения: учебное пособие. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 173 с.: ил.
- [6] Ерёмин Е.А. О применении онтологий для представления программ учебных курсов // 11-nd International Conference on Modern (e-) Learning, 2007 – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.foibg.com/conf/ITA2007/MeL2007/PDF/MeL07-Eremin.pdf>
- [7] Клещёв А.С., Москаленко Ф.М., Черняховская М.Ю. Модель онтологии предметной области "Медицинская диагностика". В 2-х частях. // НТИ. Сер. 2. Часть 1: 2005. №12. С.1-7. Часть 2: 2006. № 2. С.19-30.
- [8] Князева М.А., Купневич О.А. Модель онтологии предметной области «Оптимизация последовательных программ». Определение расширения языка модели структурных программ терминами потокового анализа //НТИ. Сер. 2.-2005.-№4.-С. 14-22.
- [9] Лутошкина Н.В., Мурашова Л.М. Систематизация мультимедийного контента электронного курса на основе онтологии предметной области // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=11480> (дата обращения: 04.05.2018)
- [10] Муромцев Д.И. Онтологический инжиниринг знаний в системе Protégé – СПб ГУ ИТМО, 2007. – 62 с.
- [11] Овдей О.М., Проскудина Г.Ю. Обзор инструментов инженерии онтологий // Российский научный электронный журнал «Электронные библиотеки» 2004 – Том 7 – Выпуск 4. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2011/fknt/bazhanova/library/obzor.htm>
- [12] Рабчевский Е.А. Автоматическое построение онтологий на основе лексико-синтаксических шаблонов для информационного поиска // Труды 9-ой всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» - RCDL'2007, Переславль-Залесский, Россия, 2007. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://rabchevsky.name/sites/default/files/download/paper-rcdl2009.pdf>
- [13] Родимова О.Б., Творогов С.Д., Фазлиев А.З. Онтология по молекулярной спектроскопии атмосферных газов, Труды 5 Всероссийской конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» С-Пб., 29-31 октября 2003, с. 211-215.
- [14] A guide to Project Management Body of Knowledge v.4. Project Management Institute.
- [15] Apache Jena. A free and open source Java framework for building Semantic Web and Linked Data applications – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://jena.apache.org/>
- [16] Apache Jena Fuseki – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://jena.apache.org/documentation/fuseki2/>
- [17] Common Logic Standard – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://iso-commonlogic.org/>
- [18] Curtis J, Matthews G, Baxter D On the Effective Use of Cyc in a Question Answering System – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://cluster.cis.drexel.edu:8080/sofia/resources/QA.Data/PDF/2005_KRAQ_Curtis_On_the_Effective_Use_of_Cyc_in_a_Question_Answering_System-2369707274/2005_KRAQ_Curtis_On_the_Effective_Use_of_Cyc_in_a_Question_Answering_System.pdf.
- [19] Cyc Knowledge Base – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.cyc.com/kb/>
- [20] Gruber T. R. A translation approach to portable ontologies. Knowledge Acquisition, 5(2):199-220, 1993 – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://tomgruber.org/writing/ontolingua-kaj-1993.pdf>
- [21] Horrocks Ian, Rector Alan Foundations of the Semantic Web. Ontologies and OWL – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.cs.man.ac.uk/~horrocks/Teaching/cs646/Slides/introduction.pdf>
- [22] Knowledge Interchange Format – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://logic.stanford.edu/KIF/dpans.html>
- [23] Maedche A., Staab S. Tutorial on Ontologies: Representation, Engineering, Learning and Application // ISWC'2002.
- [24] Pease Adam Suggested Upper Merged Ontology (SUMO) – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.adampease.org/OP/>
- [25] Pease Adam Ontology development pitfalls – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.adampease.org/OP/Pitfalls.html>
- [26] Pellet: A Practical OWL-DL Reasoner – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://pellet.owdl.com/papers/sirin05pellet.pdf>
- [27] Resource Description Framework (RDF): Concepts and Abstract Syntax, W3C Recommendation 10 February 2004, – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.w3.org/TR/2004/REC-rdf-concepts-20040210/>
- [28] Sosnovsky S., Gavrilova T. Development of Educational Ontology for C-programming. In: Information Theories & Applications, 2005, 13 (4), pp.303-308. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.foibg.com/ijita/vol13/ijita13-4-p01.pdf>
- [29] SPARQL Query Language for RDF – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>
- [30] The FaCT System – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.cs.man.ac.uk/~horrocks/FaCT/>
- [31] The RacerPro knowledge representation and reasoning system – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ifis.uni-luebeck.de/~moeller/papers/2012/HNMW12.pdf>
- [32] The Syntax of CycL – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.cyc.com/documentation/syntax-cycl/>
- [33] Web Ontology Language. Рекомендация W3C 2004. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.w3.org/2004/OWL/>

Комплексное имитационно-роевое моделирование продвижения инновационных проектов в регионы

А.А. Емельянов, О.В. Булыгина, Н.З. Емельянова
 Национальный исследовательский университет «МЭИ»
 Москва, Россия
 aa.emelianov@gmail.com, baguzova_ov@mail.ru

Аннотация — Рассматривается решение оптимизационной задачи продвижения инновационных проектов в регионы с применением комплексной имитационной модели с включением в ее состав модулей бактериальной оптимизации. В качестве объекта исследования выбран процесс формирования инновационного кластера. Комплексная модель выполнена в моделирующей системе «Actor Pilgrim» с реализацией временной, пространственной и финансовой динамики (деньги, финансовые инструменты) в едином времени. Результаты моделирования привязаны к топографической информации различных масштабов.

Ключевые слова — имитационное моделирование; акторно-сетевая теория; искусственная жизнь; бактериальная оптимизация; экономический инжиниринг; инновационный проект; экономический процесс

I. ВВЕДЕНИЕ В ЗАДАЧУ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ

Разработка новых методов инжиниринга и компьютерного моделирования для оптимизации проектов экономического развития становится актуальной задачей. Особое значение имеют инновационные проекты [1] обеспечения новыми источниками энергии (к примеру, гелио-электростанциями на базе полупроводниковых элементов, технологии производства которых постепенно становятся дешевле), развитие электро- и трубопроводных сетей для обеспечения энергией и энергоносителями, развитие системы новых технологичных производств, ранее отсутствовавших в России, для реализации программ импортозамещения. При этом для решения этих по сути инженерных задач создаются новые методы.

II. ОСОБЕННОСТИ ПРОДВИЖЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В РЕГИОНЫ

Проводимые исследования уровня инновационного развития российских регионов показывают существенный разрыв между субъектами РФ. Например, рейтинг инновационных регионов выполнен Минэкономразвития и основывается на 29 индикаторах, которые отражают: научные исследования; инновационную деятельность; инновационную активность регионов; социально-экономические условия. В группу инноваторов, значение индекса которых составляет не менее 140% от среднего по РФ, входят 11 субъектов РФ, при этом лидерами являются Москва, Санкт-Петербург и Республика Татарстан.

В рейтинге «Инновационный бизнес в регионах России» лидеры те же три субъекта. Наибольшие инвестиции сейчас вкладываются именно в крупные научно-промышленные центры (в первую очередь, в наукограды), которые с советских времен занимаются разработкой высоких технологий. В то же время поддержка жизненно необходима и менее инновационно-активным субъектам страны, поскольку создание и внедрение передовых решений в области их специализации будет способствовать социально-экономическому развитию самого региона.

Стратегией инновационного развития РФ на период до 2020 года предусмотрено формирование сети инновационных территориальных кластеров, которые должны развивать инновационный потенциал различных регионов, а также способствовать поддержке малого и среднего предпринимательства. Пример формирования инновационного кластера показан на рис. 1. Возникает задача многокритериального поиска оптимальных решений, которая должна решаться без наличия полных и точных знаний о пространстве поиска, что обусловлено спецификой инновационной деятельности в рамках территориальных кластеров.

III. ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ «РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА»

В последние 30 лет для решения подобных задач все чаще стали применять мета-эвристические методы, основанные на высокоуровневой стратегии поиска приближенного решения, который опирается на несколько эвристик нижнего уровня.

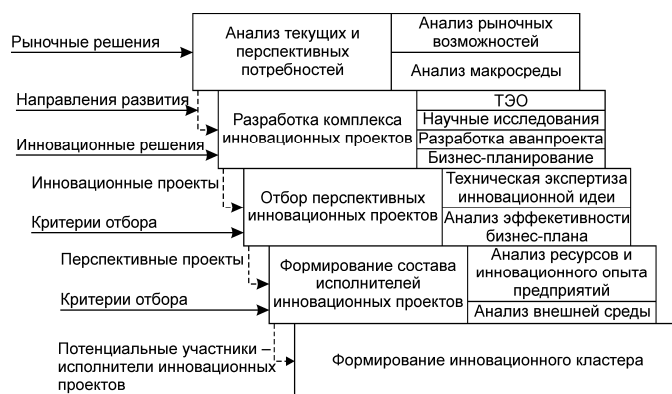


Рис. 1. Процесс формирования инновационного кластера

Популярными стали алгоритмы роевого интеллекта, основанные на моделировании коллективного поведения колоний различных живых организмов [2]: оптимизации в муравьиных и пчелиных колониях, бактериальной оптимизации и др.

Особый интерес среди алгоритмов роевого интеллекта представляют алгоритмы бактериальной оптимизации, которые позволяют учитывать и благоприятные, и негативные факторы. Причем наиболее изученным видом бактерий является *E.coli*, для которой средой обитания могут быть животные, люди или лабораторная жидкая среда [3, 4]. Следует отметить, что методы бактериальной оптимизации при исследовании региональных процессов учитывают гораздо больше информации по сравнению с гравитационной моделью внешней торговли [5].

В основе данного класса алгоритмов лежит положение о том, что бактерия типа *E.coli* в процессе своего перемещения стремится в область с питательными веществами (аттрактантами), избегая при этом опасных веществ (репеллентов). Таким образом, бактерии осуществляют поиск питательных веществ для того, чтобы максимизировать энергию, получаемую в единицу времени. Кроме того, в определенных условиях они могут посылать друг другу сигналы, демонстрируя элемент «псевдо-интеллектуального» поведения, хотя понятно, что эти живые микро-существа не имеют центральной нервной системы и интеллектом не обладают.

Бактерия *E.coli* в лабораторной жидкой среде может выполнять два простых действия при перемещении: *плавание* – равномерное прямолинейное движение; *кувырок* – разворот для смены направления движения.

Непосредственно самостоятельное пространственное перемещение бактерии в лабораторной среде реализуется следующим образом: *нейтральная среда*: чередование кувырков и плавания; *среда с добавлением аттрактантов*: по градиенту аттрактанта, т.е. в направлении благоприятной среды; *среда, содержащая репелленты*: в направлении, противоположном градиенту репеллента.

Классический алгоритм бактериальной оптимизации, дополненный процедурой коммуникаций между агентами, включает следующие этапы:

Хемотаксис, заключающийся в перемещении бактерий путем выполнения шагов определенной длины в задаваемом единичным вектором направлении. При плавании бактерии вектор остается неизменным, а при кувырке представляет случайный вектор, компоненты которого лежат в $[-1; 1]$. Плавание бактерии продолжается до тех пор, пока значение целевой фитнес-функции увеличивается (или выполнено заданное число итераций).

Роевые бактерии, представляющее интеллектуальное коллективное поведение. В процессе передвижения бактерия выделяет специальное вещество, сигнализирующее о наличии питательных или вредных веществ в месте ее нахождения. В свою очередь, бактерии, оказавшиеся на расстоянии, меньшем заданного, отталкиваются, а на большем – притягиваются. Это позволяет формировать кластеры с благоприятными

условиями, достаточными для существования нескольких бактерий.

Репродукция, позволяющая отбирать наиболее перспективные бактерии и, как следствие, территории. Так, для всех бактерий рассчитывается значение целевой фитнес-функции (с учетом добавки коммуникационного слагаемого). По результатам сортировки по данному критерию наиболее слабые бактерии исключаются, при этом каждая выжившая делится на две идентичных с координатами разделившейся. Таким образом, общее число агентов в популяции остается неизменным.

Рассеивание, которое выполняется после определенного числа репродукций. В популяции с заданной вероятностью отбирается определенное число бактерий, исключаемых из популяции. Взамен уничтоженных бактерий в случайной точке пространства признаков генерируется новая бактерия, при этом общее число бактерий в популяции остается постоянным.

Алгоритм бактериальной оптимизации завершается либо при достижении заданного числа итераций, либо при получении решения с заданной точностью.

IV. АКТОРНОЕ БАКТЕРИАЛЬНО-РОЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

A. Теория акторных сетей

Акторно-сетевая теория (*actor-network theory, ANT*) – теоретический метод абстрактного моделирования, применяемый в области исследований науки и технологий, в кибернетике и в социальных исследованиях, который рассматривает объекты (артефакты, технические комплексы, людей, животных и др.) как действующие единицы разных отношений, включая социальные [6, 7]. В кибернетике ANT является одним из методов системного анализа в управлении [8].

Актор (актант или агент сети) – объект или существо, совершающее действие или подвергающееся воздействию. Это может быть любое действующее лицо в жизненном цикле построения и развития модельной сети (теорема, организация, бактерия).

В исходной области науки и технологий ANT – это теоретический подход к построению кибернетических поведенческих моделей, внешне «очень похожий» на имитационное моделирование. Например, создание системы имитационного моделирования «*Actor Pilgrim*» [5] происходило с учетом достижений теории акторных сетей. Эта система позволила перейти от транзакта к «почти интеллектуальному» актору, обеспечив его способностями развития и мутации, перемещений в пространстве, возможностью становиться капиталистом, иметь взаимосвязи в сообществе других акторов и, даже, реконфигурировать модель, делая ее трансформером.

B. Акторная имитационно-роевая модель

В модели могут одновременно существовать от сотен до миллионов акторов. Реализация подобной модели возможна, когда используются следующие свойства акторов, которые являются динамическими элементами.

- Актор находится в конкретной точке пространства с привязкой к его координатам, например, к точке на карте местности. Он может менять свое расположение, перемещаться. Некоторые акторы могут быть более или менее «важными» при вовлечении в какой-то сетевой процесс, то есть они могут иметь приоритеты.

- Актор имеет возраст, измеряемый во времени. Значит, он имеет моменты рождения и гибели, связанные с временем. Он может порождать себе подобные акторы с полным или частичным наследованием своих свойств потомками, с возможностью мутации потомков. Но он может и уничтожать себе подобных акторов. Акторы могут образовывать «семьи». Между семьями могут устанавливаться отношения.

- Актор может иметь «карманные деньги» или финансовые инструменты в своем личном кошельке. Эти виртуальные денежные средства не влияют на экономические механизмы моделируемой с помощью акторной сети технико-экономической системы, даже если имеют весьма значимые с точки зрения модельера объемы.

- Актор может иметь долги даже при непустом кошельке или вообще не иметь долгов. В кошельке может быть только конкретная положительная сумма, или он может быть пустым – нулевым.

- Актор может стать «капиталистом», если передаст «карманные деньги» в сетевой процесс, который выполняет системные функции счета банковского или бухгалтерского учета, и у которого есть такие параметры как положительное сальдо и отрицательное сальдо. В этом случае его средства становятся частью финансовых ресурсов моделируемой технико-экономической системы.

- Актор может владеть ресурсами в течение какого-то времени, их получать, возвращать их или передавать, а также мигрировать по графу модели с набором ресурсов.

С. Особенности имитационно-роевой модели

В качестве инструментальных средств использовалось авторское зарегистрированное программное обеспечение: система моделирования «Actor Pilgrim» (RU 2014614435) и пакет пространственной имитации геополей в моделях региональной экономики «GEO Field» (RU 2017660186). Схема имитационно-роевой модели показана на рис. 2.

Особенностью модели является наличие памяти, состоящей из базы данных «Regional space» и журналов «Journal Bio₁» и «Journal Bio₂» – узлов модели типа dynamo (14 и 15), выполняющих функции расселения бактерий с учетом питательности среды обитания. Необходимую ориентацию обеспечивают узлы типа produce (12 и 13).

В модели создается поле действий акторов на основе гео- и экономической информации о моделируемом регионе страны. Автоматически выделяются центры вероятных зон питательной среды для акторов-бактерий. Такими центрами могут быть некоторые города и окружающие их населенные пункты. При обнаружении питательных свойств среды движения становятся менее случайными и более целеустремленными, поскольку бактерии ориентируются с помощью химических сигналов.

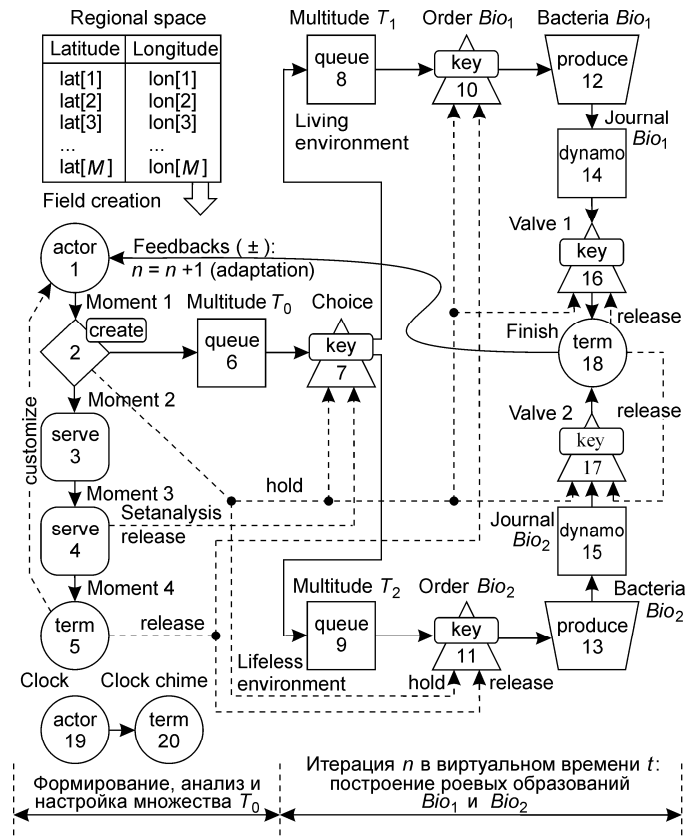


Рис. 2. Имитационно-роевая модель бактериальной оптимизации

Адаптация осуществляется после завершения итерации с переформированием рабочего сегмента базы данных «Regional space» с использованием журналов Bio₁ и Bio₂. Если отрицательная обратная связь не работает, то поиска не будет. Кроме «акторов-бактерий» присутствуют еще два отдельных типа акторов (не представлены на рис. 2): акторы «био-инженеры» – принимают решения в отношении лабораторной среды; «инженеры-менеджеры», – выбирают проекты.

В качестве виртуальной лабораторной среды обитания для учебной модели выбирается регион, например, Московская область. Алгоритм моделирования: акторы-бактерии в конечном итоге стремятся в более питательную среду. Там их продолжительность жизни немного увеличивается, и они более интенсивно размножаются. Но та часть акторов, которая попадает в непитательную или даже вредную среду, живет меньше. В непитательной среде акторы могут совсем прекратить размножаться, а в некоторых случаях «поглощать» себе подобных для продления жизни. Поэтому их популяция вырождается.

Научно-технический модельный проект для эксперимента выбран из области информатики и вычислительной техники. Этот проект связан с выпуском программного обеспечения для микровычислителей принципиально нового вида.

Ранее подобные вычислители и программное обеспечение приобретались за рубежом. Проект попадает в категорию импортозамещения.

D. Полученные результаты

Во время эксперимента предполагалось, что жизненный цикл роения бактерий, измеряемый виртуальным модельным временем, длится пять лет. За это время нужно найти перспективные зоны. Доля заинтересованного в реализации проекта населения небольшая и находится в пределах от 0 до 2 процентов лично заинтересованных жителей.

Оптимизация заключалась в поиске «питательных зон», перспективных для реализации проектов выбранного вида. Моделирование показало, что большая часть территории Московской области, включая Москву и все наукограды (рис. 3), подходит для того, чтобы реализовывать подобные проекты: это область ограничена штриховой линией, где прогнозируется ненулевой эффект реализации.

Но наиболее реальных зон четыре: Волоколамская, Можайская, Подольская, Приокская, а также есть несколько микрзон, где можно получить весьма существенный эффект (выделены пунктирными линиями). В качестве показателя эффективности выбрана скорость развития проекта E_{\max} , измеряемая стоимостью выполненных заказов в единицу времени, Р/год.

Вычисления показателя E_{\max} проводилось с привязкой к топографическим картам региона в режиме пространственного сканирования, с учетом индикаторов Минэкономразвития. Лучшее прогнозное значение E_{\max} получено для Приокской зоны.

Во время эксперимента обнаружен неожиданный парадокс: Москва и почти все наукограды не вошли в найденные зоны максимального эффекта. Только наукоград Троицк попал в Подольскую зону.

Существует логическое объяснение такому эффекту в отношении Москвы и наукоградов: все они обладают кадровым потенциалом, который находит более легкое применение, не меняя рода занятий и мест работы.

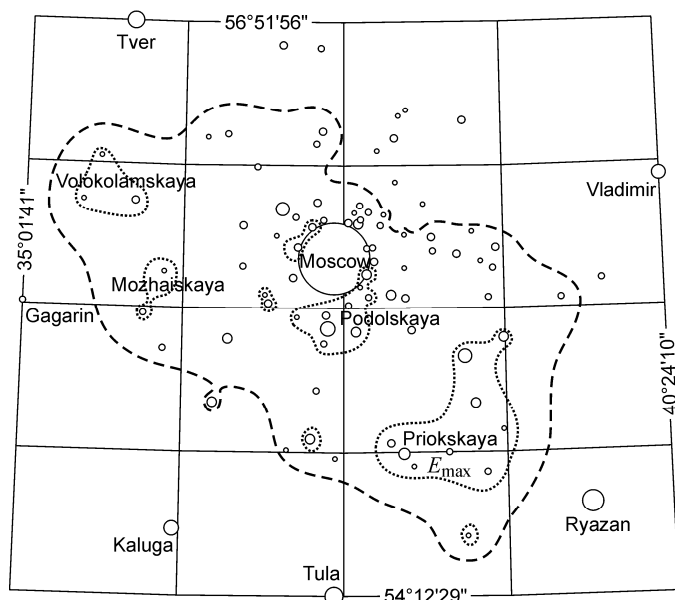


Рис. 3. Перспективные зоны для реализации проектов выбранного вида

В то же время квалифицированных молодых специалистов для реализации таких четырех проектов нужно не очень много. Возможность такого эффекта теоретически показана в [9].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Включение в имитационную модель алгоритма роевой бактериальной оптимизации дает эффект в виде снижения числа итераций при решении задачи кластеризации. Развитие комплексной модели связано с применением алгоритмов нечеткого логического вывода, что позволит сократить время выполнения некоторых этапов.

В условиях динамического изменения характеристик кластеров и выбора решений для каждого из них нужен дополнительный анализ «питательности среды обитания» в текстовых базах данных средств массовой информации.

Представленная разработка включена в лабораторное обеспечение по программе магистерской подготовки направления «Прикладная информатика», профиль «Программно-технологические системы и технологии в управлении бизнес-процессами».

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 18-01-00558 А «Нейро-нечеткие методы поддержки принятия решений по управлению сложными системами на основе динамического рубрицирования информации».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Булыгина О.В. Анализ реализуемости инновационных проектов по созданию наукоемкой продукции: алгоритмы и инструменты // Прикладная информатика. 2016. Т. 11. № 4 (64). С. 87-102.
- [2] Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 446 с.
- [3] Passino K.M. Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control // IEEE Control Systems Magazine. 2002. Vol. 22, No. 3. P. 52-67.
- [4] Liu Y., Passino K.M. Biomimicry of social foraging bacteria for distributed optimization: models, principles, and emergent behaviors // Journal of Optimization Theory and Applications. 2002. Vol. 115. No. 3. P. 603-628.
- [5] Емельянов А.А., Власова Е.А., Дума Р.В., Емельянова Н.З. Компьютерная имитация экономических процессов / Под ред. А.А. Емельянова. М.: Маркет ДС, 2010. – 464 с.
- [6] Latour B. Reassembling the social: an introduction to actor network theory. Oxford: Oxford University Press Inc., 2005. – 302 p.
- [7] Chiranjib S., Shukla A. Coalition formation for multi-agent coordination for surveillance and capture of foreign intruder using bacteria foraging algorithm // Proc. of Third Int. Conf. on Advances in Control and Optimization of Dynamical Systems. Kanpur, India: Indian Institute of Information Technology & Management. 2014. P. 511–518.
- [8] Булыгина О.В., Емельянов А.А., Емельянова Н.З., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении / Под ред. А.А. Емельянова; 2-е изд., перераб. и доп. М.: ФОРУМ – ИНФРА-М, 2017. – 450 с.
- [9] Рудометкин А.Н., Булыгина О.В., Гимаров В.В. Экономико-математические методы и инструменты для формирования территорий инновационного развития в северных регионах России // Транспортное дело России. 2017. № 5. С. 32–35.

Использование программной системы поиска решений на основе теоретико-игровых методов при обучении студентов в магистратуре по направлению «Прикладная математика и информатика»

Еремеев А.П.

зав. кафедрой прикладной математики
ФГБОУ ВО Национальный исследовательский
университет «МЭИ»
Москва, Россия
eremeev@appmat.ru

Кожухов А.А.

аспирант кафедры прикладной математики
ФГБОУ ВО Национальный исследовательский
университет «МЭИ»
Москва, Россия
saaanchezzz@yandex.ru

Аннотация — Для реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации по переходу к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создания систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта необходима подготовка высококвалифицированных кадров, в том числе в области разработки математического и программного обеспечения современных и перспективных интеллектуальных систем для различных приложений, в том числе и для образовательного процесса. Подготовка таких специалистов организована и на кафедре прикладной математики Национального исследовательского университета «МЭИ» (НИУ «МЭИ») по направлению «Прикладная математика и информатика». В работе представлен опыт применения в рамках дисциплины «Методы и программные средства поддержки принятия решений» программной системы поиска решений в конфликтных ситуациях на основе теоретико-игровых методов при обучении студентов НИУ «МЭИ» в магистратуре на кафедре прикладной математики по направлению «Прикладная математика и информатика».

Ключевые слова — *прикладная математика и информатика, поиск решения в конфликтных ситуациях, теоретико-игровой метод, обучение, магистратура; программная система.*

I. ВВЕДЕНИЕ

Согласно принятой Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации по переходу к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создания систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного

интеллекта, перед ведущими вузами России (федеральными и национально-исследовательскими университетами) поставлена задача подготовки большого числа специалистов, владеющих современными информационными и цифровыми технологиями, в том числе методами и технологиями искусственного интеллекта и принятия решений.

В связи с этим на кафедре прикладной математики (ПМ) НИУ «МЭИ» при обучении студентов бакалавриата и магистратуры по направлению «Прикладная математика и информатика» в рамках основного профиля подготовки «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин и компьютерных сетей» подготовлен и читается ряд курсов (основных и по выбору) по методам искусственного интеллекта и разработке математического и программного обеспечения интеллектуальных систем принятия и поддержки принятия решений (ИСППР), в том числе: «Основы искусственного интеллекта» (бакалавриат); «Методы и программные средства поддержки принятия решений», «экспертные системы», «Программное обеспечение интеллектуальных систем», «Интеллектуальные системы управления», «Прикладная семиотика» (магистратура).

В начале 1990-х годов по инициативе кафедры и при активном участии лауреата премии фон Неймана и одного из основателей направления «Искусственный интеллект» в СССР и России Д.А. Поспелова на кафедре ПМ была организована научная лаборатория по искусственному интеллекту и разработке интеллектуальных систем поддержки принятия решений и подготовлена программа обучения специалистов по профилю «Искусственный интеллект и интеллектуальные системы». В 2000 г. коллектив специалистов нескольких вузов и научных организаций Москвы (МЭИ была головной организацией) был удостоен премии Президента Российской Федерации в

области образования за создание и внедрение учебно-методического комплекса «Методы, модели и программные средства конструирования интеллектуальных систем принятия решений и управления» для высших учебных заведений [1]. Лауреатами премии Президента РФ стали профессора МЭИ Вагин В.Н. – руководитель авторского коллектива, Еремеев А.П., Кутепов В.П. и работающий в настоящее время на кафедре ПМ проф. Фоминых И.Б.

На кафедре разработаны и внедрены в учебный процесс электронные учебно-методические комплексы (ЭУМК) по перечисленным дисциплинам и ряд зарегистрированных в Федеральной службе по интеллектуальной собственности программных средств, для конструирования современных и перспективных интеллектуальных систем типа ИСППР и ИСППР реального времени, защиты данных и других приложений, используемых как в учебных, так и в научно-исследовательских целях:

- Инструментальный комплекс проектирования систем поддержки принятия решений реального времени СИМПР-WINDOWS;
- Система моделирования временных рассуждений на базе точечной модели времени;
- Система извлечения из корпоративной памяти знаний, релевантных проблемной ситуации (СКП);
- Программный комплекс «Темпоральные деревья решений» (Temporal Decision Trees (TDT));
- Базовые модули системы моделирования принятия решений СИМПР, расширенной средствами обработки таблиц с расширенным входом;
- Интеллектуальная экспертная система поддержки принятия решений для диагностики сложных патологий зрения;
- Программный комплекс для анализа успеваемости учащихся с применением OLAP технологии;
- Программа для поиска конфигураций, обеспечивающих минимум издержек компании на защитные средства и возможные потери от компьютерных атак;
- Анализатор DML для выявления нарушений целостности баз данных;
- Инструментарий для разработки моделей систем на основе темпоральных сетей Петри с поддержкой логики Аллена;
- Система аргументации на основе пересматриваемых рассуждений;
- Модуль редактирования онтологий для интеллектуальной системы на основе прецедентов;
- Модуль персонализации поиска на основе прецедентов для информационно-поисковых систем;

- Модуль ускорения поиска решения на основе модифицированного алгоритма Rete для нечеткой интеллектуальной системы;
- Модуль для оптимизации базы прецедентов (СВР-систем), используемых как в учебных, так и в научно-исследовательских целях.

Далее представлен опыт применения программной системы MatrixGames для поиска решений в конфликтных ситуациях на основе теоретико-игровых методов при обучении студентов в магистратуре по дисциплине «Методы и программные средства поддержки принятия решений» [3], модифицированная версия которой в настоящее время передана для регистрации в Федеральной службе по интеллектуальной собственности программных средств.

II. ТЕОРЕТИКО ИГРОВЫЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ПОИСКА РЕШЕНИЙ

Теория игр – это математическая дисциплина, связанная с проблематикой поиска решений в конфликтных ситуациях. Основы теории игр заложены в 1928 году Джоном фон Нейманом и Оскаром Моргенштерном, исследовавшими конфликтные ситуации в условиях рыночной экономики. Наиболее подробно теория игр изложена ими в фундаментальной работе «Theory of Games and Economic Behavior», Princeton, Princeton University Press, 1953 (русский перевод [4]).

Теоретико-игровые методы и модели [3-6] нашли достаточно широкое применение в области автоматизации процессов принятия решений, в том числе в интеллектуальных системах поддержки принятия решений, предназначенных для помощи лицам, принимающим решения, при управлении сложными объектами или процессами различного типа (техническими, экономическими, транспортными и т.д.) [7-10]. Классификация теоретико-игровых моделей представлена на рис. 1.



Рис. 1. Классификация теоретико-игровых моделей

Известно, что наиболее проработанными в теории игр являются модели игр двух лиц с нулевой суммой (антагонистических игр). Рассматривается антагонистическая игра $G(m \times n)$, где у первого игрока A имеется множество стратегий $\{A_i\}$, $i = 1, \dots, m$, а у второго игрока B – множество стратегий $\{B_j\}$, $j = 1, \dots, n$. Игра $G(m \times n)$ может быть представлена в виде дерева игры и/или в виде матрицы игры (матрицы платежей).

Представление игры в виде дерева является универсальным, т.е. любая игра может быть представлена в виде дерева, матричное же представление не является универсальным – не любая игра может быть приведена к матричной форме, да и само приведение может быть достаточно сложным. Однако многие прикладные задачи на поиск решения в конфликтных ситуациях могут быть изначально или после небольших преобразований представлены в матричной форме, что позволяет использовать для их решения известные методы математической оптимизации.

III. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ MATRIXGAMES ДЛЯ РЕШЕНИЯ АНТАГОНИСТИЧЕСКИХ ИГР

Система MatrixGames предназначена для решения антагонистических игр в матричной форме с использованием как точных (метода Лагранжа и симплекс-метода линейного программирования), так и приближенного метода (метода итераций Брауна-Робинсона). Главное окно системы MatrixGames представлено на рис. 2.

Главное окно содержит следующие поля и кнопки (на рис. 2 они обведены овалами и пронумерованы):

1. **Метод решения** – для выбора метода решения (поиска оптимальной стратегии);
2. **Параметры метода** – для задания параметров выбранного метода;
3. **Матрица игры** – для ввода и отображения матрицы игры;

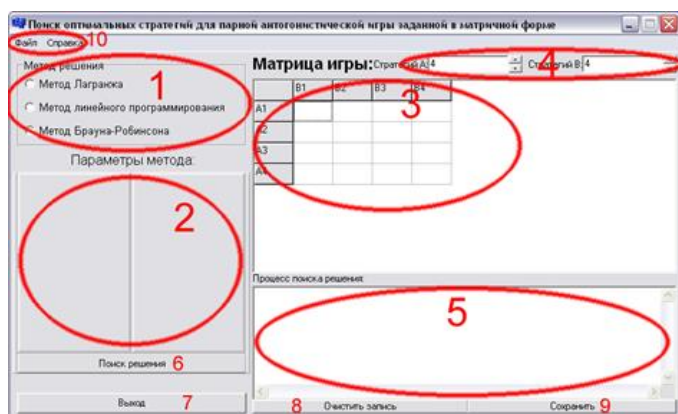


Рис. 2. Главное окно системы MatrixGames

4. **Стратегий А (Стратегий В)** – для задания количества стратегий игроков А и В;
5. **Процесс поиска решения** – для отображения хода решения и полученных результатов;
6. **Поиск решения** – кнопка запуска процесса поиска решения;
7. **Выход** – кнопка для прекращения процесса поиска и выхода из программы;
8. **Очистить запись** – кнопка для очистки записи о процессе поиска решения;
9. **Сохранить** – кнопка для сохранения записи о процессе поиска решения в текстовом файле;
10. **Файл, Справка** – кнопки меню программы, включающее пункты сохранения, загрузки и очистки матрицы игры, а также вызов помощи (Help).

В качестве примера на рис. 3 приведено поле задания параметров для итерационного метода Брауна-Робинсона со следующими позициями (окошками) для выбора:

- **Приводить матрицу к квадратной** – для запуска алгоритма поиска и удаления доминируемых и дублируемых стратегий;
- **Показывать значения для итераций** – для просмотра выбранного количество итераций метода
- **Показывать p, q** – для вывода в окне, отображающем итерационный процесс, вместе с накопленным выигрышем вероятностей p и q для смешанных стратегий, что позволяет наблюдать их сходимость к точному решению.

IV. ПРИМЕРЫ РАБОТЫ С СИСТЕМОЙ MATRIXGAMES

Рассмотрим пример для игры $G(5 \times 5)$ при наличии дублируемых и доминируемых стратегий. Вид главного окна, исходной матрицы и полученными результатами при использовании метода Лагранжа представлен на рис. 4.

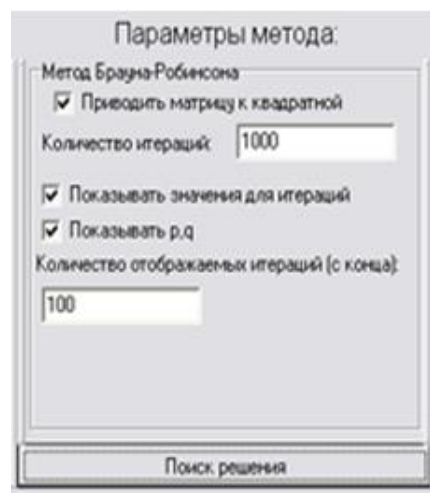


Рис. 3. Пример поля для задания параметров метода

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При изучении дисциплины «Методы и программные средства поддержки принятия решений» кроме системы MatrixGames используются также разработанные на кафедре ПМ и зарегистрированные в Федеральной службе по интеллектуальной собственности программные средства, среди которых: «Инструментальный комплекс проектирования систем поддержки принятия решений реального времени СИМПР-WINDOWS» [6]; «Базовые модули системы моделирования принятия решений СИМПР, расширенной средствами обработки таблиц с расширенным входом» и ряд других программных комплексов, разработанных на кафедре и используемых в учебных и научных целях.

Исследования и разработки в данном направлении активно продолжаются с участием студентов и аспирантов, в том числе в рамках проектов, поддержанных грантами РФФИ (проекты №№ 17-07-00553, 18-51-00007).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Вагин В.Н., Еремеев А.П. Научная школа искусственного интеллекта в Московском энергетическом институте на базе кафедры прикладной математики: становление и развитие // Вестник МЭИ, № 2, 2015, с.29-37. ISSN: 1993-6982.
- [2] Вагин В.Н., Еремеев А.П., Кутепов В.П., Фальк В.Н., Фоминых И.Б. К 40-летию кафедры прикладной математики: исследования и разработки в области обучения, программирования, информационных технологий и искусственного интеллекта // Вестник МЭИ, № 4, 2017, с.117-128. ISSN: 1993-6982.
- [3] Еремеев А.П. Теоретико-игровые методы принятия решений: учебное пособие. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 52с.
- [4] Фон Нейман Д., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение: Пер. с англ. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1970. – 708 с.
- [5] Протасов И.Д. Теория игр и исследование операций: Учебное пособие. – М.: Гелиос АРВ, 2003. – 368 с.
- [6] Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Рефлексивные игры. Серия «Управление организационными системами». – М.: СИНТЕГ, 2003. – 160 с.
- [7] Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах: Учебник – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Логос, 2002. – 392 с.
- [8] Башлыков А.А., Еремеев А.П. Основы конструирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в атомной энергетике: учебник. – М.: ИНФРА-М, 2018. – 351 с.
- [9] Микони С.В. Теория принятия управленческих решений: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2015. – 448 с.
- [10] Еремеев А.П. Язык таблиц решений и программный комплекс моделирования процессов принятия решений на его основе: учебное пособие / А.П. Еремеев, П.В. Гречкина, Н.В.Чибизова. – М.: Издательство МЭИ, 2016. – 72 с. ISBN 978-5-7046-1748-8.

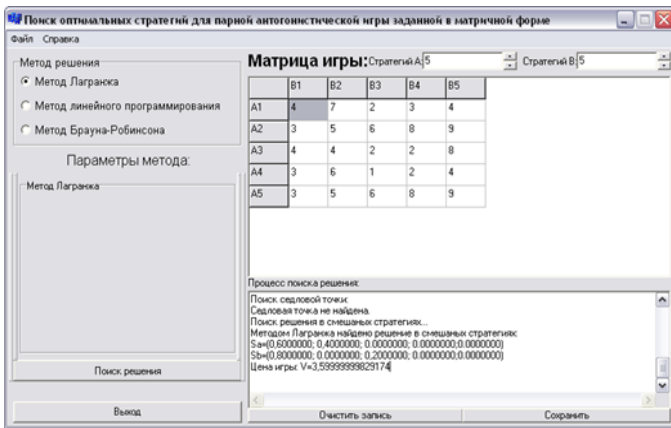


Рис. 4. Вид главного окна с полученными результатами для метода Лагранжа

Ход решения и полученные результаты отображены в окне «Процесс поиска решения». Методом Лагранжа (как и симплекс-методом) находится оптимальное решение в смешанных стратегиях:

$$S_a = (0,600000; 0,400000; 0,000000; 0,000000; 0,000000);$$

$$S_b = (0,800000; 0,000000; 0,200000; 0,000000; 0,000000);$$

$$\text{Цена игры (выигрыш игрока } A\text{): } V = 3,599999.$$

Если использовать итерационный метод Брауна-Робинсона, то находится приближенное решение, уточняемое (приближающееся к оптимальному) при увеличении числа итераций, задаваемого пользователем. При этом система выдает таблицу значений для последних 100 итераций (рис. 5).

Итерационный метод используется в случае очень больших матриц, когда точные методы требуют намного больших затрат вычислительных ресурсов по сравнению с итерационным. Студенты, задавая различное число итераций (5000, 10000, 50000, 100000 и т.д.) анализируют процесс сходимости решения к оптимальному.

№ итерации	Стратегия A	B1	B2	B3	B4	B5	Стратегия B	A1	A2	A3	A4	A5	Vn	Vb	V*
987	1	0,80040526E	0,199594731	1	0,60081053E	0,399189465	1	3,59979736E	3,60081053E	3,6003023951					
988	2	0,799595141	0,20040485E	3	0,60020242E	0,39979757C	2	3,59919028E	3,601214574	3,60020242E					
989	2	0,79979777E	0,200202224	1	0,599595551	0,40040444E	2	3,599595551	3,60060667E	3,60010111E					
990	1	0,8	0,2	1	0,6	0,4	1	3,59898989E	3,6	3,59949494E					
991	1	0,80020181E	0,19979818E	1	0,60040363E	0,399596367	1	3,59939455E	3,60040363E	3,599899091					
992	1	0,80040322E	0,199596774	1	0,600806451	0,39919354E	1	3,599798387	3,600806451	3,60030241E					
993	2	0,79959718E	0,20040281E	3	0,60020140E	0,39979859C	2	3,59919436E	3,60120845E	3,60020140E					
994	2	0,79979879E	0,200201207	1	0,59959758E	0,400402414	2	3,59959758E	3,600603621	3,60010060E					
995	1	0,8	0,2	1	0,6	0,4	1	3,598984974	3,6	3,599497487					
996	1	0,80020080E	0,19979919E	1	0,60040160E	0,39959833E	1	3,59939759E	3,60040160E	3,59989959E					
997	1	0,80040120E	0,19959879E	1	0,600802407	0,39919759E	1	3,59979939E	3,600802407	3,60030090E					
998	2	0,79959919E	0,200400801	3	0,60020040E	0,39979959E	2	3,59919839E	3,601202404	3,60020040E					
999	2	0,79979979E	0,20020020E	1	0,59959959E	0,40040040E	2	3,59959959E	3,60060060E	3,60010010E					

Рис. 5. Окно с результатами последних итераций

Исследование параллельных решений дифференциальных уравнений второго порядка для многоядерных архитектур

Жилманов В. Ю., Шамаева О. Ю.

Кафедра прикладной математики
ФГБОУ ВО Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва, Россия
vlad4475@mail.ru, shamayevaoy@mpei.ru.

Аннотация — В статье представлено применение технологии OpenMP для решения дифференциального уравнения второго порядка. Дифференциальные уравнения составляют основу математических моделей большого числа различных физических процессов, таких как термодинамические, аэродинамические, электростатические и др. При этом решение этих уравнений – достаточно трудоёмкая задача, требующая использования высокопроизводительных архитектур

Ключевые слова — дифференциальные уравнения второго порядка; задача расчета нагрева пластины; параллельные вычисления; технология OpenMP и Intel® Hyper-Threading

I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В работе исследуется дифференциальное уравнение второго порядка, описывающее теплообмен пластины с окружающей средой [1]:

$$\frac{du(x,y,t)}{dt} = D(x,y) * \left(\frac{d^2u(x,y,t)}{dx^2} + \frac{d^2u(x,y,t)}{dy^2} \right) + \phi(x,y,t,u)$$

где u – температура в точке (x, y) в момент t ; x и y – координаты на пластине; t – момент времени; ϕ – функция подачи/отвода тепла к точке (x, y) в момент времени t при температуре u ; D – коэффициент теплопроводности в точке (x, y) . Также анализируется уравнение взаимодействия с окружающей средой [1]:

$$\frac{du(x,y,t)}{dt} = a * (u(x,y,t) - T_{\text{среды}}),$$

где a – коэффициент теплообмена с окружающей средой; $T_{\text{среды}}$ – температура окружающей среды.

Задача расчёта нагрева пластины очень актуальна и применяется во многих областях производства, для априорной оценки систем охлаждения, систем, работающих при высоких температурах, систем нагрева воды и других [1].

Для приведённых уравнений предлагаются и исследуются параллельные алгоритмы решения, которые используют явную 5-ти точечную модель с граничными условиями 2-го рода.

Разностная схема, применяемая для решения уравнений, имеет вид:

$$\frac{u_{ij}^{t+1} - u_{ij}^t}{h_t} = D(x,y) * \left(\frac{u_{i-1,j}^t - 2 * u_{ij}^t + u_{i+1,j}^t}{h_x^2} + \frac{u_{i,j-1}^t - 2 * u_{ij}^t + u_{i,j+1}^t}{h_y^2} \right) + \phi(i,j,t,u_{ij}^t)$$

Трудоёмкость задачи T_p на каждом шаге можно оценить следующим образом:

$$T_p = (n - 1) * (m - 1) * (7 * T_{\text{умн}} + 6 * T_{\text{слож}} + 2 * T_{\text{дел}}) + 2 * (n - 1) * (3 * T_{\text{умн}} + 3 * T_{\text{слож}}) + 2 * (m - 1) * (3 * T_{\text{умн}} + 3 * T_{\text{слож}})$$

где n, m – длина и ширина пластины, $T_{\text{умн}}, T_{\text{слож}}, T_{\text{дел}}$ – время выполнения операций умножения, сложения, деления соответственно.

Таким образом, ввиду большой трудоёмкости задачи необходимо использование много процессных архитектур.

II. СРЕДСТВА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА МНОГО ПРОЦЕССНЫХ АРХИТЕКТУРАХ

Многопоточность — свойство платформы или приложения, состоящее в том, что процесс, порождённый в операционной системе, может состоять из нескольких потоков, выполняющихся «параллельно», то есть без предписанного порядка во времени. При выполнении некоторых задач такое разделение может достичь более эффективного использования ресурсов вычислительной системы.

Такие потоки называют также потоками выполнения (от англ. thread of execution); иногда называют «нитеями» (буквальный перевод англ. thread) или неформально «тредами» [2].

Сутью многопоточности является квази многозадачность на уровне одного исполняемого процесса, то есть все потоки выполняются в адресном пространстве процесса. Кроме этого, все потоки процесса имеют не только общее адресное пространство, но и общие дескрипторы файлов. Выполняющийся процесс имеет как минимум один (главный) поток.

Многопоточность (как доктрину программирования) не следует путать ни с многозадачностью, ни с многопроцессорностью, несмотря на то, что операционные системы, реализующие многозадачность, как правило реализуют и многопоточность.

В многопоточной среде часто возникают проблемы, связанные с использованием параллельно исполняемыми потоками одних и тех же данных или устройств. Для решения подобных проблем используются такие методы взаимодействия потоков, как взаимное исключения (мьютексы), семафоры, критические секции и события.

Одной из наиболее популярной и используемой сегодня технологией распараллеливания для программирования многопоточных приложений является технология OpenMP (Open Multi-Processing) [2-5]. За основу берётся последовательная программа, а для ее распараллеливания используется набор директив компилятора, переменные окружения и библиотечные процедуры, которые предназначены для программирования многопоточных приложений на много процессных системах с общей памятью.

Для архитектур с общей памятью характерно следующее:

- все процессоры (ядра) имеют доступ к любой точке памяти с одинаковой скоростью;
- процессоры подключены к памяти либо с помощью общей шины, либо с помощью crossbar-коммутатора;
- аппаратно поддерживается когерентность кэшей.

OpenMP – открытый стандарт для распараллеливания программ, записанных на языках C/C++ и Fortran. Первая версия появилась в 1997 году, предназначалась для языка Fortran, версия для C/C++ появилась в 1998 году [5]. Разработкой OpenMP занимается ARB (Architecture Review Board) - некоммерческая организация, в состав которой входят крупнейшие разработчики архитектур с общей памятью и соответствующего программного обеспечения [5]. На данный момент доступна рабочая версия 4.0, однако в данной работе использовалась версия 2.0.

Программа, созданная с применением технологии OpenMP, состоит из последовательных (однопоточных) и параллельных (многопоточных) участков [6]. В OpenMP используется модель распараллеливания «Ветвление - Слияние». Вначале имеется только единственный поток его называют начальным потоком или ещё основной нитью (Master thread, здесь thread это легковесные процессы). Как только поток встречает параллельную конструкцию в коде программы, он создает группу потоков и становится главным потоком. В созданной группе все потоки, включая главный, выполняют код программы. После завершения выполнения параллельной конструкции в коде, работу продолжает только главный поток. Число потоков выполняющих параллельную часть можно контролировать.

Память в OpenMP разделяется на локальную и общую. Локальная память доступна только для одной нити, а общая, для нескольких.

Основными достоинствами технологии распараллеливания OpenMP являются:

- возможность использовать общие данные для параллельно выполняемых потоков, без каких либо затруднений для межпроцессных передач;
- возможность инкрементной (поэтапной) разработки параллельных программ (на ранних этапах разработки в последовательную программу поэтапно могут добавляться директивы);
- снижение вероятности возникновения проблем при переносе параллельных программ между разными аппаратными платформами.

III. РАЗРАБОТАННОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ

На основе предложенных параллельных алгоритмов выполнена реализация параллельного приложения в среде Visual Studio 2013 на языке программирования C++ с применением библиотеки распараллеливание OpenMP и библиотеки для работы с графикой OpenGL.

Программа осуществляет расчёт температур, изменяющихся во времени, и отображает результаты на экран.

На рис.1 представлена пластина, к центру которой подаётся или отводится тепло по закону синуса от времени. На рис. 2 иллюстрируется процесс водяного охлаждения, когда жидкость, нагреваясь у источника питания, начинает циркуляцию в замкнутой системе. При достижении определённой температуры на датчике включается система охлаждения жидкости.

IV. ВОЗМОЖНОСТИ РАЗРАБОТАННОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

Разработанное приложение позволяет производить расчёт температур для пластин любого размера и материала, при этом необходимо задать размеры пластины, коэффициенты теплопроводности пластины, а также коэффициенты теплопроводности между пластиной и окружающей средой.

Также следует указать закон изменения подачи и отведения теплоты от пластины в зависимости от координат, времени и температуры в каждой точке. Возможно изменение коэффициента теплопроводности пластины во всех или некоторых точках пластины в зависимости от температуры и времени.

Приложение позволяет моделировать жидкую среду и течение в ней, например, моделировать систему жидкостного охлаждения или других систем подобного принципа работы.

V. ТЕСТИРОВАНИЕ РАЗРАБОТАННОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

Поскольку наиболее трудоёмким является пересчёт температур во внутренних точках пластины, который занимает большую часть вычислительных ресурсов, именно этот процесс был распараллелен. Задача была протестирована на различных процессорах Intel: Core i5 7500, Core i7 7700, Core i7 4790, Xeon E5 2670. Тестирование проводилась на 3000 временных итераций при размерности пластины 9000 на 9000 точек.

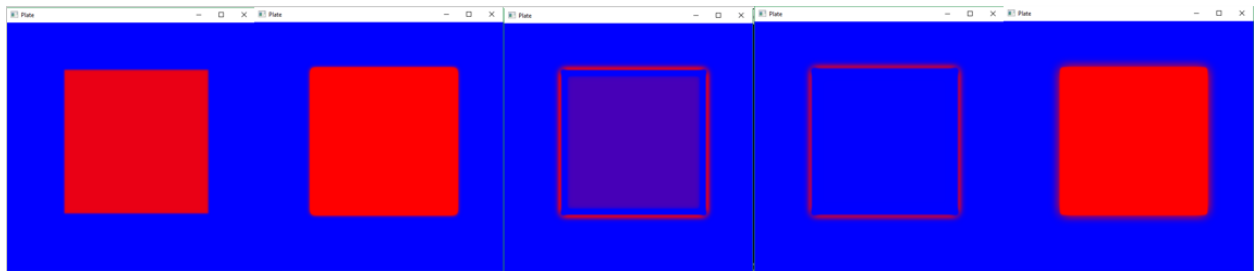


Рис. 1. Визуализация нагрева пластины

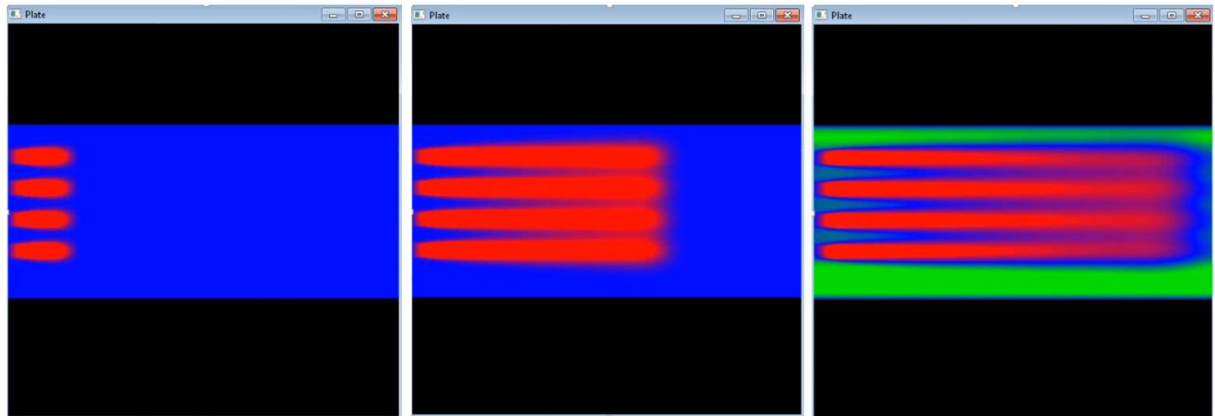


Рис. 2. Визуализация функционирования системы водяного охлаждения

На рис.3 и рис.4 приведены графики зависимости времени решения и ускорения от количества используемого числа нитей.

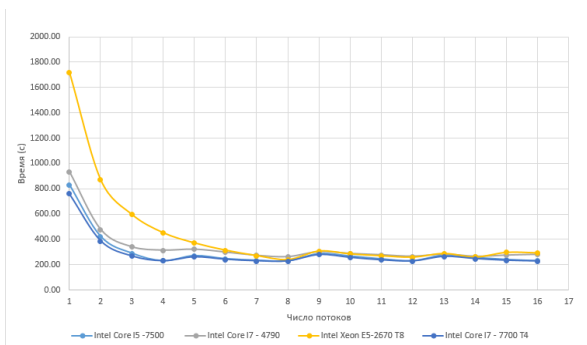


Рис. 3 График зависимости времени решения от числа потоков

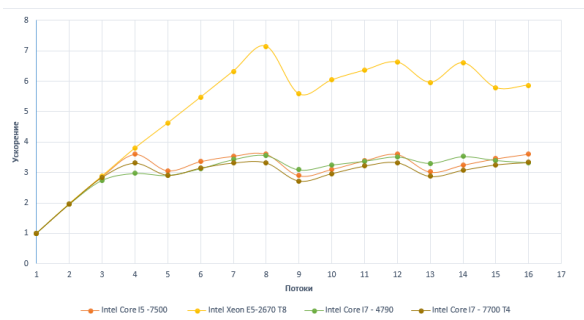


Рис. 4 График зависимости ускорения решения от числа потоков

Из графиков видно, что наименьшее время решения и наибольшее ускорение достигается при числе нитей, равным числу ядер процессора. Это справедливо и для 4-х ядерных процессоров Intel core i5-7500, Intel core i7-4790, Intel core i7 - 7700 и для 8-ми ядерного процессора Intel Xeon e5-2670.

Рассмотрим влияние применения технологии Hyper-Threading для реализации приложения.

VI. ТЕХНОЛОГИЯ HYPER-THREADING

Технология Intel® Hyper-Threading (Intel® HT) обеспечивает более эффективное использование ресурсов процессора, позволяя выполнять несколько потоков на каждом ядре. В отношении производительности эта технология повышает пропускную способность процессоров, улучшая общее быстродействие многопоточных приложений [3]. В результате исследований было выяснено, что на большом классе задач процессор загружен не более, чем на 70%.

Суть технологии Intel® HT заключается в том, что во время простоев процессор выполняет вычисления для других потоков. Таким образом, технология эффективна для задач, которые не полностью загружают процессор.

В докладе представлены результаты исследования эффективности технологии Intel® HT для ресурсоёмких

приложений, к которым можно отнести рассматриваемую задачу расчёта нагрева пластины.

VII. ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ HYPER-THREADING

Сравним время выполнения и ускорения при использовании технологии Hyper-Threading на 8-ми ядерном процессоре Intel Xeon e5-2670.

На рис.5 и рис.6 приведены графики зависимости времени решения и ускорения от количества используемого числа нитей при размерности пластины 9000 на 9000 точек. Исследованы два режима работы приложения: T16 означает использование технологии Hyper-Threading и наличие 16-ти логических ядер, T8 означает отсутствие технологии Hyper-Threading и наличие 8-ми логических ядер соответственно.

Из графиков видно, что технология Hyper-Threading начинает влиять на время решения, начиная с числа нитей равным количеству ядер, однако использование технологии не улучшает общего времени решения и не повышает ускорения. Это объяснимо тем, что во время работы программы процессор практически полностью загружен полезной работой, простой минимизированы и не могут быть использованы для обработки других потоков.

Сравним ускорения, полученные при использовании технологии Hyper-Threading и без неё, для решения задачи меньшей размерности.

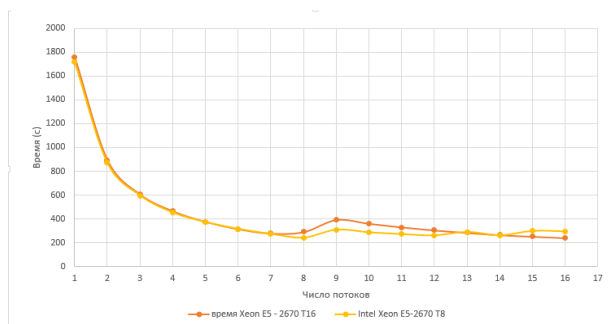


Рис. 5. График зависимости времени решения от числа потоков и технологии Hyper-Threading

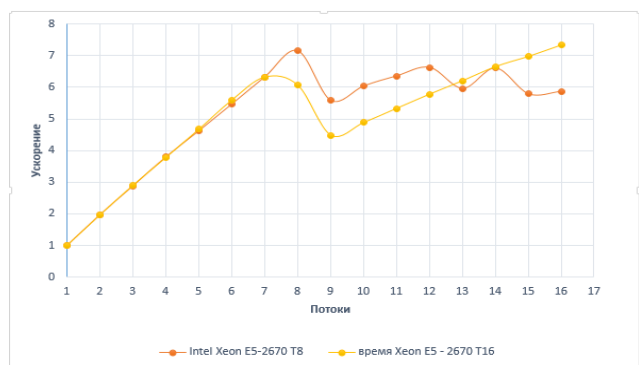


Рис. 6. График зависимости ускорения от числа потоков и технологии Hyper-Threading

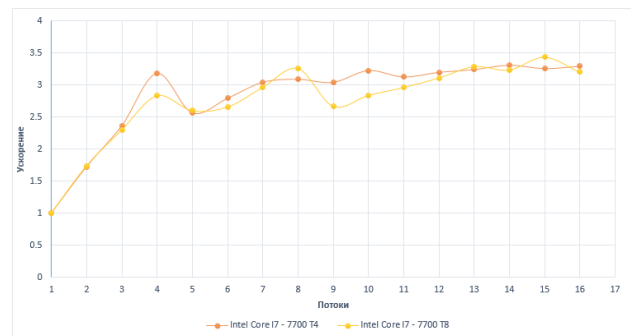


Рис. 7. График зависимости ускорения решения от числа потоков и технологии Hyper-Threading

На рис.7 приведены графики зависимости ускорения, полученные при 3000 итерациях для пластины размером 1000 на 1000 точек на четырех ядерном процессоре Intel Core i7 7700.

Из этого следует, что и для задач меньшей размерности технология Hyper-Threading не даёт ускорения ни при количестве нитей, меньшим или равным числу физических ядер процессора, ни при большем, чем число ядер.

VIII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В докладе представлено исследование параллельных процесс решения дифференциального уравнения второго порядка, описывающее теплообмен пластины с окружающей средой, проведенное для архитектур с общей памятью с использованием технологии OpenMP.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о целесообразности использования параллельных вычислений для исследуемой задачи.

В дальнейшем планируется выполнить параллельную реализацию процесса решения задачи для архитектур с распределенной памятью и сравнить результаты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В. Вычислительные методы для инженеров. Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 1994. – 544 с.
- [2] Шамаева О.Ю., Чернецов А.М. Основы параллельного программирования с использованием технологий OpenMP и MPI. Учебное пособие. – М.: Издательский дом МЭИ, 2016. – 84 с.
- [3] [Online] <https://www.intel.ru/content/www/ru/ru/architecture-and-technology/hyper-threading/hyper-threading-technology.html> [дата обращения : 03.05.2018]
- [4] Немнюгин С., Стесик О., Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем, – СПб.: БХВ – Петербург, 2002. – 400 с.: ил.
- [5] Антонов А.С. Параллельное программирование с использованием технологии OpenMP: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 2009. – 77 с.
- [6] Richard Gerber. Эффективное распределение нагрузки между потоками с помощью OpenMP - <https://software.intel.com/ru-ru/articles/more-work-sharing-with-openmp/> [дата обращения – 02.03.2018]

Применение программного обеспечения серии «Эколог» в подготовке специалистов в области ЭКОЛОГИИ

А.А. Завьялова, Н.В. Озерова, И.В. Королев
кафедра ИЭиОТ
НИУ «МЭИ»
Москва, Россия
AA.Zavyalova@yandex.ru

Аннотация — В статье рассмотрены возможности применения программного обеспечения серии «Эколог» в свете обеспечения формирования компетенций, соответствующих профессиональному стандарту «Специалист в области экологической безопасности (в промышленности)».

Ключевые слова — компетенции; расчет ПДВ; УПРЗА «Эколог».

I. ВВЕДЕНИЕ

Программное обеспечение серии «Эколог» – это пакет программ, с которыми на сегодняшний день работают многие экологи на производственных предприятиях и проектировщики. Данное программное обеспечение разработано для решения задач, касающихся вопросов охраны атмосферного воздуха, расчета акустического воздействия, расчета класса опасности отходов и др. На сегодняшний день эти программы используются многими специалистами в России и за ее пределами. Наличие навыка работы с данными продуктами часто является решающим при приеме на работу молодых специалистов.

II. ПРЕДПОСЫЛКИ ВНЕДРЕНИЯ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ СЕРИИ «ЭКОЛОГ» В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС

Проведение экологических расчетов для современных производственных объектов предполагает использование актуальной нормативно-правовой документации, а также огромного массива данных о распределении концентраций загрязнений. При этом предполагается использование довольно сложного математического аппарата, позволяющего учитывать особенности конкретного объекта, его расположения на местности, климатические особенности и т.д. В связи с этим появляется необходимость для введения в программу обучения программных продуктов, позволяющих проводить экологические расчеты. При этом, обязательным остается освоение «ручного» расчета с применением утвержденных методик.

Программные продукты, разработанные фирмой «Интеграл», объединены в серию «Эколог» для программного обеспечения природоохранной деятельности [1]. Программы серии «Эколог» решают самый широкий спектр задач в области экологии — это

задачи, связанные с охраной воздушного бассейна, безопасным размещением отходов производства и потребления и многие другие. Эти программы используют в своей работе более 6000 организаций России и стран СНГ, а также зарубежные организации. Программы помогают решать, как задачи отдельно взятого предприятия, так и экологические задачи городского и регионального уровней.

Программные продукты серии «Эколог» прошли необходимые согласования в НИИ Атмосфера, ГГО им. А.И. Воейкова, сертифицированы Госстандартом России и Министерством Природных Ресурсов России.

III. НЕОБХОДИМОСТЬ НАВЫКА РАСЧЕТА ПДВ

Для предприятий, осуществляющих выбросы в атмосферу основным экологическим параметром, определяющим деятельность предприятия, является предельно допустимый выброс (ПДВ) загрязняющих веществ. Нормативы ПДВ можно отнести к числу основных экологических нормативов, устанавливаемых для хозяйствующего субъекта, которые лимитируют максимально возможный объем выброса конкретного загрязняющего вещества в единицу времени. Производственно-хозяйственные нормативы качества окружающей среды относятся непосредственно к источнику воздействия, устанавливаются в связи с тем, что санитарно-гигиенические нормативы (предельно-допустимые концентрации) не указывают на источник воздействия и не регулируют его поведение. Эту функцию для атмосферного загрязнения выполняют нормативы ПДВ.

На данный момент ПДВ загрязняющих веществ промышленных предприятий регламентируются ГОСТ 17.2.3.02-2014 [2] и МРР-2017 [3]. Указанные документы позволяют определить (рассчитать) ПДВ для каждого конкретного источника загрязнения воздуха в атмосфере на предприятии из следующего условия: сумма создаваемых всеми предприятиями приземных концентраций данного вещества или их комбинация не должна превышать предельно допустимую концентрацию (ПДК). Таким образом, нормативы ПДВ загрязняющих веществ в атмосферу являются средством текущего контроля деятельности предприятия. С их помощью осуществляется государственный контроль за состоянием и охраной атмосферного воздуха, определение размеров

экологических платежей за загрязнение атмосферы (платы за негативное воздействие на окружающую среду), наложение штрафов и предъявление исков о возмещении ущерба при нарушении законодательства в области охраны атмосферы, оценки эффективности воздухоохраных мероприятий.

Расчет ПДВ предприятия предполагает учет существующего фонового загрязнения и совместное действие нескольких загрязнителей. В свою очередь формирование фонового загрязнения атмосферного воздуха обусловлено природными и антропогенными источниками загрязняющих веществ. Фоновые концентрации загрязнений зависят от временных факторов и характеризуются наличием годовых, сезонных, месячных, суточных и внутрисуточных метеорологических колебаний. Обычно в качестве фонового загрязнения рассматривают загрязнение атмосферы на больших расстояниях от его источников, однако с развитием промышленности и транспортной инфраструктуры зона распространения атмосферных примесей значительно расширяется.

В настоящее время все расчеты загрязнения атмосферы целесообразно проводить с использованием специальных программных средств - унифицированных программ расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА), которые являются приложением к МРР-2017. Без использования УПРЗА выполнение расчетов загрязнения атмосферы осуществлять сложно, так как МРР-2017 не содержит четкого алгоритма расчета загрязнения воздуха и применяет приближенные методы вычислений.

Опорным параметром для вычисления ПДВ является максимальное значение обусловленной предприятием приземной концентрации (C_m , мг/м³). Приземными принимаются концентрации осредненные по высоте 2 м. Расчет C_m должен быть максимально прост и доступен для специалистов, не имеющих специальных знаний в области атмосферной диффузии. Этот же принцип нашел отражение во всех действующих УПРЗА.

Результатами расчетов УПРЗА являются величины концентраций загрязняющих веществ в атмосфере. Концентрации загрязняющих веществ определяются в расчетных точках с заданными координатами, расположенных на границе санитарно-защитной зоны предприятия, в зоне жилой застройки и т.п. С помощью УПРЗА производят расчет концентраций загрязняющих веществ на расчетных площадках с определенным шагом расчетной сетки.

Концентрации, полученные путем проведения расчетов с помощью УПРЗА, являются максимальными, и превышаются на практике только в 2% случаев, которые могут быть отнесены к нетипичным для данной местности метеоусловиям. Максимальные концентрации в каждой точке выбираются за счет перебора для данной точки различных метеопараметров — скоростей и направлений ветра.

С помощью УПРЗА можно также осуществлять прогнозы риска здоровью населения.

IV. ПРИМЕНЕНИЕ УПРЗА «ЭКОЛОГ» В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

В НИУ «МЭИ» на кафедре ИЭ и ОТ в течении 5 лет в подготовке специалистов по направлению «Техногенная безопасность в электроэнергетике и электротехнике» применяется УПРЗА «Эколог». Стандартная версия программы предоставляет следующие дополнительные возможности:

- возможность рисования топоосновы по растровой подложке;
- расширенные возможности графического блока, позволяющие вводить и передавать для последующего расчета выбросов информацию о дорожно-транспортной сети;
- совместимость (импорт) топоосновы со следующими графическими форматами: AutoCAD dxf, mid/mif, shp;
- передача данных об источниках и полях расчетных концентраций в программы ArcInfo, AutoCAD, MapInfo и других в виде слоя векторного формата.

К основному модулю могут подключаются дополнительные, позволяющие учитывать наличие застройки, карту автомобильных дорог, рассчитывать таблицы предельно-допустимых выбросов и т.д.

Студенты получают задание, позволяющее смоделировать расчет приземных концентраций для реальных объектов (Рис. 1).



Рис. 1. Блок-схема этапов выполнения расчетного задания

Выполнение задания начинается с создания «Нового города» и ввода метеорологических и геоинформационных параметров. Если данный город имеет районное деление, то далее переходят к созданию нового района. Затем вводятся данные для предприятия, цехов и т.д.

На следующем этапе вводятся данные об источниках загрязнения атмосферы. Здесь указываются наименование, тип источника (точечный, линейный или площадной), площадка (цех), геометрические параметры источника, параметры газо-воздушной смеси (объем, скорость выхода, температура), локальные координаты источника, нормативная санитарно-защитная зона источника и коэффициент рельефа.

Кроме вышеперечисленных данных, необходимо указать названия веществ, выбрасываемых источником, максимальные разовые и валовые выбросы этих веществ и их коэффициенты оседания.

Для проведения расчета также необходимо настроить параметры расчетной площадки, в рамках которой будет проводиться расчет.

После того, как будет произведен расчет, откроется окно программы «Экограф» (Рис. 2), в котором будут отображены поля приземных концентраций загрязняющих веществ в границах расчетной площадки.

Полученные карты можно сохранить в файл формата JPEG.

«Экограф» является отдельной программой. При ее запуске основной модуль УПРЗА «Эколог» не прекращает работу и просмотреть результаты можно не только в графической, но и в табличной форме.

При этом можно посмотреть, как список загрязняющих веществ с расчетом приземных концентрации в узлах расчетной площадки, так и таблицу с результатами по конкретному загрязняющему веществу (Рис. 3).

С целью повышения гибкости в проведении расчетов рассеивания в программе введено понятие варианта исходных данных. Таким образом, можно предусмотреть различные режимы работы предприятия и для каждого провести расчет рассеивания, что в свою очередь позволяет составлять множество вариантов расчетных заданий.

Выполнение студентами расчетных заданий с помощью УПРЗА «Эколог» позволяет осваивать типовые методики расчетов рассеивания загрязняющих веществ, проводить комплексный анализ результатов, составлять прогнозы. Одновременно учитываются современные тенденции развития техники и технологий в области обеспечения охраны окружающей среды, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий. Поэтапное выполнение заданий формирует компетенции выпускников, которые позволят им стать высококвалифицированными и востребованными специалистами [4].

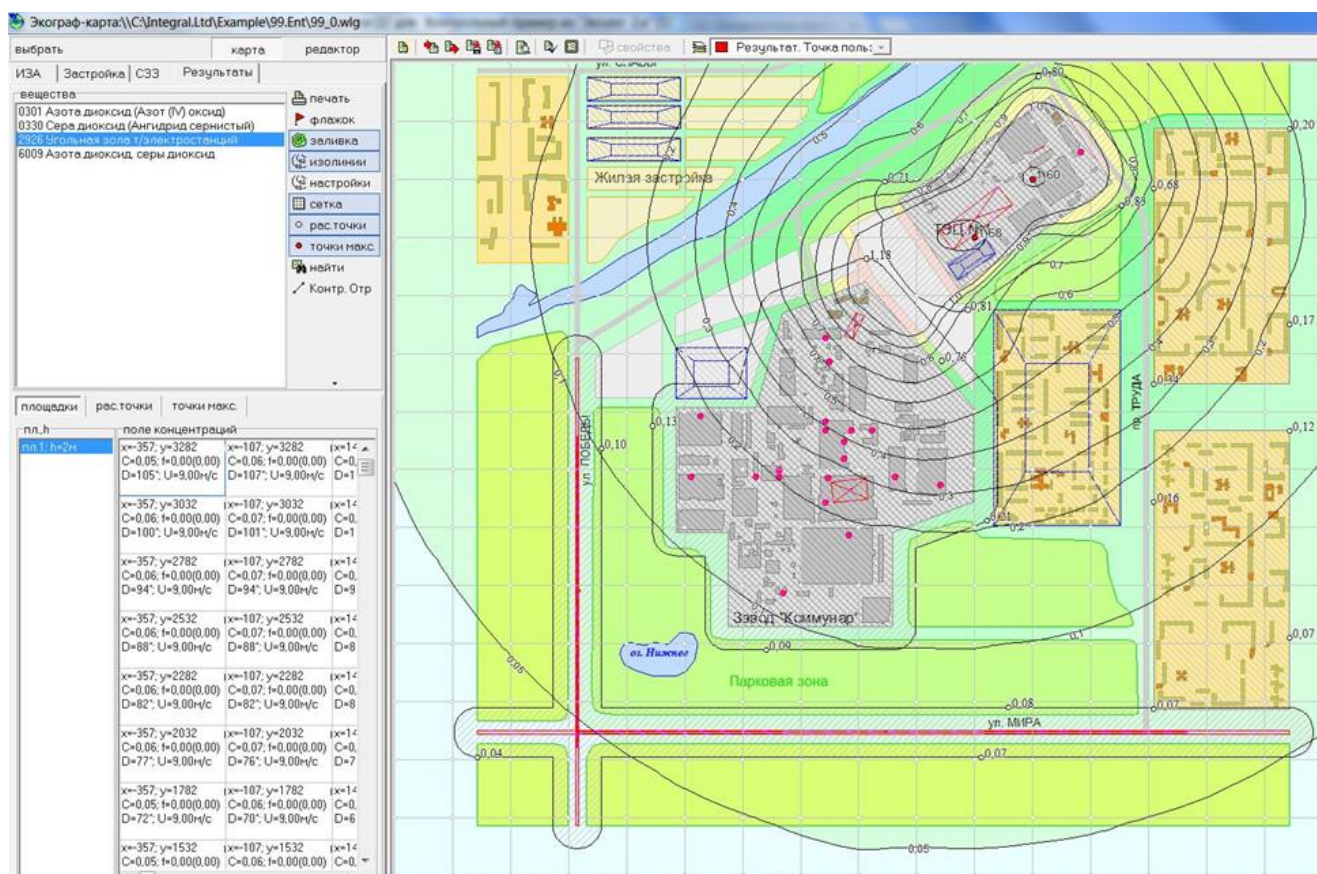


Рис. 2. Графическое представление результатов расчета

Рис. 3. Табличное представление результатов расчета по отдельному веществу

V. ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ

Современные профессиональные стандарты и квалификационные рамки базируются не на должностных инструкциях, а на обобщенных компетенциях, требуемых от работников в соответствии с видами и задачами профессиональной деятельности. Это обусловлено изменением структуры рынка труда и самого характера профессиональной деятельности: высоким темпом обновления технологий, возникновением новых видов деятельности и, соответственно, видов занятости. Очевидно, что система профессионального образования не могла не принять вызовы современного рынка труда.

Понятие «компетенция» относится к обучающемуся (выпускнику) и является целью образовательной программы, выраженной языком, понятным работодателю (компетенции выпускников определяются исходя из видов и задач профессиональной деятельности). Компетенции, как правило, не могут быть целиком сформированы одной дисциплиной или практикой, приобретение обучающимся компетенций – это циклический интегративный процесс, в котором кроме содержания образования важны также формы и технологии обучения и преподавания.

Специфика области профессиональной деятельности, а также проблемно-ориентированные методы обучения и междисциплинарный подход в сфере инженерной защиты окружающей среды, определяют данную предметную область как совокупность гуманитарных, естественнонаучных, технических и социально-экономических знаний. Результаты обучения при этом определяются комбинированным набором полученных компетенций: общекультурных (ОК), базовых инженерных и профессиональных (ПК).

В таблице 1 представлены компетенции, формируемые с помощью применения УПРЗА «Эколог» в учебном процессе. Формируемые профессиональные компетенции соответствуют профессиональному стандарту «Специалист в области экологической безопасности (в промышленности)» [4].

Таблица 1. ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ ЭКОЛОГООРИЕНТИРОВАННОГО МИРОВОЗРЕНИЯ

№ п/п	Компетенции выпускника	Навык, формируемый УПРЗА «Эколог»
1.	способность использовать основы философских знаний для формирования мировоззренческой позиции (ОК-1)	прогнозы риска здоровью населения
2.	способность использовать основы экономических знаний в различных сферах жизнедеятельности (ОК-3)	расчет эколого-экономической эффективности производства
3.	способность использовать основы правовых знаний в различных сферах деятельности (ОК-4)	ориентирование в нормативно-правовой базе в области охраны ОС
4.	способность принимать участие в проектировании объектов профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией, соблюдая различные технические, энергоэффективные и экологические требования (ПК-3)	нормирование негативного воздействия на ОС
5.	готовностью обосновывать технические решения при разработке технологических процессов и выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения (ПК-21) *	знание процессов рассеивания загрязнения атмосферы и применение методов и аппаратов очистки воздуха
6.	готовностью контролировать соблюдение требований безопасности жизнедеятельности (ПК -36) *	расчет максимальной приземной концентрации загрязнителя
7.	готовностью изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования (ПК-39)	применение методов и аппаратов очистки воздуха

* - компетенции для направления «Техногенная безопасность в электроэнергетике электротехнике»

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практика проведения расчетов с помощью УПРЗА «Эколог» позволяет сформировать те компетенции выпускников, которые помогут им не только состояться в профессиональной карьере, но и стать зрелой личностью в современном обществе, не живущей сиюминутными заботами, без ясной цели впереди, а развивающей научно-технический прогресс с учетом его влияния на окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Сайт фирмы «Интеграл» (Санкт-Петербург), База Знаний Фирмы Интеграл — URL: <http://www.integral.ru>. Дата обращения 27.06.2018
- [2] ГОСТ 17.2.3.02-2014 Правила установления допустимых выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями.
- [3] Приказ Минприроды России от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» (МРР-2017).
- [4] Портал ФГОС высшего образования — URL: <http://fgosvo.ru/>. Дата обращения 27.06.18

Классификация методов детектирования компрометации секретных ключей

Запечников Сергей
Владимирович

Кузьмичёва Светлана
Алексеевна

Кирякина Марина Алексеевна

Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ»
Москва, Россия

Аннотация — В настоящей работе авторами рассмотрена такая область информационной безопасности, как детектирование компрометации секретных ключей. Авторами обоснована актуальность и описана проблематика исследуемой области, проведена классификация методов детектирования компрометации секретных ключей, проанализированы основные механизмы детектирования компрометации методом поведенческого анализа.

Ключевые слова — детектирование компрометации, протокол, поведенческий анализ, блокчейн, хеш-цепочка, дрейтинг-ключи, сертификат, прозрачность сертификата, сертификат *SSL*.

I. ВВЕДЕНИЕ

Информационные технологии заняли важное место в современном мире. Совершенствуются способы хранения, передачи и использования информации. С уверенностью можно заявить - ключевым активом нашей жизни является информация. Однако бурное развитие наблюдается и в способах зловредного обращения с информацией, злоумышленники используют всё новые механизмы атак.

Повсеместная информатизация затрагивает и инженерное образование: внедряются современные программные комплексы, специализированное программное обеспечение (ПО). Защиту данных и ПО таких комплексов, а также информационную безопасность (ИБ) сетей в целом обеспечивают решения по защите информации. Средства защиты развиваются стремительно, однако до сих пор актуальным является класс проблем по обнаружению компрометации секретных ключей. Именно решению обозначенной задачи посвящена область научной деятельности авторов работы.

Заметим, будущим инженерам необходимо быть информационно грамотными, знать основы информационной безопасности, использовать современное и технологичное ПО, ведь именно эти люди зачастую стоят во главе управления критическими инфраструктурами, от их квалификации зависит безопасность всего человечества.

II. АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

Пользователи информационных ресурсов зачастую определяют стратегию защиты с использованием средств защиты информации, работающих посредством сбора, анализа и реагирования на события (решения классов SIEM (Security information and event management), DLP (Data Leak Prevention), IDM&IAG (Identity Management & Identity and Access governance) и тд). Все эти решения обрабатывают различные события систем, сети, в том числе анализируют журналы логирования информационных систем, дают предупреждения относительно использования информации и прав доступа. Однако при неверном реагировании или неверной интерпретации полученных сведений, возможно получить либо результат false positive (т.е. ложное срабатывание), либо стать жертвой успешной атаки.

Стоит отметить, промышленное использование систем ИБ достигло значительного прогресса, однако на данный момент существуют проблемы, не позволяющие обрабатывать инциденты ИБ достаточно качественно, избегая ошибочных суждений либо отсутствия реакции службы ИБ на критические события.

Рассматривая ситуацию в целом, возможно выделить следующие проблемы:

- невозможность обнаружения злоумышленника на ранних стадиях атаки;
- невозможность обнаружения скомпрометированных учетных записей (УЗ) и последующего несанкционированного доступа к информационным системам;
- высокая длительность и сложность расследований инцидентов информационной безопасности.

Необходимо отметить, пароли учётных записей могут быть скомпрометированы различными способами:

- из-за компрометации системы, хранящей/использующей их;
- из-за ошибок ПО, вирусов;
- из-за действий криптоаналитика.

Таким образом, возникает потребность детектирования компрометации паролей и принятия действий, к примеру, отзыва паролей (либо в целом учетной записи), добавления учетной записи в черный список («black list») или даже прекращения действия системы, в которой обнаружена компрометация. Как же возможно обнаружить компрометацию секретных ключей?

Исследователи в сфере ИБ выделяют область изучения – разработка и использование протоколов детектирования компрометации секретных ключей. Использование такого подхода к защите учетных записей позволяет:

- автоматически определить был ли секретный ключ скомпрометирован;
- автоматически приостановить использование скомпрометированной информации в системе.

Работа упомянутых выше классов решений ИБ по противодействию действиям злоумышленников может быть усовершенствована дополнением защитной функции обнаружения компрометации секретных ключей.

Настоящая научно-исследовательская работа посвящена классификации методов детектирования компрометации секретных ключей.

Детектирование компрометации паролей – комплексная задача, требующая глубокого понимания сути проблемы, умения взглянуть на происходящее глазами злоумышленника.

Представим ситуацию, когда злоумышленник получил доступ к секретным ключам, и использует эту информацию. Чаще всего скомпрометированная учетная запись начинает использоваться, чтобы авторизоваться на сервисе, запросить какие-то документы и т.д. Возможно выделить несколько направлений контроля для определения «подозрительных» УЗ:

1) *Хранение информации последнего посещения пользователя («last logon»)*

Позволит уведомить пользователя о деталях его последних подключений;

2) *Использование механизмов Certificate Transparency (публичного аудита использования выпущенных сертификатов доверия)*

Позволит определить неправильное использование ключевой информации, однако решение о легитимности использования информации не принимается алгоритмами;

3) *Определение компрометации на уровне протокола*
Позволит обнаружить компрометацию и автоматически инициировать процесс отзыва скомпрометированных ключей в системе.

Предположим, что злоумышленник получил учетную запись, ее пароль и совершает некоторый набор действий от имени легитимного пользователя. Есть способ отличить действия злоумышленника – поиск девиации. Таким образом, задача детектирования

компрометации секретных ключей сводится к обнаружению аномального поведения, поднимая вопрос легитимного использования прав, предусмотренного спецификацией протокола, и отличных, «сторонних» действий.

На основе изучения материалов по направлению исследования [1-5] для детектирования компрометации предлагается использование протоколов, работа которых строится по принципу работы Машины Тьюринга.

Рассмотрим следующую модель работы системы, способной детектировать компрометацию ключей: введем определение специальных «агентов» для обнаружения компрометации, каждый из которых имеет некоторое ассоциированное с ним состояние, доступ к генератору случайных чисел, а также обладает возможностью коммуницировать с другими участниками сети только посредством приема и отправки сообщений. Агенты выполняют действия согласно «протоколу». Протокол – детерминированный алгоритм, способный работать в вычислительной машине Тьюринга, получающей на вход состояние агента и возвращающей действие, предназначенное для выполнения. Под протоколом в данном случае может приниматься набор протоколов.

В качестве модели злоумышленника предполагается схожая с агентами сущность, но с возможностью удалять сообщения из сети и изменять состояния агентов.

Рассмотрим основные принципы работы такой модели:

Принцип 1

Сообщения протокола должны быть тесно связаны с предыдущими сообщениями. Это помогает максимизировать возможность обнаружения какого-либо неправильного использования ключа и предотвращает ошибочную реакцию на поведение после несанкционированного использования ключей (например, атаки).

Принцип 2

Включает уникальные и непредсказуемые значения в сообщениях. Это помогает установить противоречащие наблюдения, и обеспечить ситуацию, при которой злоумышленник не смог бы правильно предсказать, что сделает агент в дальнейшем. Если вносимые значения не уникальны, становится возможным получать одинаковые результаты наблюдений за различными сообщениями, отправленными по адресам разных точек, что делает их неразличимыми. Поэтому рекомендуется увеличивать энтропию таких значений.

Принцип 3

Максимизировать распространение данных, которые другие стороны могут принять за противоречивые или необычные. Обнаружение компрометации требует наблюдений, поэтому важно предпринять действия для уменьшения времени на эту операцию. В идеальном случае некоторые наблюдения могут быть переданы всем участникам, чтобы повысить их осведомленность о происходящем, (например, используются при

распространении транзакции в биткойн-подобных системах [1,2,3] для обнаружения двойных расходов), но для многих приложений это невозможно. Это подчеркивает потребность в компромиссных решениях, таких как Gossip-протокол (например, [4]).

Принцип 4

Следует определить, какие агенты являются инициаторами обмена сообщениями о противоречиях в системе, и следить за такими сообщениями в будущем. Агенты, которые являются инициаторами обмена сообщениями, могут обнаружить больше чем агенты, которые фиксируют только противоречия для себя.

Рассмотрев основные принципы детектирования согласно описанной модели, возможно сделать вывод: целесообразно максимально увеличить разнообразие наблюдения.

III. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ

В данной научной работе авторами проведена классификация методов детектирования, дана качественная оценка эффективности этих методов. В работе рассмотрен следующий перечень методов:

- метод поведенческого анализа активности пользователя;
- метод использования счетчика;
- метод использования блокчейн-технологии;
- метод использования хеш-цепочки для индикации компрометации;
- бесключевой SSL;
- drifting-ключи;
- прозрачность сертификата.

Рассмотрим каждый метод отдельно, выделяя его основные особенности.

1). Метод поведенческого анализа активности пользователей

Задача поведенческого анализа активности пользователя для детектирования компрометации секретных ключей сводится к обнаружению аномального поведения пользователя и системы в целом, поднимая вопрос легитимного использования прав, предусмотренного спецификацией протокола, и отличных, «сторонних» действий.

На основе изучения работы по направлению исследования [5] для детектирования компрометации методом поведенческого анализа предлагается классификация выявления компрометации секретов тремя основными механизмами. Их работа по детектированию компрометации основана на наблюдении за взаимодействием пользователей с сетью. Разница механизмов заключается в действиях при обработке информации механизмами.

Механизм №1

Наблюдение за каждым отдельным сообщением в наборе, которое не зависит от последовательности следования сообщений, и не требует информации о предыдущих событиях.

Механизм №2

Наблюдение за последовательными сообщениями в потоке с учетом информации о предыдущих сообщениях, с определением противоречат ли им вновь наблюдаемые сообщения.

Механизм №3

Необычное наблюдение (Acausal observation) – наблюдаемые сообщения противоречат обычной активности. Это допустимо только для пользователей, действия которых отслеживаются и связаны с наблюдаемой последовательностью.

Метод поведенческого анализа является одним из наиболее перспективных для изучения направления детектирования компрометации секретных ключей. Как наиболее комплексный, он позволяет анализировать большой спектр параметров и показаний различных систем сети.

2). Метод использования счетчика

Счетчик - параметр, увеличиваемый при передаче каждого последующего сообщения между участниками.

Если атакующий получает доступ к ключу шифрования, используемому в системе одним из участников, а также текущему значению счетчика, и передает новое сообщение от лица этого участника, то значение счетчика у участников обмена будет разное. Таким образом возможно обнаружить, что ключ был скомпрометирован. Однако, это только частный случай, поскольку злоумышленник, знающий оба ключа участников обмена, может скомпрометировать всю систему обмена информацией, синхронизируя значения счетчиков у участников. В таком случае невозможно детектировать компрометацию ключа.

В связи с этим, использование счетчика для детектирования компрометации является небезопасным решением.

3). Использование технологии распределенного реестра

Определение: Блокчейн (Block chain) – это публичная база всех транзакций, когда-либо совершенных в системе, где в базе хранится результат проведения операций над определенным видом транзакций, а каждая последующая операция зависит от предыдущих.

Блокчейн возможно использовать для хранения хеш-кодов паролей, таким образом контролируя их целостность. Поэтому, в случае компрометации секретных ключей, хранящихся в блокчейн, злоумышленник не сможет изменить значение ключа, чтобы это осталось незамеченным. Как следствие,

использование блокчейн технологии совместно с методами детектирования компрометации позволит более эффективно контролировать использование ключей.

Однако введение описываемой технологии связано с необходимостью хранить дополнительно базу данных блокчейн, обеспечивая доступ к ней для валидации значения хранящегося хеша.

4). *Метод использования хеш-цепочки для индикации компрометации*

Значение хеш-цепочки на основе nonce (одноразовый код, составленный случайным образом) является параметром, позволяющим детектировать компрометацию в описываемом методе.

При отправке информации участник обмена отправляет сообщение, которое включает в себя новое значение nonce и хеш-цепочку предыдущих nonces, используемых пользователем во время всего обмена. Затем происходит проверка соответствия хэш-цепочки. На этом моменте возможно обнаружение злоупотребления ключом, так как сеанс, выполняемый злоумышленником, оказывает необратимое влияние на состояние хэш-цепочки.

Данный метод использования хеш-цепочки авторами работы обозначен как перспективный для изучения в силу своей организованности и простоты использования. Однако встаёт вопрос об оценке увеличения объема передаваемых данных при использовании хеш-цепочек, а также оценки нагрузки на аппаратную составляющую участников взаимодействия. Необходимо также отметить необходимость изучения возможности использования легковесных версий таких алгоритмов, применимых для мобильных устройств.

Далее приведены примеры механизмов детектирования компрометации, используемые для защиты ключей на аппаратном уровне, а также метод, предложенный компанией Google для выявления фактов компрометации.

5). *Бесключевой SSL*

Бесключевой протокол SSL – это продукт, разработанный компанией CloudFlare. Целью данного метода является предоставление услуг Content Delivery Network (CDN) веб-службам, которые не могут или не хотят публиковать закрытые ключи своих сертификатов CloudFlare [6]. Это метод, в котором происходит взаимодействие серверов CloudFlare с предоставленным клиентом ключевым сервером, который расшифровывает ключи, необходимые CloudFlare для обмена ключами, как если бы они обладали закрытым ключом клиента.

6). *Дрифтлинг-ключи (Drifting Keys)*

Дрифтлинг-ключи (Drifting Keys) - это простой подход к обнаружению компрометации аппаратного устройства, когда злоумышленник получил копию предварительно сгенерированных секретных ключей, хранящихся в

защищенной области памяти устройства. Если два непоследовательных ключа одного и того же устройства обнаружены приемником, тогда происходит выявление факта того, что предварительно сгенерированные ключи на стороне отправителя (то есть устройства) были скомпрометированы и используются злоумышленником для выдачи себя за устройство.

7). *Прозрачность сертификата (Certificate transparency)*

Прозрачность сертификата – это метод, предложенный компанией Google, в связи с ростом выпуска SSL/TLS сертификатов, использовавшихся в мошеннических целях. Чаще всего это происходило вследствие ошибок центров сертификации при валидации или же умелой подделке данных со стороны мошенников.

Целью разработчиков данного метода является устранение проблем выпуска мошеннических SSL сертификатов. Использование метода прозрачности сертификатов позволяет достичь этого путем создания открытой схемы для мониторинга процесса выдачи SSL сертификатов и их аудита.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе авторами рассмотрена область детектирования компрометации секретных ключей для обеспечения безопасности инженерного ПО. Также проведена классификация методов детектирования компрометации секретных ключей.

Авторами обозначены наиболее перспективные для изучения направления исследования. Дальнейшим направлением исследования является улучшение существующих методов, разработка смежных способов детектирования компрометации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] I. Eyal, A. E. Gencer, E. G. Sirer, and R. V. Renesse, "Bitcoin-NG: A scalable blockchain protocol," in 13th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI 16). Santa Clara, CA: USENIX Association, Mar. 2016, pp. 45–59. D. Basin, C. Cremers, T. H.-J. Kim, A. Perrig, R. Sasse, and P. Szalachowski, "ARPKI: Attack resilient public-key infrastructure," in Proc. of the ACM Conference on Computer and Communications Security, ser. CCS '14. New York, NY, USA: ACM, 2014, pp. 382–393.
- [2] E. Kokoris-Kogias, P. Jovanovic, N. Gailly, I. Khoffi, L. Gasser, and B. Ford, "Enhancing bitcoin security and performance with strong consistency via collective signing," in 25th USENIX Security Symposium, USENIX Security 16, Austin, TX, USA, August 10-12, 2016., 2016, pp. 279–296. M. R. Carr, "Smart card technology with case studies," in Proc. International Carnahan Conference on Security Technology. IEEE, 2002, pp. 158–159.
- [3] S. Nakamoto, "Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system," 2009.
- [4] L. Chuat, P. Szalachowski, A. Perrig, B. Laurie, and E. Messeri, "Efficient gossip protocols for verifying the consistency of certificate logs," in Proceedings of the IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS), September 2015.
- [5] M. Abadi and R. M. Needham, "Prudent engineering practice for cryptographic protocols," IEEE Trans. Software Eng., vol. 22, no. 1, pp. 6–15, 1996.
- [6] Keyless SSL: The Nitty Gritty Technical Details

Количественная оценка инновационности технических решений в инженерном образовании

В.К. Иванов, А.Г. Глебова, И.В. Образцов
Тверской государственный технический университет
Россия, Тверь
mtivk@mail.ru, nauka_rf@mail.ru, sunspire@list.ru

Аннотация — В статье рассмотрен подход к количественному определению инновационности компонентов технической системы. Показана правомерность этого подхода на примерах экспертной оценки компонентов электронной информационно-образовательной среды университета и измерения значений показателей инновационности технических решений в инженерном образовании. Представлено обоснование и описана программная реализация групповой обработки результатов оценки инновационности объектов.

Ключевые слова — инновационность; оценка; новизна; востребованность; электронная информационно-образовательная среда; техническое решение; инженерное образование

I. ВВЕДЕНИЕ

По результатам опроса топ-менеджеров университетов [1], около 66% из них считают онлайн-образование стратегически приоритетным направлением. В целом тенденция в мире такова: чем больше в вузе студентов и чем выше уровень предлагаемых вузом программ (магистратура, аспирантура, докторантура, программы профессиональной переподготовки), тем чаще такой вуз использует электронное обучение.

Одной из явных тенденций сегодня в вузовской подготовке инженерных кадров является перевод изучения дисциплин в формат смешанного обучения (blended learning), развитие которого без использования инновационных образовательных решений невозможно. Тем более, что Федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС) высшего образования для всех уровней и направлений подготовки в требованиях к условиям реализации образовательных программ предусматривают [2, раздел VII] обязательное применение электронной информационно-образовательной среды (ЭИОС) организации, которая обеспечивает инфраструктурную основу образовательного процесса в университете.

С другой стороны, студенты – будущие инженеры – учатся исследовать, проектировать, разрабатывать и внедрять технические системы различной сложности и новизны. Очевидно, что информационные технологии должны активно использоваться при оценке инновационности этих инженерных решений.

В статье рассмотрен подход к количественному определению инновационности компонентов технической

системы. Показана правомерность этого подхода на примерах экспертной оценки компонентов электронной информационно-образовательной среды университета и измерения значений показателей инновационности технических решений в инженерном образовании. Представлено обоснование и описана программная реализация групповой обработки результатов оценки инновационности объектов.

II. ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ИННОВАЦИОННОСТИ

Анализ источников [3, 4, 5, 6], посвященных различным аспектам инновационного развития, показывает, что авторы в понятие "инновация" всегда включают такие коннотаты, как: новый, научный, повышающий эффективность, приносящий прибыль. Исходя из этого, под инновацией будем понимать продукт (объект), обладающий совокупность свойств, определяющих научно-техническую новизну, востребованность и имплементируемость.

Научно-техническая новизна – значительные улучшения, новый способ использования или предоставления продукта (компонента системы) или технологии. Субъектами новизны являются потенциальные пользователи или сам производитель.

Востребованность продукта – его потребность потенциальному потребителю, осознанная им как необходимость и оформленная в спрос. Другими словами – это способность продукта, претендующего на инновационность, удовлетворять потребности потенциального пользователя. Может определяться через оценку запросов потенциальных пользователей и/или оценку использования функциональных аналогов.

Имплементируемость продукта – определяет технологическую обоснованность, физическую осуществимость и способность продукта быть интегрированным в систему для получения желаемых эффектов.

Важный вывод, который следует из этих определений, состоит в том, что инновационность – это системное свойство, то есть, инновационность продукта или услуги должна рассматриваться в рамках его системных взаимодействий, степени влияния компонента на субъект и на внешние по отношению к нему объекты. При этом важно понимать динамику показателей (роста, стабильности или снижения).

Отметим, что рассмотрение ряда свойств продуктов или услуг, в общем случае также определяющих инновационность, выходит за рамки настоящей статьи. Это наличие патента (или патентоспособности), финансовая обоснованность, законодательная (юридическая) допустимость.

III. ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ИННОВАЦИОННОСТИ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ

Рассмотрим применение описанного подхода к определению инновационности компонентов технической (информационной) системы с использованием экспертных оценок. Примером такой системы является электронная информационно-образовательная среда университета. Согласно части 3 статьи 16 Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ (ред. от 07.03.2018) «Об образовании в Российской Федерации», электронная информационно-образовательная среда включает в себя электронные информационные ресурсы, электронные образовательные ресурсы, совокупность информационных технологий, телекоммуникационных технологий, соответствующих технологических средств и обеспечивает освоение обучающимися образовательных программ в полном объеме независимо от места нахождения обучающихся. Приказ Минобрнауки России от 23.08.2017 №816 «Об утверждении Порядка применения организациями, осуществляющими образовательную деятельность, электронного обучения, дистанционных образовательных технологий при реализации образовательных программ» предусматривает возможность реализации учебными заведениями образовательных программ или их частей с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий на базе своей ЭИОС и (или) с использованием ресурсов иных организаций.

ЭИОС является интегрированной информационной системой, обеспечивающей совместную работу разнородных компонентов за счет общих оперативных и нормативно-справочных данных, а также применения общих программных и пользовательских интерфейсов. Архитектура, платформа для реализации и исчерпывающий состав функциональных компонентов ЭИОС Тверского государственного технического университета (ТвГТУ) неоднократно обсуждался на различных площадках (см., например, [7]).

Можно выделить следующие компоненты ЭИОС, которые мы рассматриваем как инновационные механизмы: среда электронного обучения, база данных учебно-методических материалов, электронное портфолио обучающегося, подсистема мониторинга хода и результатов учебного процесса. Каждый из компонентов ЭИОС может быть охарактеризован с позиций его инновационности.

Экспертные оценки значений показателей инновационности (новизна, востребованность, имплементируемость) должны проводиться участниками образовательного процесса (студенты, преподаватели, администрация). Используются основная («низкая»,

«средняя», «высокая», «не имеет значения») и вспомогательная («стабильная», «растущая», «снижающаяся») оценочные шкалы.

Экспертная оценка уровня инновационности ЭИОС осуществляется путем электронного анкетирования экспертов из нескольких групп с последующей статистической обработкой результатов опроса в соответствии с теорией свидетельств, целесообразность применения которой обусловлена неточностью (интервальностью) исходных экспертных оценок. Далее в статье описывается программная реализация алгоритма совместной обработки результатов экспертных оценок и/или измерений показателей инновационности, основанная на теории свидетельств (см. разд. V).

Если экспертным оценкам поставить в соответствие числовые значения и назначить весовые коэффициенты, показывающие важность показателя относительно других, то общий показатель инновационности компонента ЭИОС, группы компонентов ЭИОС или ЭИОС в целом будет выглядеть так:

$$In = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I w_{i,j,k} V_{i,j,k} \quad (1)$$

где In – интегральный индекс инновационности группы компонентов ЭИОС; K – количество компонентов ЭИОС; J – количество групп пользователей ЭИОС ($J=3$, если учитываются группы пользователей «студенты», «преподаватели», «администрация»); I – количество показателей инновационности ($I=3$, если учитываются показатели инновационности «новизна», «востребованность», «имплементируемость»); $w_{i,j,k}$ – весовой коэффициент для i -го показателя инновационности, j -й группы пользователей и k -го компонента ЭИОС, $\sum_{k=1}^K w_k = \sum_{j=1}^J w_j = \sum_{i=1}^I w_i = 1$; $V_{i,j,k}$ – числовое значение i -го показателя инновационности, для j -й группы пользователей и k -го компонента ЭИОС (используются значения из основной и вспомогательной шкал).

Использование индекса инновационности компонентов ЭИОС In целесообразно в следующих случаях:

- Оценка научно-технического уровня компонентов и ЭИОС в целом.
- Планирование инновационного развития ЭИОС (не просто улучшения отдельных показателей, а изменение внутрисистемных взаимодействий).
- Генерация новых проектных решений.
- Оценка степени реализации цели внедрения и использования ЭИОС.

Создание и использование в образовательном процессе современной ЭИОС с высоким уровнем инновационности

(высоким уровнем научно-технической новизны, востребованности и имплементируемости) позволит вузу:

- а) обеспечить преподавателей и студентов новыми средствами доступа к образовательным ресурсам;
- б) трансформировать образовательный процесс за счет внедрения электронных образовательных ресурсов и виртуальных лабораторий, средств коллективной работы, образовательного контента в сети интернет.

IV. ОЦЕНКА ИННОВАЦИОННОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ

Другим применением указанного подхода к определению инновационности продуктов или технологий является использование непосредственных измерений значений индикаторов, которые могут служить количественными оценками отдельных свойств инновационности. Оценка инновационности технических решений в инженерном образовании особенно актуальна в свете стратегии развития промышленности регионов, которая разработана в соответствии с требованиями Правительства РФ [8]. Мы предлагаем к обсуждению применение этого подхода в процессе осуществления образовательной деятельности – этот подход позволит правильно оценивать результаты исследования, проектирования, разработки сложных технических систем; внести более четкое понимание, что такое инновационность технической системы.

Рассмотрим идею измерения новизны объекта. Предположим, что некоторое хранилище данных содержит разнообразную и слабоструктурированную, как правило, текстовую информацию об этом и других объектах. Это могут быть специализированные базы данных и/или ресурсы Интернет в целом. Хранимая информация может быть классифицирована по временным интервалам. Для данного объекта имеется поисковый паттерн - набор ключевых слов и понятий, который наиболее точно описывает объект со следующих сторон: механизм применения (функционирования) или конструкция, результат или условия применения (функционирования), важные характеристики (свойства, материал, состав). Также имеется маркер - терм, определяющий область применения или действия объекта.

Коэффициент новизны объекта \mathbb{N} определяется следующим образом:

$$\mathbb{N} = 1 - \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q N_q \quad (2)$$

где N_q – количество единиц хранения (документов, записей), найденных в используемом хранилище при выполнении q -го поискового запроса, сгенерированного из поискового паттерна; Q – количество поисковых запросов, сгенерированных из поискового паттерна; N_m – количество

единиц хранения, найденных в используемом хранилище с использованием маркера. Значение \mathbb{N} нормируется на диапазон $[0;1]$.

Проведенные нами исследования параметров технических решений по предлагаемой выше схеме подтверждают ее обоснованность.

На рис. 1 и 2 в качестве примера представлены результаты оценки новизны изобретений из списка 10-ти лучших изобретений 2017 года (список ТОП-10), подготовленного экспертами Роспатента [9], и 10-ти случайно выбранных изобретений, зарегистрированных в 2017 году.

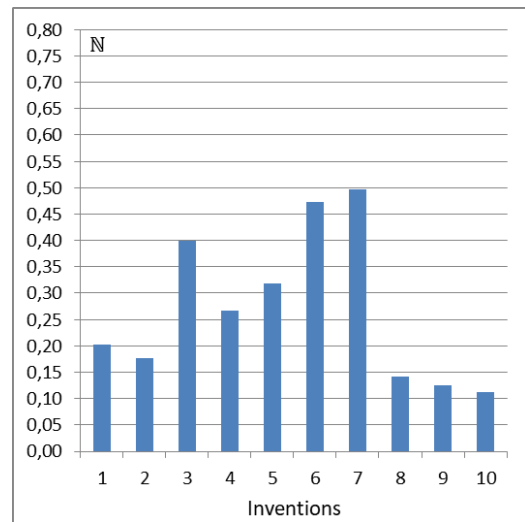


Рис. 1. Коэффициенты новизны \mathbb{N} для списка ТОП-10 изобретений 2017 г., $\bar{\mathbb{N}} = 0,27$.

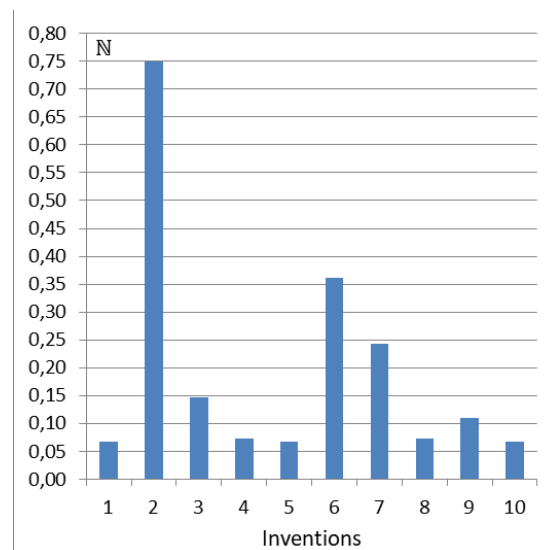


Рис. 2. Коэффициент новизны \mathbb{N} для случайно выбранных изобретений 2017 г., $\bar{\mathbb{N}} = 0,20$.

Рассчитывался коэффициент новизны \bar{N} для каждого изобретения и среднее значение \bar{N} для группы. Поиск паттернов готовился вручную. Использовалась открытая база данных патентов <http://www1.fips.ru>. Полученные в результате экспериментов и расчетов значения \bar{N} показывают, что новизна изобретений из списка ТОП-10 ожидаемо выше, чем новизна случайно отобранных изобретений.

Также интересные выводы позволяет сделать анализ новизны технических решений, рассчитанной за определенный период. На рис. 3 в качестве примера представлены результаты экспериментов, проведенных для определения коэффициента новизны \bar{N} технического решения, описанного в патенте «Способ производства шоколадной массы».

Также использовалась база данных патентов <http://www1.fips.ru>. Коэффициент новизны \bar{N} определялся для указанного патента отдельно по подмножествам базы данных, соответствующим годам регистрации патентов (использован 10-ти летний период с 2008 по 2017 гг.).

Нетрудно заметить, что линейная, степенная и экспоненциальная аппроксимации и соответствующие линии тренда подтверждают гипотезу о снижении новизны объекта со временем. Логично, что с течением времени распространение и использование идеи нового объекта сделают этот объект привычным, обыденным. Чем больше информации об объекте поступит в общество и отразится в различных базах данных, тем меньший уровень новизны этого объекта покажут расчеты.

Полиномиальная аппроксимация показывает цикличность новизны (а, следовательно, и инновационности) анализируемого объекта, что вызывает необходимость проверки гипотезы о пятилетних циклах инновационности в пищевой промышленности. Известно, что цикличность развития присуща всем системам, широко известны концепции, описывающие развитие общества в целом и экономики в частности, как последовательность повторяющихся циклов или конъюнктурных волн [10, 11].

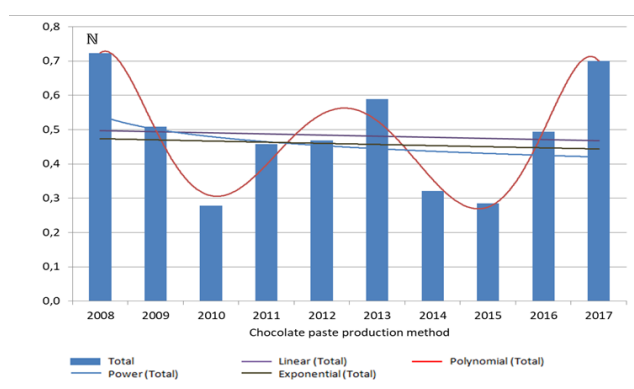


Рис. 3. Коэффициент новизны для патента «Способ производства шоколадной массы» за 2008-2017 гг.

Безусловно, речь в данном случае идет только о формировании гипотезы, которая требует дальнейшей проверки.

V. ОБОСНОВАНИЕ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ГРУППОВОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННОСТИ

В реальности экспертные оценки (1) имеют, как правило, диапазоны значений. Математическим инструментом для моделирования и обработки неточных (интервальных) экспертных оценок, измерений или наблюдений может являться теория Демпстера–Шейфера [12] (теория свидетельств). В нашем случае в качестве интегрального инновационности целесообразно использование $P(In)$ – вероятности попадания In в некоторый диапазон и при этом

$$Bel(In) < P(In) < Pl(In) \quad (3)$$

где $Bel(In)$ – функция доверия к оценке эксперта (свидетельству); $Pl(In)$ – функция правдоподобия оценки эксперта.

Объединение нескольких свидетельств выполняется в соответствии с формальным правилом их комбинирования (правилом Демпстера).

Отметим, что некоторые показатели могут являться не экспертными оценками, а результатами относительно точных вычислений. Например, уровень использования компонентов ЭИОС (востребованность) может быть рассчитан как показатель результативности ЭИОС следующим образом:

$$Demand = LF_d / LF \quad (4)$$

где LF_d – число трудовых функций персонала d , которые выполняются с использованием компонентов ЭИОС, LF – общее число трудовых функций.

Также, при расчете имплементируемости может быть использована получаемая прямым счетом величина Pr – количество нерешенных проблем в использовании ЭИОС при выполнении трудовых функций персонала.

Выполнение основных математических расчетов в соответствии с теорией свидетельств Демпстера–Шейфера (на основе интервальных оценок) предполагает работу с большими объемами данных, особенно, если речь идет об оценке сложной многокомпонентной системы, инновационность которой оценивается по многим показателям. В данном случае возникает необходимость применения программного обеспечения, выполняющего роль структуризатора данных, и, позволяющего в удобной для пользователя форме произвести основные математические операции, направленные на вычисление значений функций доверия и правдоподобия для того или иного свидетельства. Результатом является формирование массива комбинированных оценок по каждому показателю

всех компонентов исследуемой системы и вывод интегральной оценки рассматриваемой системы в виде числового оценочного интервала. Полученные интегральные оценки многокомпонентной системы отражают объективный уровень ее инновационности. Данный подход позволяет существенно сократить время оценки за счет оптимальной структуризации результатов опроса экспертов, наблюдений или измерений с группировкой и сортировкой данных по многим категориям, а также автоматизации основных расчетов.

Приведенные по категориям параметры (компоненты, показатели, экспертные группы и оценки) являются основными исходными данными для построения программной системы групповой обработки результатов оценки уровня инновационности. Нами предложен следующий алгоритм (на примере ЭИОС).

1. Сбор исходных данных (перечни компонентов, показателей, экспертных групп и оценок).
2. Ввод данных по категориям: «компоненты», «показатели», «экспертные группы», «оценочная шкала», «результаты опроса».
3. Формирование таблицы свидетельств - сортировка результатов опроса с объединением одинаковых оценок.
4. Расчет базовых вероятностей свидетельств:

$$m(A_i) = \frac{C_i}{N_i} \quad (5)$$

где m – базовая вероятность (масса) возникновения i -го свидетельства с числовым интервалом A , C_i – количество экспертов в экспертной группе - источнике данного свидетельства, N_i – общее количество экспертов в экспертной группе.

5. Комбинирование свидетельств из различных экспертных групп по компонентам и показателям:

$$m_{1\dots j}(A) = \frac{\sum_{A_{1,1} \cap \dots \cap A_{p,j}} \prod_{j=1}^n m_j(A_{p,j})}{1 - K} \quad (6)$$

где n – количество независимых источников свидетельств (экспертных групп), $A_{1,1} \cap \dots \cap A_{p,j} = A$ – условие пересечения числовых интервалов свидетельств из независимых источников, $m_j(A_{p,j})$ – базовые вероятности свидетельств из независимых источников, числовые интервалы которых пересекаются, K – коэффициент нормализации конфликтных (непересекающихся свидетельств), вычисляемый следующим образом:

$$K = \sum_{A_{1,1} \cap \dots \cap A_{p,j} = \emptyset} \prod_{j=1}^n m_j(A_{p,j}) \quad (7)$$

где $A_{1,1} \cap \dots \cap A_{p,j} = \emptyset$ – условие отсутствия пересечения числовых интервалов свидетельств из независимых источников.

6. Определение числовых границ ожидаемого интервала:

$$\underline{EX} = \sum_{i=1}^n m(A_i) \cdot \inf A_i \quad (8)$$

$$\bar{EX} = \sum_{i=1}^n m(A_i) \cdot \sup A_i \quad (9)$$

7. Определение значения функций доверия и правдоподобия комбинированных свидетельств:

$$Bel(A) = \sum_{A_i \in A} m(A_i) \quad (10)$$

$$Pl(A) = \sum_{A_i \cap A \neq \emptyset} m(A_i) \quad (11)$$

8. Формирование таблицы интегральных оценок по компонентам и/или показателям.

Отметим, что комбинирование свидетельств, полученных из различных источников (экспертные группы), является важнейшим этапом алгоритма. Целью комбинирования свидетельств является объединение свидетельств, числовые интервалы которых пересекаются с учетом влияния конфликтных свидетельств, числовые интервалы которых не пересекаются. Комбинирование выполняется по формальному правилу Демпстера рекурсивно по парам источников. За одну итерацию проверяются условия пересечения числовых интервалов, и вычисляются общие базовые вероятности по уравнениям (6) и (7), то есть из двух источников свидетельства образуется один условный источник, свидетельства которого комбинируются со следующим фактическим источником. Для всех комбинированных свидетельств по уравнениям (8) и (9) рассчитываются числовые границы ожидаемого интервала (границы математического ожидания). Функции доверия (10) и правдоподобия (11) представляют собой, соответственно, нижнюю и верхнюю границы вероятности свидетельства.

По максимальному значению доверия и правдоподобия выбирается наиболее вероятная оценка, которая заносится в таблицу интегральных оценок.

Описанный алгоритм реализован в виде веб-приложения с графическим интерфейсом пользователя (рис. 4).

Component	ID	Linguistic term	Lower bound of the interval	Upper bound of the interval
a monitoring subsystem of tra	2	552 low increasing	0.23	0.33
Indicator	3	553 low	0.00	0.33
implementability	4	554 medium increasing	0.56	0.66
Expert group	5	555 high decreasing	0.67	0.77
students	6	556 low	0.00	0.33
Expert	7	557 low increasing	0.23	0.33
it	8	558 high	0.67	1.00
Estimate	9	559 high decreasing	0.67	0.77
high	10	560 high	0.67	1.00
	11	561 low stable	0.12	0.22
	12	562 irrelevant	0.00	0.00
	13	563 irrelevant	0.00	0.00
AddRefresh	14	564 high	0.67	1.00
Sort :	15	565 medium increasing	0.56	0.66
	16	566 low decreasing	0.00	0.11
	17	567 low decreasing	0.00	0.11
	18	568 medium stable	0.45	0.55
	19	569 medium	0.34	0.66
	20	570 high increasing	0.89	1.00
	21	571 low stable	0.12	0.22
	22	572 low stable	0.12	0.22
	23	573 medium decreasing	0.34	0.44
	24	574 medium decreasing	0.34	0.44

Рис. 4. Графический интерфейс пользователя программы экспертной оценки многокомпонентной системы на основе теории Демпстера-Шейфера

Приложение разработано в среде программирования SpiderBasic, компилятор которой генерирует оптимизированный код JavaScript, для выполнения которого в браузере необходима поддержка HTML5.

Кроме оценки инновационности технических решений, мы предполагаем внедрение этого приложения в различные сферы инженерной деятельности, где в качестве источников данных возможно применение апостериорных источников информации, таких как электронных датчиков или цифровых измерительных устройств. Другим направлением развития является поддержка математических методов, альтернативных теории свидетельств.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практика развитых стран в области внедрения инноваций в образовании предполагает реализацию соответствующих программ как части государственной политики. При этом акцент делается на усиливающуюся кооперацию университетов и бизнес-структур (см., например, [13]).

В этой связи работы, ориентированные на обеспечение инновационности собственно образовательных технологий, сопоставимой с лучшими мировыми достижениями, представляются безусловно необходимыми. С другой стороны, оценка инновационности технических решений, осуществляемая в ходе учебного процесса инженерного вуза является не менее важным аспектом. Отметим, что в 2017 г. ТвГТУ включен в перечень федеральных инновационных площадок на 2018-2023 годы. Надеемся, что исследования, описанные в настоящей статье, позволят интенсифицировать работы по формализации показателей инновационности компонентов проектов, анализу и оценке

уровня модернизации проектных решений, уточнению расчетов эффективности функционирования, а в последующем использовать полученные решения и опыт в отечественной и зарубежной образовательной практике.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работы проводились при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-07-00358).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Allen I. E., Seaman J. Grade Change: Tracking Online Education in the United States by Babson Survey Research Group and Quahog Research Group, LLC. Published 2014. URL: <http://www.onlinelearningsurvey.com/reports/gradechange.pdf>.
- [2] Федеральные государственные образовательные стандарты. URL: <http://минобрнауки.рф/документы?keywords=114>.
- [3] Schumpeter J. (1934). Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Cred it, Interest, and the Business Cycle. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- [4] Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data. The Measurement of Scientific and Technological Activities, 3rd Edition, 2005. URL: https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oslo-manual_9789264013100-en.
- [5] Mensch G. Stalemate in Technology: Innovations Overcome the Depression. Ballinger Pub. Co., 1979.
- [6] Tucker R.B. Driving growth through innovation: how leading firms are transforming their futures. 2nd ed, San Francisco: Berrett-Koehler Publishers, 2008.
- [7] Иванов В.К. Реализация требований образовательных стандартов к электронной информационно-образовательной среде университета: статья // Информационные технологии в образовании «ИТО-Саратов-2017»: материалы IX Всероссийск. (с международным участием) научно-практ. конф., 02-03 ноября 2017 г. Са-ратов – Издательский центр «Наука», 2017. – С. 414-420.
- [8] Шустиков В. «День главного инженера–2018». URL: http://sk.ru/news/b/photos/archive/2018/03/13/den-glavnogo-inzhenera_1320_2018.aspx.
- [9] Оя Е., Лушникова А., Астахов П. «Электрический глаз», блокчейн-технологии и биохакинг: Роспатент составил топ-10 российских разработок 2017 года. URL: <https://russian.rt.com/russia/article/466233-nauka-izobreteniya-rossiiskih-uchyonyh>.
- [10] Кондратьев Н. Д., Опарин Д. И. Большие циклы конъюнктуры: Доклады и их обсуждение в Институте экономики. – 1-е изд. – М., 1928. – 287 с. (2-е изд.: Кондратьев Н. Д. Большие циклы экономической конъюнктуры: Доклад // Проблемы экономической динамики. – М.: Экономика, 1989. – С. 172-226. – 523 с. – (Экономическое наследие).
- [11] Schumpeter J.A. Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process. New York Toronto London : McGraw-Hill Book Company, 1939, 461 p.
- [12] Shafer G. (1976) A Mathematical Theory of Evidence, Princeton University Press, 1976.
- [13] University-Business Cooperation – For Innovation And Modernisation, 7th European University-Business Forum, Forum Report, 6–7 April 2017, The Square, Meeting Centre, Mont des Arts-Kunstberg, Brussels, 2017. URL: https://ec.europa.eu/education/sites/education/files/university-business-forum-2017-report_en.pdf.

Методика формообразования на основе проективнографических чертежей многогранников общего вида

А.В. Иващенко, Т.М. Кондратьева
Кафедра начертательной геометрии и графики
ФГБОУ ВО "НИУ МГСУ"
г. Москва, Россия
e-mail: ivashchenko_a@inbox.ru; grafika@mgsu.ru

В.Н. Кауркин, О.А. Поляков
Кафедра инженерной графики
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
г. Москва, Россия

Аннотация — Рассматриваются возможности использования проективнографического метода в задачах формообразования структур, полученных на основе многогранников общего вида. С этой целью разработана компьютерная программа, позволяющая получать наглядные изображения новых многогранных форм. Рассмотрены возможности совершенствования получаемых формообразующих решений, приведены чертежи, иллюстрирующие возможности метода.

Ключевые слова — *формообразование многогранных структур; многогранники общего вида; проективнографический метод; многокомпонентные (многоядерные) структуры; гармонизация*

I. ВВЕДЕНИЕ

Проективнографический подход к формообразованию многогранников имеет многолетнюю историю (Коксетер, Венниджер, Брюкнер, В.Н.Гамаюнов) [1, 2]. Были изучены различные группы полиэдров, представляющие интерес с точки зрения формообразования. В качестве исходных многогранников, являющихся ядрами звездчатых форм, рассматривались платоновы и архимедовы тела.

Они характеризовались множественностью чертежей (эпюр), вследствие чего сами чертежи стали именоваться многоэпюрными. В отличие от архимедовых тел, двойственные к телам Архимеда многогранники Каталана порождали одноэпюрные чертежи, что упрощало их практическое использование.

Все вышеуказанные классы многогранников (платоновы тела, архимедовы тела, многогранники Каталана), а также бесконечные семейства призм, антипризм, пирамид и бипирамид характеризуются наличием в них определенных групп симметрии, что позволяет перейти от рассмотрения свойств конкретного многогранника к свойствам соответствующей группы и при формообразовании новых объектов использовать ограниченное число чертежей.

В данной работе для целей формообразования предлагается использовать чертежи, полученные на основе выпуклых многогранников общего вида, которые с

помощью разработанной компьютерной программы позволяют моделировать различные многогранные объекты геометрического и эстетического интереса с точки зрения их использования в архитектуре и дизайне. С внедрением в практику компьютерных технологий проектный подход к изучению многогранников приобрел новые возможности для применения. В частности, разработаны алгоритмы и программы решения задач формообразования проективно-графическим методом.

II. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

A. Проективнографический подход к формированию многогранников

В данной работе предлагается воспользоваться специальными чертежами, полученными на основе выпуклых многогранников общего вида (проективнографическими чертежами - ПЧ), которые позволяют, с помощью разработанной компьютерной программы, моделировать разнообразные многогранные объекты, представляющие интерес в геометрическом и эстетическом отношении для использования в архитектуре и дизайне.

B. Использование компьютерных технологий

С появлением компьютеров и использованием вычислительной геометрии актуальность уменьшения трудоемкости расчетов во время проектирования новых форм ослабла, использование компьютерных технологий позволяет решать сложные задачи с многогранными телами и поверхностями [3, 4].

Теперь уже не имеет практического значения количество ядер в проективнографической системе плоскостей, и поэтому степень многоэпюрности исследуемых систем возросла практически на порядок. Стало возможным исследовать системы на основе нескольких ядер (многоядерные системы) или на многогранниках с частично нарушенной симметрией (тела Джонсона) [5-9].

Рассматриваемый подход к исследованию многогранников также получил новые возможности

применения. В частности автором разработаны алгоритмы и программы для решения задач проективнографическим методом. Программа получения чертежей проекта для рассматриваемой системы написана на языке программирования Maple.

С. Целесообразность использования проективнографического подхода

Основным принципом, позволяющим сделать вывод о целесообразности использования проективнографического подхода в исследовании формообразования многогранников, является решение вопроса о наличии и степени симметрии в ядре многогранника. В работе [10] использовались ПЧ, полученные на основе выпуклых многогранников Джонсона, обладающих симметрией, которые позволяют смоделировать новые разнообразные формы. На примере тел Джонсона можно видеть, что от степени симметрии многогранника зависит количество эюр его системы плоскостей. Чем сильнее нарушена симметрия исходного тела, на основе которого получено ядро, тем больше количество чертежей в системе. Несмотря на то, что в современный период развития компьютерных технологий количество эюр не является препятствием для полноценной работы с такими системами, нужно отметить, что с эстетической точки зрения образующиеся формы обладают меньшей выразительностью при большей сложности вычислений.

Другим принципом классификации может быть многоядерность системы [11], а также взаимное расположение и отношение этих ядер друг к другу (например, принимаются во внимание такие факторы, как принадлежность нескольких ядер к одной и той же группе симметрий; соотношение двух ядер по размерам и их взаимному расположению, взаимная ориентация в пространстве осей и плоскостей симметрии этих систем и.т.д.), и лишь на следующем этапе решается вопрос о степени нарушения симметрии в системе плоскостей.

III. СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ МНОГОГРАННИКОВ ОБЩЕГО ВИДА

А. Общие характеристики проекционной системы

Естественным образом возникает вопрос о границах применимости проективнографического метода и целесообразности его использования в отношении многогранников общего вида, по сравнению с другими способами получения новых форм (например, комбинаторного). Рассмотрим общие характеристики проективнографической системы на примере шести плоскостей. Предположим, что заданы шесть плоскостей произвольного расположения, никакие две из них не параллельны между собой, никакие четыре не инцидентны одной точке, и любые две прямые их пересечения не являются параллельными. Эти шесть плоскостей пересекутся по пятнадцати различным прямым общего положения, и образуют двадцать точек пересечений плоскостей. Проективнографическая система будет состоять из шести чертежей, на каждом из которых другие плоскости будут оставлять свои следы. В общем случае в этой системе нет двух подобных чертежей.

На иллюстрациях (Рис.1, 2) показаны система из шести плоскостей произвольного расположения, с прямыми пересечения, а также следы, получаемые на каждой из плоскостей, входящих в систему.

На первый взгляд проективнографические системы общего вида не обладают ярко выраженной эстетической ценностью, поскольку в них отсутствуют какие-либо улучшения ее эстетических качеств можно использовать ее преобразования, основанные на использовании различных типов симметрий.

В. Варианты гармонизации системы

В качестве примера гармонизации рассмотрим более наглядную систему, образованную 8-ю плоскостями. Ее ядром является общая часть пересечения двух тетраэдров (Рис.3). Эта система будет взята за основу дальнейших преобразований, позволяющих получать достаточно интересные с точки зрения формообразования объекты. Программа получения чертежей для рассматриваемой

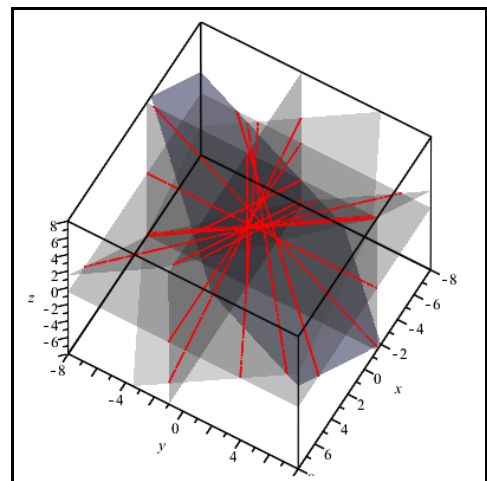


Рис. 1. Система из 6-ти плоскостей общего положения с прямыми линиями их пересечения

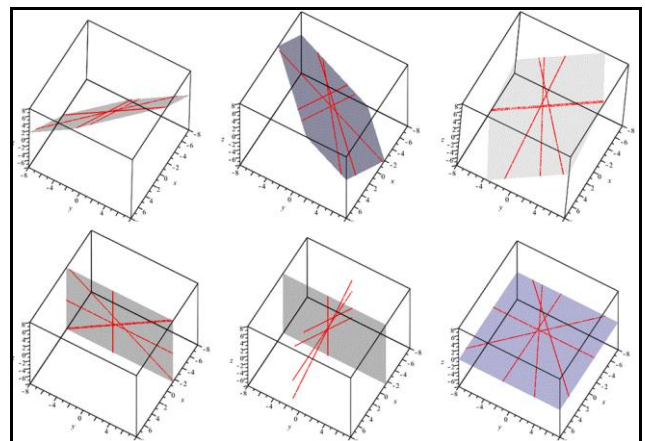


Рис. 2. ПЧ на плоскостях системы

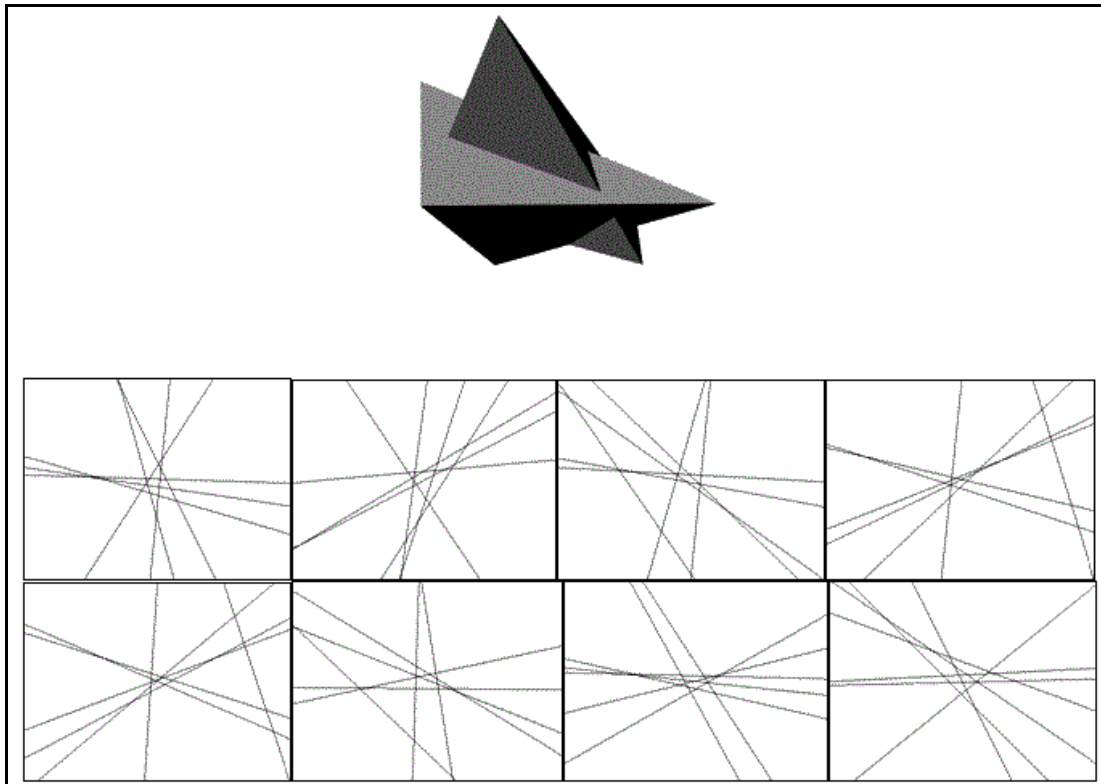


Рис. 3. Ядро исходной системы - общая часть пересекающихся тетраэдров. ПЧ исходной системы восьми плоскостей общего положения.

системы составлена на языке программирования Maple.

Рассмотрим различные варианты гармонизации получаемых на основе данного ядра трехмерных объектов. Первый способ – получение копий исходных объектов путем применения поворотной симметрии. Это значит, что необходимо указать ось симметрии, и задать угол поворота (этот угол зависит от порядка осевой симметрии). При одном и том же порядке симметрии на основе заданного ядра можно получать различные варианты формообразующего решения за счет выбора оси поворотной симметрии.

На приведенных иллюстрациях показаны варианты решений с различным положением этой оси, выбрана симметрия 3-го порядка (Рис. 4).

На ПЧ (в рассматриваемой системе восемь ПЧ) ось перпендикулярна чертежу и представлена точкой. Следует отметить, что количество чертежей не увеличится, но каждый из них будет состоять уже не из 7 прямых, а из 23 (добавятся ещё 16 (8+8) после двух поворотов на 120 и 240 градусов соответственно). Формообразующее решение после введения оси симметрии четвертого порядка (соответственно, после добавления копий исходного объекта в результате поворота на 90, 180 и 270 градусов) будет основано уже на 31 прямой.

Кроме поворотной симметрии возможно использовать диэдральную симметрию, а также тетраэдрическую, октаэдрическую и додекаэдрическую симметрии. В этих случаях количество прямых на ПЧ существенно возрастет,

и процесс формообразования трудно проводить без компьютерной поддержки.

Второй вариант гармонизации – использование симметрии отражения. Плоскость симметрии, если она не параллельна ни одной из плоскостей ядра исходной системы, будет представлена на чертеже прямой линией. Количество линий на каждом из чертежей станет равным 15, а количество самих чертежей станет вдвое больше, то есть в нашем случае 16. Как и в предыдущих случаях, результат зависит от выбора плоскости симметрии (Рис. 5).

Очевидно, что системы плоскостей общего вида, образующие многогранный объект, порождают бесконечное разнообразие ПЧ. В качестве примера (Рис.6) показан результат, полученный на основе использования поворотной симметрии восьмого порядка в отношении неправильного многогранника (вращение на 45 градусов производилось вокруг вертикальной оси). Полученная композиция отличается тем, что с разных ракурсов дает различные очертания контуров, что само по себе увеличивает вариативность решений.

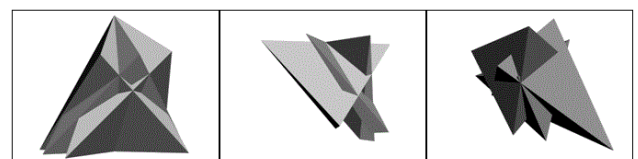


Рис. 4. Многогранные структуры, основанные на использовании поворотной симметрии

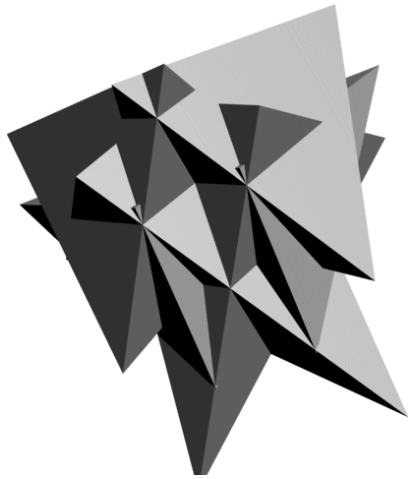


Рис. 5 Многогранная структура, полученная на основе отражающей симметрии

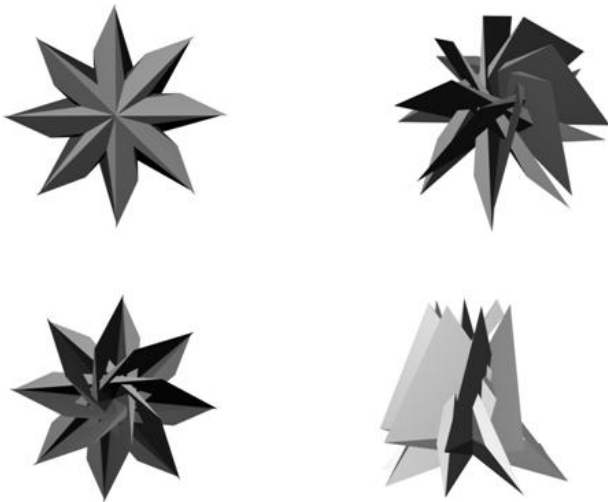


Рис. 6 Примеры многогранных структур, полученных за счет использования поворотной симметрии

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С прикладной точки зрения предлагаемая методика формообразования на основе ПЧ с привлечением

компьютерных технологий, в качестве инструмента архитектора или дизайнера, открывает новые возможности совершенствования автоматизированного проектирования, значительно расширяя его выразительные средства.

Вышеописанный метод также перспективен для образовательных целей, в частности при обучении графическим дисциплинам. Имеется опыт применения метода образования многогранных структур при выполнении курсовых и дипломных проектов студентами строительных и архитектурных специальностей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Steven Dutch, "Polyhedra with Regular Polygon Faces". <http://www.uwgb.edu/dutchs/symmetry/johnsonp.htm>.
- [2] A.M. Gurin, "To the history of studying convex polyhedra with regular faces", Siberian electronic mathematical news, 2010. T 7, pp. 5-23.
- [3] Gill Barequet, Nadia Benbernou, David Charlton, Erik D. Demaine, Martin L. Demaine, Mashhood Ishaque, Anna Lubiw, André Schulz, Diane L. Souvaine, "Bounded-degree polyhedronization of point sets", Computational Geometry, Volume 46, Issue 2, February 2013, pp. 148–153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.comgeo.2012.02.008>
- [4] Marshall Bern, Erik D. Demaine, David Eppstein, Eric Kuo, Andrea Mantler, Jack Snoeyink, "Ununfoldable polyhedra with convex faces", Computational Geometry, Volume 24, Issue 2, February 2003, pp. 51-62. [https://doi.org/10.1016/S0925-7721\(02\)00091-3](https://doi.org/10.1016/S0925-7721(02)00091-3)
- [5] A.V. Ivashchenko, "Models of the representation of the elements of the system of projectivographic diagrams and the algorithm for their determination", Young voices: Sat. sci. - Research works of graduate students and applicants, MGOPU. no. 2. M., 2000.
- [6] Mark de Berg, Marc van Kreveld, Mark Overmars, "Otfried Schwarzkopf Computational Geometry: Algorithms and Applications", Springer, p. 368, 2000.
- [7] David M. Mount. "Computational Geometry", University of Maryland, p. 122, 2002.
- [8] Elmar Langetepe, Gabriel Zachmann, "Geometric Data Structures for Computer Graphics", A K Peters, p. 362, 2006 — ISBN 1568812353.
- [9] E.A. Nikulin, "Computer geometry and computer graphics algorithms", BHV-Petersburg, St. Petersburg, p. 560, 2003.
- [10] А.В. Иващенко, Т.М. Кондратьева, "Автоматизация получения проективнографических чертежей тел Джонсона", Вестник МГСУ, М., 2014, № 6, стр. 179-183.
- [11] А.В. Иващенко, Т.М. Кондратьева, "О методе формообразования в архитектуре и дизайне, основанном на многоядерных проективнографических системах", Инновации и инвестиции, 2017, № 8, стр. 132-136.

Моделирование нелинейного эффекта перемагничивания дросселя

В.И. Ионова, В.Е.Шмелёв

кафедра «Электротехника и электроэнергетика»

Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
г. Владимир, Российская Федерация
shmelev@vlsu.ru

Аннотация — Доклад посвящен разработке вычислительного сценария MATLAB, моделирующего установившиеся периодические режимы перемагничивания дросселя с учетом нелинейности основной кривой намагничивания материала магнитопровода. Сценарий применяется при изучении дисциплин «Теоретические основы электротехники» и «Электротехническое материаловедение». Приводятся фрагменты вычислительного сценария.

Ключевые слова — кривая намагничивания; дроссель; вебер- амперная характеристика

I. ВВЕДЕНИЕ

Кафедра «Электротехника и электроэнергетика» проводит подготовку бакалавров и магистров по направлению «Электротехника и электроэнергетика» (профиль «Электроснабжение»). При проведении занятий по ряду электротехнических дисциплин применяется математическое ПО: система инженерных и научных расчётов MATLAB [1] и пакет MathCad [2]. Данное ПО поддерживает вычислительные операции над массивами, что позволяет быстро проводить анализ процессов, происходящих в элементах электрических цепях. Разработан вычислительный сценарий учебного моделирования периодического перемагничивания дросселя с учётом насыщения магнитопровода и без учёта омического сопротивления токовой обмотки, гистерезиса, поля рассеяния и вихревых токов в магнитопроводе. Цель моделирования – изучение влияния свойств магнитного материала магнитопровода на свойства дросселя как элемента электрической цепи.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Дроссель представляет собоймоточный индуктивный элемент, как правило, с одной токовой обмоткой и с неразветвлённой магнитной цепью (рис.1).

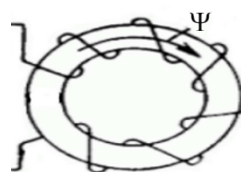


Рис. 1. Схематичное изображение дросселя

Пусть обмотка нанесена на тороидальное ферритовое кольцо с внутренним радиусом $R_{вн} = 20$ мм, наружным радиусом $R_{н} = 30$ мм, толщиной (высотой) $h = 10$ мм. Число витков $w=1000$. Основная кривая намагничивания феррита задана таблично [3, 4] в виде двух одномерных массивов B_p (значения магнитной индукции, Тл), H_p (значения напряжённости магнитного поля, А/м). Ниже приведён соответствующий фрагмент вычислительного сценария.

```
Hp=[40 80 200 400 1000 2500];  
Bp=[0.16 0.22 0.28 0.31 0.33 0.361];  
Rvn=20E-3; Rn=30E-3; h=10E-3; w=1000;
```

III. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО СЦЕНАРИЯ

Чтобы распространить точки основной кривой намагничивания на отрицательную область значений и соединить их гладкой кривой (рис. 2), применён метод кусочно- квадратичной интерполяции с непрерывной первой производной [5]. Фрагмент вычислительного сценария:

```
Hk=[-fliplr(Hp),0,Hp];  
Bk=[-fliplr(Bp),0,Bp];  
c=interp_pv2_0(Hk,Bk,4);  
H=linspace(Hk(1),Hk(end),257);  
B=interp_pv2_eval(c,Hk,H);  
figure(1)  
plot(H,B,'k-', 'linewidth',2), grid on
```

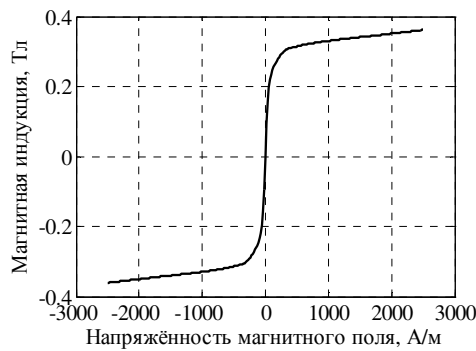


Рис. 2. Кривая намагничивания материала магнитопровода

В приведённой последовательности операторов первые два распространяют таблично заданную кривую намагничивания на отрицательную область и нулевую точку ($H = 0, B = 0$). Третий строит интерполирующее выражение. Четвёртый строит мелкую сетку значений напряжённости магнитного поля. Пятый вычисляет по интерполирующему выражению значения магнитной индукции в узлах мелкой сетки значений напряжённости магнитного поля. Вызов функции plot строит график основной кривой намагничивания.

Следующая последовательность операторов пересчитывает кривую намагничивания в вебер-амперную характеристику дросселя с учётом геометрических размеров и числа витков обмотки.

```
S=(Rn-Rvn)*h;
Lsr=2*pi*(Rn-Rvn)/log(Rn/Rvn);
II=H*Lsr/w;
PSI=B*S*w;
figure(2)
plot(II,PSI,'k-', 'linewidth',2), grid on
```

Первый оператор определяет площадь поперечного сечения магнитопровода. Второй – среднюю длину магнитной силовой линии. Третий вычисляет массив значений тока, четвёртый – массив значений магнитного потокосцепления Ψ . Последний оператор строит вебер-амперную характеристику дросселя (зависимость потокосцепления от тока) в виде гладкой кривой (рис. 3).

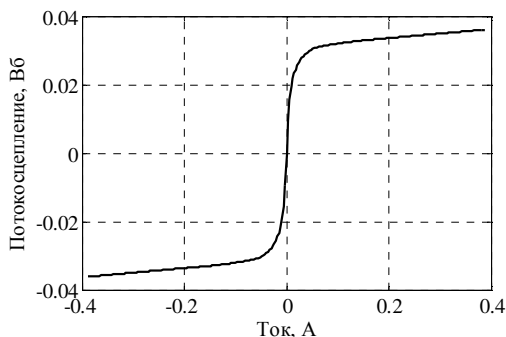


Рис. 3. Вебер- амперная характеристика дросселя

А. Моделирование режима перемагничивания при синусоидальном законе изменения потокосцепления

Сначала строится равномерная сетка значений времени в долях периода:

```
t=linspace(0,2,257);
```

Следующий оператор задаёт синусоидальный закон изменения магнитного потокосцепления во времени на построенной временной сетке:

```
Psi=max(PSI)*sin(2*pi*t);
```

Строится интерполирующее выражение вебер-амперной характеристики дросселя (аргумент функции – потокосцепление, значение функции – ток):

```
ci=interp_pv2_0(PSI,II,4);
```

Выражение, числовые параметры которого записаны в массив ci , вычисляется в точках, соответствующих осциллограмме синусоидально изменяющегося потокосцепления (массив Psi):

```
ii=interp_pv2_eval(ci,PSI,Psi);
```

Полученный массив ii – осциллограмма рассчитанного тока. Осциллограмма напряжения на зажимах дросселя получается из осциллограммы потокосцепления путём аналитического дифференцирования по времени, измеряемому в абсолютных единицах:

```
u=max(PSI)*100*pi*cos(2*pi*t);
```

Осциллограммы режима перемагничивания показаны на рис. 4.

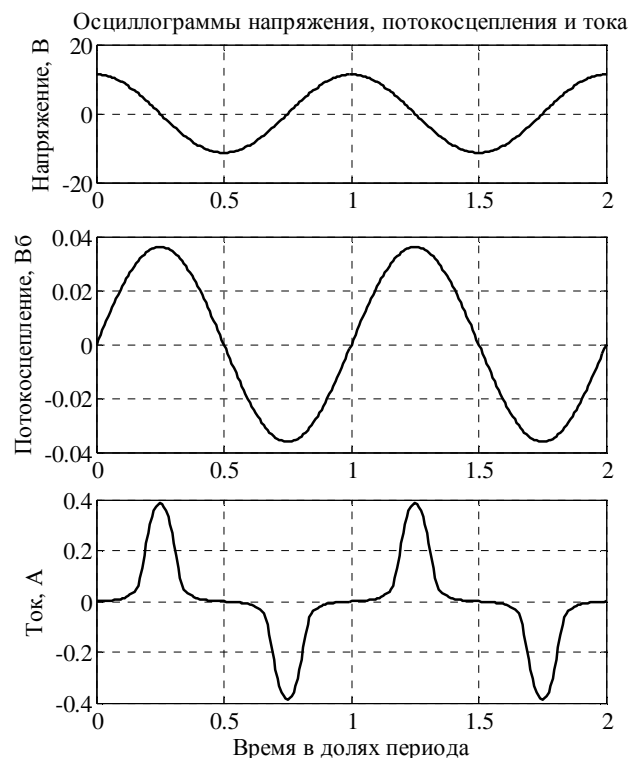


Рис. 4. Осциллограммы режима перемагничивания

В. Моделирование режима перематывания при синусоидальном законе изменения тока

Следующий оператор задаёт синусоидальный закон изменения тока во времени на уже построенной временной сетке:

```
is=max(I)*sin(2*pi*t);
```

Строится интерполирующее выражение вебер-амперной характеристики дросселя (аргумент функции – ток, значение функции – потокосцепление):

```
cp=interp_pv2_0(I,PSI,4);
```

Выражение, числовые параметры которого записаны в массив *cp*, вычисляется в точках, соответствующих осциллограмме синусоидально изменяющегося тока (массив *is*):

```
psi=interp_pv2_eval(cp,I,is);
```

Полученный массив *psi* – осциллограмма рассчитанного потокосцепления. Осциллограмма напряжения на зажимах дросселя получается из осциллограммы потокосцепления путём численного дифференцирования по времени, измеряемому в абсолютных единицах:

```
cpr=interp_pv2_0(t,psi,4);
```

```
us=interp_pv2_diff(cpr,t,t)*100*pi;
```

Осциллограммы режима перематывания показаны на рис. 5.

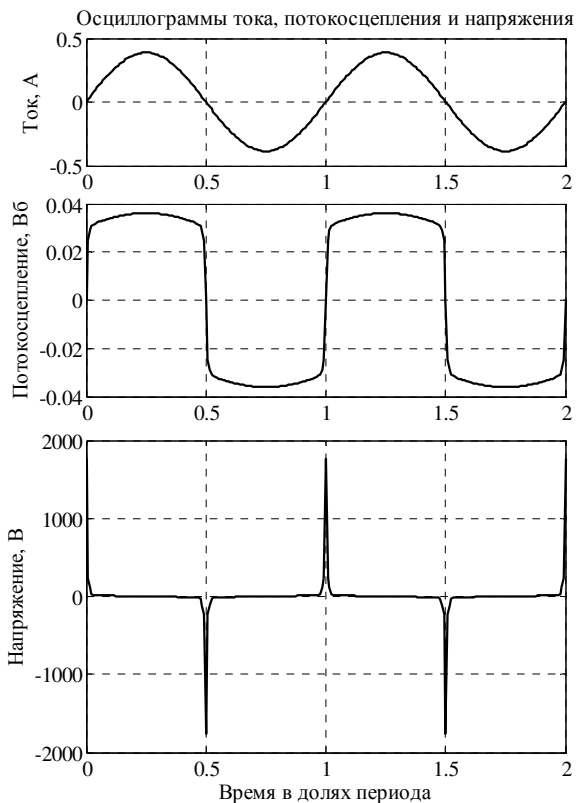


Рис. 5. Осциллограммы режима перематывания

IV. ПОДПРОГРАММЫ- ФУНКЦИИ, РЕАЛИЗУЮЩИЕ МЕТОД ИНТЕРПОЛЯЦИИ

Разработаны *m*-функции, выполняющие следующие действия: построение кусочно-квадратичного интерполирующего выражения с непрерывной первой производной (функция *interp_pv2_0*), вычисление интерполирующего выражения в заданных точках (функция *interp_pv2_eval*), вычисление производной интерполирующего выражения по аргументу в заданных точках (функция *interp_pv2_diff*), вычисление первообразной интерполирующего выражения по аргументу в заданных точках (функция *interp_pv2_int*).

А. Функция построения интерполирующего выражения

Функция реализует метод кусочно-квадратичной интерполяции таблично заданной функции с непрерывной первой производной [5], основанный на построении интерполирующего выражения:

$$f(x) \approx c_0 + c_1 \cdot x + c_2 \cdot x^2 + \sum_{i=3}^{n+1} c_i \cdot (x - x_{i-1}) \cdot |x - x_{i-1}|, \quad (1)$$

где коэффициенты *c_i* определены в [5].

Формат вызова:

```
c=interp_pv2_0(x,y,p)
```

x – одномерный строчный массив значений аргумента интерполируемой функции;

y – одномерный строчный массив значений функции в узлах *x*;

p – числовой параметр метода интерполяции [5] (по умолчанию *p* = 0);

c – одномерный массив коэффициентов интерполяционной формулы (1).

Алгоритм построения интерполирующего выражения состоит из следующих шагов.

- 1) Определяется количество частичных отрезков сетки значений аргумента.
- 2) Распределяется память под выходной массив *c*, под массив наклонов сплайна в узлах сетки значений аргумента.
- 3) Рассчитываются конечные разности первого порядка массивов *x*, *y*.
- 4) Вычисляется массив средних значений первой производной формируемого интерполяционного выражения на частичных отрезках.
- 5) Рассчитывается наклон формируемого сплайна в первом узле сетки значений аргумента. Значение наклона соответствует минимуму интегральной оценки колебательности формируемого сплайна.
- 6) По рекуррентной формуле в цикле вычисляются наклоны сплайна во всех оставшихся узлах сетки.
- 7) Вычисляется массив значений второй производной на частичных отрезках сетки.
- 8) Вычисляется массив коэффициентов интерполяционной формулы.

В. Функция вычисления интерполирующего выражения

Формат вызова:

```
yi=interp_pv2_eval(c,x,xi)
```

Входные параметры c , x имеют тот же смысл, что и в описании функции `interp_pv2_0`.

xi – строчный массив значений аргумента, для которых нужно вычислить значения интерполирующего выражения.

yi – строчный массив значений интерполирующего выражения.

Алгоритм вычисления сводится к подстановке каждого элемента массива xi в интерполирующее выражение (1). Результаты вычислений записываются в массив yi .

C. Функция вычисления производной интерполирующего выражения

Формат вызова:

`yi=interp_pv2_diff(c,x,xi)`

Входные параметры c , x , xi имеют тот же смысл, что и в описании функции `interp_pv2_eval`.

yi – строчный массив значений первой производной интерполирующего выражения (1):

$$\frac{df(x)}{dx} \approx c_1 + 2c_2 \cdot x + 2 \cdot \sum_{i=3}^{n+1} c_i \cdot |x - x_{i-1}|, \quad (2)$$

где коэффициенты c_i определены в [5].

Алгоритм вычисления сводится к подстановке каждого элемента массива xi в аналитическое выражение (2). Результаты вычислений записываются в массив yi .

D. Функция вычисления первообразной интерполирующего выражения

Формат вызова:

`yi=interp_pv2_int(c,x,xi)`

Входные параметры c , x , xi имеют тот же смысл, что и в описании функции `interp_pv2_eval`.

yi – строчный массив значений первообразной интерполирующего выражения (1):

$$F(x) \approx c_0 \cdot x + c_1 \cdot \frac{x^2}{2} + \frac{1}{3} \cdot \left(c_2 \cdot x^3 + \sum_{i=3}^{n+1} c_i \cdot (x - x_{i-1})^2 \cdot |x - x_{i-1}| \right), \quad (3)$$

где коэффициенты c_i определены в [5].

Алгоритм вычисления сводится к подстановке каждого элемента массива xi в аналитическое выражение первообразной интерполирующей формулы [5]. Результаты вычислений записываются в массив yi .

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный вычислительный сценарий позволяет студентам понять, как свойства материала магнитопровода дросселя влияют на установившиеся режимы протекания через него периодических токов, и в частности, на искажения кривых тока или напряжения из-за магнитного насыщения. Сценарий помогает также студентам генерировать простейшие методики экспериментального исследования нелинейных магнитных свойств ферро- и ферромагнетиков с малой коэрцитивной силой, используя образцы тороидальной формы. Ещё сценарий позволяет моделировать нелинейные спектральные искажения токов и напряжений в индуктивных элементах [6] и потребление ими неактивных мощностей в установившихся периодических режимах. Сценарий применяется при изучении дисциплин «Теоретические основы электротехники» и «Электротехническое материаловедение».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Шмелёв В.Е. Применение пакета MatLab для изучения теоретических основ электротехники (теория цепей)// Труды Международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования» — ИНФОРИНО-2016 (Москва, 12—13 апреля 2016 г.). — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — 706 с.: ил. - ISBN 978-5-383-00939-0.
- [2] Андрианов Д.П. Использование математических пакетов при изучении дисциплин направления «электроэнергетика и электротехника» // Труды Международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования» — ИНФОРИНО-2016 (Москва, 12—13 апреля 2016 г.). — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — 706 с.: ил. - ISBN 978-5-383-00939-0.
- [3] Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы/ Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. - М.: Издательство МЭИ, 2003. - 440 с. - ISBN 5-7046-0985-6.
- [4] Справочник по электротехническим материалам/ Под ред. Ю.В. Корицкого, В.В. Пасынкова, Б.М. Тареева. - Т. 3. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. - 728 с. - ISBN 5-283-04416-5.
- [5] Гулёнкин В.С., Шмелёв В.Е. Метод кусочно-квадратичной интерполяции таблично заданной функции с непрерывной первой производной, основанный на линейном комбинировании модифицированных парабол// Дни науки студентов ИАСЭ – 2016, 2017. Материалы научно-технических конференций. – Владимир, 2017. – с. 351-354.
- [6] Ионова В.И. Частотный анализ влияния магнитного гистерезиса трансформатора на качество переменного тока// Сборник научных трудов XIII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия — 2018». - Иваново, 2018.

Сравнительный анализ мультиагентных методов условной глобальной оптимизации

Каранэ М. М. С.

Московский авиационный институт, МАИ
Москва, Россия

Аннотация — В данной работе рассмотрено применение трех метаэвристических методов условной глобальной оптимизации, которые используют идеи эволюционных алгоритмов и методов «роевого» интеллекта. На основе описанных алгоритмов разработано программное обеспечение в среде Microsoft Visual Studio. Программа позволяет находить условный глобальный экстремум функций двух переменных со сложной структурой линий уровня и визуализировать пошаговый процесс поиска решения, сравнивать работоспособность используемых процедур. На основе сравнительного анализа алгоритмов предложен гибридный мультиагентный метод и исследована его эффективность.

Ключевые слова — глобальная условная оптимизация; алгоритмическое обеспечение; программное обеспечение; мультиагентные методы; метаэвристики

I. ВВЕДЕНИЕ

Потребность в разработке метаэвристических алгоритмов оптимизации возникла несколько десятков лет назад, когда возникла идея усовершенствовать эвристические методы. Метаэвристические алгоритмы объединяют с помощью общей стратегии несколько эвристических и являются более эффективными.

Чтобы исследовать эффективность таких методов, существует список стандартных тестовых функций [1]. Они являются многоэкстремальными функциями двух переменных и обладают сложной структурой линий уровня. В связи с этим процесс поиска решения значительно усложняется и применение классических методов не представляется возможным, в то время как метаэвристические алгоритмы оптимизации с успехом справляются с такой задачей.

Сходимость метаэвристических методов, как правило, не доказана, но они являются достаточно эффективными по сравнению с классическими, описанными, например, в [2], и обладают рядом преимуществ. Методы позволяют найти приближенное решение задачи, близкое к оптимальному, за достаточно короткий промежуток времени.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ

Дана целевая функция $f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, определённая на множестве допустимых решений $D \subseteq R^n$.

Требуется найти условный глобальный максимум функции $f(x)$ на множестве D , т.е. такую точку $x^* \in D$, что

$$f(x^*) = \max_{x \in D} f(x), \quad (1)$$

где $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, $D = \{x \mid x_i \in [a_i, b_i], i = 1, 2, \dots, n\}$.

Функция $f(x)$ может быть многоэкстремальной, поэтому искомое решение в общем случае неединственное.

III. МЕТОД, ИМИТИРУЮЩИЙ ПОВЕДЕНИЕ СТАИ РЫБ

В алгоритме, имитирующем поведение стаи рыб (Fish School Search Algorithm, FSS) [3–6], используются результаты изучения особенностей поведения некоторых сортов рыб, которые могут существовать только в пределах стаи, что уменьшает индивидуальную свободу их передвижений, но увеличивает интенсивность соревнования за пищу. Такое объединение рыб, как показывают наблюдения за ними в океанах и реках, подтверждает, что преимущества существенно превышают недостатки. В алгоритме используются следующие основные черты поведения стай рыб:

- питание (производится имитация естественного инстинкта рыб, заключающегося в поиске пищи). Оно необходимо, так как рыбы должны питаться, для того чтобы вырасти сильными и способными к размножению. Получая пищу, рыбы набирают вес, а плавать – теряют;
- плавание (эта функция реализуется коллективно всеми рыбами стаи с целью поиска пищи);
- размножение (производится имитация естественного механизма селекции, порождая новые объекты для поддержания процесса поиска).

Каждая рыба из стаи имеет внутреннюю «память» о случившемся успехе в поиске пищи (приближении к точке экстремума), заключенную в весе рыбы. Стая эволюционирует путем обмена информацией между родителями в результате размножения, а также вследствие коллективного движения. Аквариум представляет собой множество допустимых решений. Наличие пищи показывает рыбам области аквариума, которые

определяют хорошие регионы для поиска решения. В процессе плавания реализуется идея глобального перенаправления всех рыб в ту часть аквариума, которая рассматривается всеми рыбами стаи как наиболее предпочтительная с точки зрения поиска пищи. Размножение рыб, в свою очередь, позволяет перейти от сравнительного исследования областей аквариума к процессу, уточняющему решение в рамках найденной области. К процессу размножения допускаются рыбы только с наибольшим весом.

IV. МЕТОД, ИМИТИРУЮЩИЙ ПОВЕДЕНИЕ СТАИ КРИЛЯ

Метод (Krill Herd – KH) [7–9] относится к биоинспирированным, поскольку основан на результатах анализа поведения стай криля – рачков, внешне напоминающих креветок. Их позиции меняются под действием трех факторов: присутствия других членов популяции, необходимости поиска пищи, случайных блужданий. Обычно движение популяции криля определяется двумя целями: увеличением плотности криля и достижением пищи.

В начале процесса генерируется популяция из NP особей на множестве допустимых решений с помощью равномерного распределения. Предполагается, что движение j -го члена популяции происходит согласно уравнению:

$$\frac{dx^j}{dt} = V^j, \quad (2)$$

где x^j – положение, V^j – скорость, которая складывается из трех составляющих. Первая составляющая определяется влиянием соседей (членов популяции, входящих в некоторую окрестность j -го ее элемента определенного радиуса), наилучшего элемента во всей популяции и информации о своей старой скорости. Вторая составляющая определяется движением в сторону источника пищи (за него принимается «центр масс» популяции), информацией о старой скорости в поисках пищи, памятью своего наилучшего результата за все итерации. Третья составляющая имитирует случайные блуждания особи, уменьшающиеся с ростом числа итераций. Для оживления процесса поиска применяются операции скрещивания и мутации, используемые в других эволюционных методах и методе дифференциальной эволюции [1]. Процедура поиска завершается при достижении заданного числа итераций.

V. МЕТОД, ИМИТИРУЮЩИЙ ИМПЕРИАЛИСТИЧЕСКУЮ КОНКУРЕНЦИЮ

В стратегии (Imperialist Competitive Algorithm – ICA) [10, 11] используются наблюдения за поведением империй в борьбе за сферы влияния. Империализм – это политика расширения управляющего воздействия правительства за пределы границ страны, реализуемая как посредством непосредственного управления, так и косвенного через

влияние на рынки продовольствия, товаров, материалов и т.д. Таким образом, все страны делятся на империи и колонии. Империи стремятся использовать ресурсы других стран или просто влиять на их политику, противодействуя другим империям. Вне зависимости от побуждающих причин империи стремятся увеличить число своих колоний и распространить свое влияние на весь мир.

Метод использует идеи, как эволюционных алгоритмов, так и методов «роевого интеллекта». Он начинается с формирования начальной популяции – стран в мире (решений на множестве допустимых решений). Несколько лучших стран (по величине целевой функции) отбираются на роль империалистических стран, а остальные образуют колонии. Все колонии закрепляются за империалистическими государствами, причем их количество определяется силой такого государства, обратно пропорциональной величине целевой функции. Так образуются империи: империалистическое государство и его колонии. Наиболее сильному империалистическому государству соответствует наибольшее число колоний. Затем каждая колония начинает движение к своему империалистическому государству. Сила империи определяется силой империалистического государства и его колоний (к силе государства добавляется доля от средней силы колоний). Конкуренция между империями приводит либо к возрастанию (по крайней мере, неубыванию) силы империи, либо к ее уменьшению. Слабые империи со временем исчезают. Описанные механизмы должны привести к ситуации, когда остается только одна империя в мире, а все остальные страны являются ее колониями (это является условием окончания процесса). Положение империалистического государства принимается за приближенное решение задачи.

VI. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

На основе изложенных алгоритмов было разработано программное обеспечение для решения задач поиска глобального максимума с помощью рассмотренных методов глобальной оптимизации. Для его создания использовалась среда разработки Microsoft Visual Studio, язык программирования C#.

На главной форме метода пользователь может выбрать целевую функцию, задать множество допустимых решений и параметры алгоритма.

Результатом работы программы является точка максимума функции $(x^*, y^*)^T$ и значения функции в этой точке $f(x^*, y^*)$. Для заданного набора тестовых задач программа выдает точное решение и отклонение этого решения от найденного. После завершения поиска экстремума программа отображает линии уровня выбранной целевой функции и показывает положение последней популяции, выделяя наилучшую особь.

На рис. 1 показан общий вид интерфейса на примере метода, имитирующего поведение стаи рыб.

При нажатии кнопки «Протокол» программа выдает информацию о начальной и конечной популяции.

При нажатии кнопки «Дополнительная информация» можно получить информацию о последней популяции и график изменения средней и наилучшей приспособленности популяции.

Функционирование алгоритма можно наблюдать на форме работы по шагам (рис. 2). Работа программы происходит при последовательном выполнении каждого из указанных действий в блок-схеме. В это же время программа передает информацию о текущей популяции и

визуально отображает положение особей на множестве допустимых решений. Нажав на кнопку «Ответ», можно завершить процесс работы по шагам. В этом случае программа прерывает расчеты в пошаговом режиме и функционирует до выполнения условий окончания, демонстрируя найденное решение задачи.

VII. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ

Сравнительная эффективность разработанного программного обеспечения исследована на стандартном наборе тестовых функций [1].

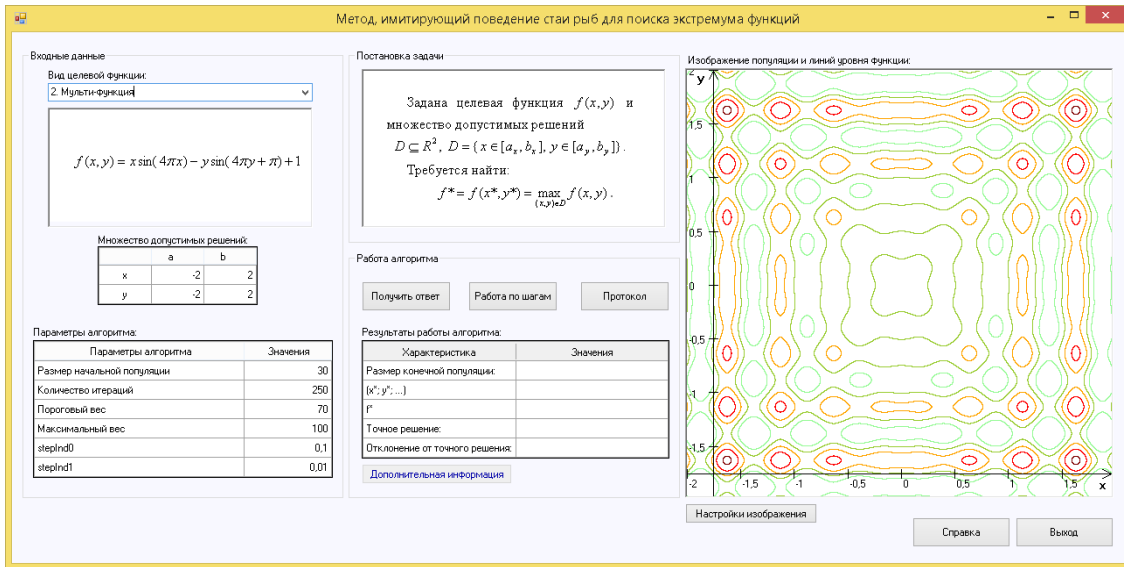


Рис. 1. Общий интерфейс программы

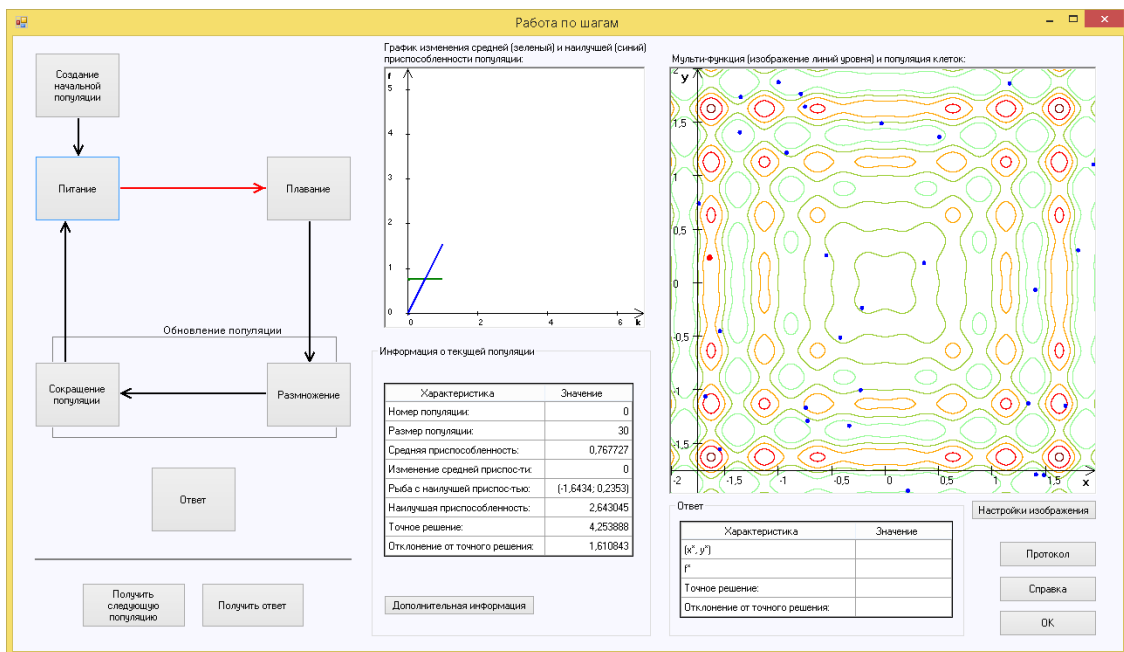


Рис. 2. Форма работы по шагам

Продemonстрируем результаты на примере поиска глобального максимума функции Растригина (рис. 3):

$$f(x, y) = -(x^2 + y^2) + 10[\cos(2\pi x) + \cos(2\pi y)]. \quad (3)$$

Зададим множество допустимых решений $x, y \in [-5; 5]$. Глобальный максимум $f(x^*, y^*) = 20$, $(x^*, y^*)^T = (0, 0)^T$.

Решим эту задачу с помощью метода, имитирующего поведение стаи рыб. Зададим параметры алгоритма: размер начальной популяции $NP = 100$, максимальное число итераций $ITER = 10000$, пороговый вес $W = 4000$, максимальный вес $W_{scale} = 4500$, шаги $step_{ind0} = 0,5$, и $step_{ind1} = 0,05$.

На рис. 3, 4 показаны популяции на начальной и конечной итерациях, полученные с помощью метода, имитирующего поведение стаи рыб.

Решим эту задачу с помощью метода, имитирующего поведение стаи криля. Зададим параметры метода: размер начальной популяции $NP = 40$, максимальное число итераций $ITER = 10000$, максимальную скорость движения криля $N_{max} = 0,01$, малое положительное число $\mu = 0,5$ и $c_i = 0,2$, максимальная скорость передвижения к источнику пищи $V_f = 0,02$, максимальная скорость диффузии криля $D_{max} = 0,005$.

На рис. 5, 6 показаны популяции на начальной и конечной итерациях, полученные с помощью метода, имитирующего поведение стаи криля.

Решим эту задачу с помощью метода, имитирующего империалистическую конкуренцию. Зададим параметры метода: число стран $N_{pop} = 300$, максимальное число итераций $ITER = 500$, число империалистических стран $N_{imp} = 50$, параметр учета влияния колоний $\xi = 0,01$, параметры сдвига колоний $\beta = 0,5$ и $\gamma = 0,05$.

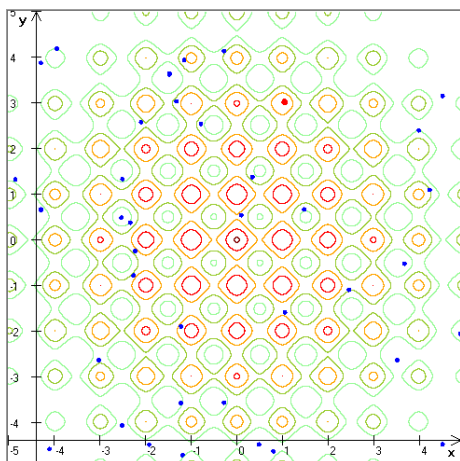


Рис. 3. Начальная итерация

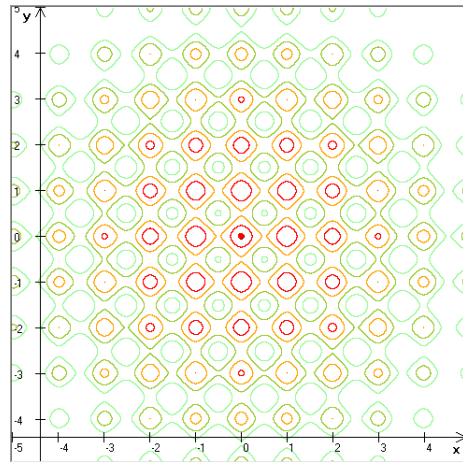


Рис. 4. Конечная итерация

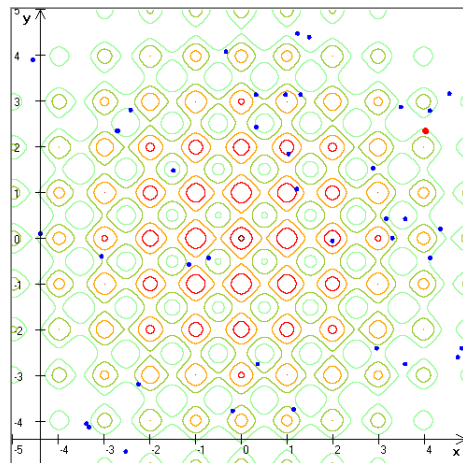


Рис. 5. Начальная итерация

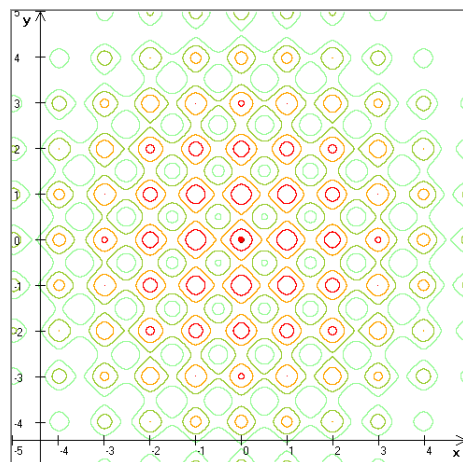


Рис. 6. Конечная итерация

На рис. 7, 8 показаны популяции на начальной и конечной итерации, полученные с помощью метода, имитирующего империалистическую конкуренцию.

Сведем полученные результаты в таблицу 1.

Таблица 1. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ МЕТОДОВ

Название метода	Значения координат	Значение целевой функции	Отклонение от точного решения
Метод, имитирующий поведение стаи рыб	$(x^*, y^*)^T = (0; 0)^T$	$f(x^*, y^*) = 20$	$\Delta = 0$
Метод, имитирующий поведение стаи криля	$(x^*, y^*)^T = (0; 0)^T$	$f(x^*, y^*) = 20$	$\Delta = 0$
Метод, имитирующий империалистическую конкуренцию	$(x^*, y^*)^T = (-0.03; -0.05)^T$	$f(x^*, y^*) = 19,4$	$\Delta = 0,6$

$\{f^1, f^2, \dots, f^{100}\}$ вычислим: $\overline{\Delta f} = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{100} \Delta f_i$ – среднее значение отклонения, где $\Delta f_i = f(x^*) - f^i$ – отклонение значения f^i от максимального; $\Delta f_{best} = \min_i \Delta f_i$ – наименьшее значение отклонения; $\overline{\sigma}_f = \sqrt{\overline{S}_{100}}$ – среднеквадратическое отклонение, где $\overline{S}_{100} = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{100} (\Delta f^i - \overline{\Delta f})^2$; $n_{усп}$ – количество успехов (успехом считается попадание лучшей точки в ε -окрестность точного решения, $\varepsilon = \frac{\max_{i=1, \dots, n} |b_i - a_i|}{1000}$).

IX. ГИБРИДНЫЙ МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ АЛГОРИТМ

Проведя анализ работы описанных методов, видно, что результат, полученный методом, имитирующим империалистическую конкуренцию, отличается от остальных двух. Как видно из рис. 8, члены популяции на последней итерации разбросаны вокруг точки максимума, в то время как в двух других методах все особи слились в одну точку, и результат, полученный этим методом, дает большое отклонение от точного решения.

Метод, имитирующий империалистическую конкуренцию, не заканчивается по достижению заданного числа итераций (как остальные два метода), а заканчивается в том случае, когда все империи распались, и осталась лишь одна. В результате положение этой империи является решением задачи.

Вследствие этого возникла идея о создании гибридного алгоритма, включающего в себя метод, имитирующий империалистическую конкуренцию и метод, имитирующий поведение стаи криля.

Совмещением двух методов можно добиться меньшего времени работы алгоритма и получения более точного результата, так как в начале метод, имитирующий империалистическую конкуренцию, поможет добиться уменьшения области поиска решения, получив итоговую популяцию в некоторой окрестности точки экстремума, а следующий метод поможет уточнить решение в найденной области.

Исследуем применение такого гибридного алгоритма на ранее рассмотренном примере – функции Растригина и сравним получившийся результат с табл. 1.

Зададим параметры метода, имитирующего империалистическую конкуренцию: число стран $N_{pop} = 150$, максимальное число итераций $ITER = 300$, число империалистических стран $N_{imp} = 15$, параметр учета влияния колоний $\xi = 0,01$, параметры сдвига колоний $\beta = 0,4$ и $\gamma = 0,04$.

Зададим параметры метода, имитирующего поведение стаи криля: число итераций $ITER = 100$, максимальная скорость движения криля $N_{max} = 0,001$, малое

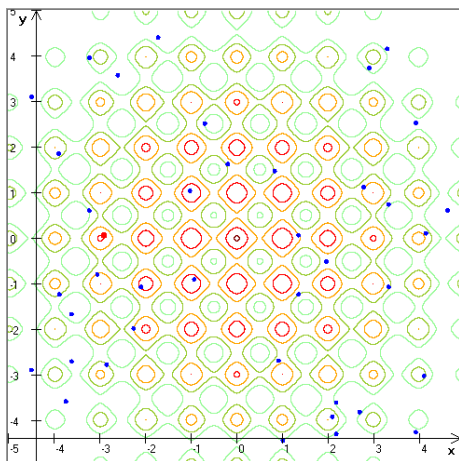


Рис. 7. Начальная итерация

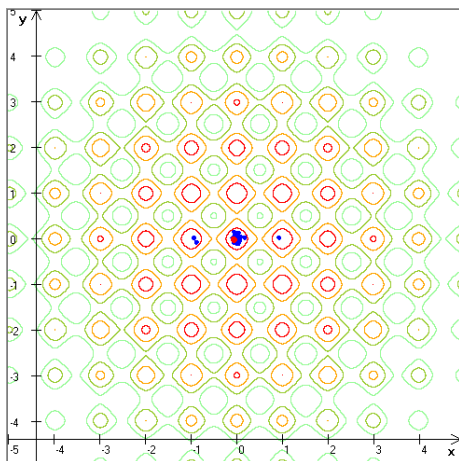


Рис. 8. Конечная итерация

VIII. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ

Для описанных методов проведем серии из 100 решений рассмотренной задачи (1) с одними и теми же значениями параметров (табл. 2 – 4), как в рассмотренном выше примере (3). Для полученной выборки

Таблица 2. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДА, ИМИТИРУЮЩЕГО ПОВЕДЕНИЕ СТАИ РЫБ

Параметры метода					
NP	$ITER$	W	W_{scale}	$step_{ind0}$	$step_{ind1}$
100	10000	4000	4500	0,5	0,05
Статистические характеристики					
$\overline{\Delta f}$	Δf_{best}	$\overline{\sigma_f}$	$n_{усн}$		
26,2	0	6,2	10		

Таблица 3. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДА, ИМИТИРУЮЩЕГО ПОВЕДЕНИЕ СТАИ КРИЛЯ

Параметры метода						
NP	$ITER$	N_{max}	V_f	D_{max}	μ	c_i
40	10000	0,01	0,02	0,005	0,5	0,2
Статистические характеристики						
$\overline{\Delta f}$	Δf_{best}	$\overline{\sigma_f}$	$n_{усн}$			
20,13	0	1,3	99			

Таблица 4. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДА, ИМИТИРУЮЩЕГО ИМПЕРИАЛИСТИЧЕСКУЮ КОНКУРЕНЦИЮ

Параметры метода					
N_{pop}	$ITER$	N_{imp}	β	γ	ξ
300	500	50	0,5	0,05	0,01
Статистические характеристики					
$\overline{\Delta f}$	Δf_{best}	$\overline{\sigma_f}$	$n_{усн}$		
19,1	0,6	1,2	5		

положительное число $\mu = 0,5$ и $c_i = 0,2$, максимальная скорость передвижения к источнику пищи $V_f = 0,002$, максимальная скорость диффузии криля $D_{max} = 0,0005$.

Результат представим в табл. 5 и сравним его с результатами в табл. 1. Можно заметить, что гибридный алгоритм показал хороший результат, причем ресурсы, затраченные на его применение, не превосходят те, которые пришлось потратить на решение задачи с помощью трех других алгоритмов в отдельности.

Х. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработано алгоритмическое и программное обеспечение трех метаэвристических методов условной глобальной оптимизации: «имитирующего поведение стаи рыб», «имитирующего популяцию криля»,

Таблица 5. РЕЗУЛЬТАТ РАБОТЫ ГИБРИДНОГО МЕТОДА

Название метода	Значения координат	Значение целевой функции	Отклонение от точного решения
Гибридный алгоритм	$(x^*; y^*)^T = (0; 0)^T$	$f(x^*, y^*) = 0$	$\Delta = 0$

«империалистическую конкуренцию». Сформированное программное обеспечение позволяет: находить экстремум многоэкстремальных функций двух переменных со сложной структурой линий уровня; выбирать целевую функцию из списка стандартных тестовых функций двух переменных со сложной структурой линий уровня; визуализировать линии уровня функций и пошаговый процесс поиска решения; подбирать параметры методов.

Для каждого метода были исследованы целевые функции из стандартного набора тестовых функций и подобраны наиболее подходящие параметры методов для достижения оптимального решения. Показана эффективность рассмотренных алгоритмов на этом наборе тестовых функций.

На основе двух рассмотренных метаэвристических методов, имитирующих поведение стаи криля и империалистическую конкуренцию, разработан гибридный алгоритм и показана его эффективность на наборе стандартных тестовых функций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Пантелеев А.В., Метлицкая Д.В., Алешина Е.А. Методы глобальной оптимизации. Метаэвристические стратегии и алгоритмы. – М.: Вузовская книга, 2013.
- [2] Пантелеев А.В., Летова Т.А. Методы оптимизации в примерах и задачах, 4-е изд.– СПб.: «Лань», 2015. 512 с.
- [3] Каранэ, М.М.С. Программное обеспечение метода, имитирующего поведение стаи рыб // Гагаринские чтения – 2017: сб. тезисов. – Москва, 2017. – С. 60-61.
- [4] Каранэ, М.М.С. Метод, имитирующий поведение стаи рыб // Научный альманах ИНЖЭКИН. Выпуск №23, 2018. С. 36–43.
- [5] Bastos-Filho C., de Lima Neto F., Lins A., Nascimento A., Lima M. A Novel Search Algorithm based on Fish School Behavior// 2008 IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics. - SMC 2008.
- [6] Bastos-Filho C., de Lima Neto F., Lins A., Nascimento A., Lima M. On the Influence of the Swimming Operators in the Fish School Search Algorithm// IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics. - SMC 2009.
- [7] Каранэ, М.М.С. Программное обеспечение метода, имитирующего поведение стаи криля // Гагаринские чтения – 2018: сб. тезисов. – Москва, 2018. – С. 333-334.
- [8] Amir Hossein Gandomi, Amir Hossein Alavi. Krill herd: A new bio-inspired optimization algorithm // Commun Nonlinear Sci Numer Simulat, 2012. P. 4831–4845.
- [9] Nebojsa Bacanin, Branislav Pelevic, Milan Tuba. Krill herd (KH) algorithm for portfolio optimization, 2013.
- [10] Atashpaz-Gargari E., Lucas C. Imperialist Competitive algorithm: an algorithm for optimization inspired by imperialist competition // Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2007. P. 4661–4667.
- [11] Kaveh A., Talatahari S. Imperialist competitive algorithm for engineering design problems // Asian Journal of Civil Engineering (building and housing), V.11, № 6, 2010. P. 675–697.

Применение аддитивных технологий в учебном проектировании

Инженерная практика в довузовской подготовке

Е.П. Касаткина, О.А. Поляков

Кафедра инженерной графики
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва, Россия
KasatkinaYP@mpei.ru

В.М. Власов

11 класс
ГБОУ «Школа №1502 при МЭИ»
Москва, Россия

Аннотация — Представлен опыт использования современных САД систем и аддитивных технологий для реализации результатов учебного проектирования на этапе довузовской подготовки как путь к решению проблемы обучения графическим дисциплинам.

Ключевые слова — графические дисциплины, аддитивные технологии, довузовская подготовка, инженерные классы, проектирование

I. ВВЕДЕНИЕ

Создание инженерных классов в школах г. Москвы стало массовым явлением, которое поддерживается руководящими органами образования. Программа обучения в таких классах находится, по сути, в стадии разработки и требует активного участия преподавателей инженерных вузов. Одним из показателей качества работы инженерного класса является успешное участие учеников в творческих конкурсах, интеллектуальных состязаниях, конференциях как внутренних российских, так и международных.

Целью такой подготовки является создание прочной базовой системы знаний, умений и навыков, которыми должен владеть ученик, и которые позволят ему ориентироваться в мире инженерных профессий и далее успешно обучаться в вузе.

Актуальной задачей является включение в учебный процесс на начальной стадии инженерной подготовки знаний о современных технологиях на всех этапах создания реальных изделий: от проекта до готового продукта.

Слабая подготовка по дисциплинам геометро-графического цикла во многих школах России является сегодня важной проблемой.

Для достижения поставленной выше цели в период обучения графическим дисциплинам должны быть использованы проблемные, проблемно-поисковые и творческие учебные задания, к которым можно отнести проекты.

При выборе темы учебного проекта необходимо учитывать следующее:

- уровень начальных знаний и навыков ученика, который позволит ему приступить к работе над проектом;
- актуальность выбранной темы проекта;
- тема проекта должна быть понятной и интересной для обучаемого;
- объём учебных задач в ходе работы над проектом должен быть индивидуализирован и соизмерим с возможностями конкретного ученика;
- в процессе проектирования учащийся должен приобрести новые знания, умения и навыки по графическим дисциплинам, научиться самостоятельно расширять их и применять для решения практических задач.

В данной статье представлен опыт работы учащегося 11 класса над проектом по теме «Разработка новой конструкции изделия «Подставка для гаджетов»».

II. АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРИВЫЧНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Аддитивные технологии (АТ) или 3D-печать – изначально разговорное, теперь общепринятое название целого спектра разнообразных методов послойного синтеза. Оно дает общее представление о методе изготовления изделия. Поначалу АТ позволяли создавать лишь прототипы, однако и это стало прорывом в индустрии. Сегодня уровень технологий вырос и от прототипов переходят к созданию заготовок, оснастки и конечных изделий.

АТ нашли своё применение в авиации, космической промышленности [1], автомобилестроении, энергетике, архитектуре [2], строительной индустрии, медицине и так далее. Следующий виток развития АТ будет направлен в сторону большей автоматизации в рамках «Индустрии 4.0». Эксперты считают, что новые технологии позволят на треть сократить время выхода изделий.

Современные аддитивные материалы (АМ) по характеристикам приблизились к промышленным аналогам и их развитие продолжается. Применение

аддитивных материалов и технологий становится все шире.

По данным, опубликованным в Wohler Reports, распределение услуг 3D-печати по материалам выглядит так: 51% приходится на полимеры, 29,2% – на металл и полимер, 19,8% – на металлы [3].

Существует несколько основных видов аддитивных технологий:

- *FDM (Fused deposition modeling)* – изделие формируется послойно из расплавленной пластиковой нити;
- *CJP (ColorJet printing)* – единственная в мире 3D полноцветная печать с принципом склеивания порошка, состоящего из гипса;
- *SLS (Selective Laser Sintering)* – технология лазерного запекания, при которой образуются особо прочные объекты любых размеров.
- *MJM (MultiJet Modeling)* многоструйное 3D моделирование с использованием фотополимеров и воска;
- *SLA (Laser Stereolithography)* – с помощью лазера происходит послойное отверждение жидкого полимера.

К недостаткам АТ сегодня можно отнести высокую стоимость оборудования и материалов, но она постепенно снижается.

АТ кардинально изменили подходы к проектированию и производству изделий и внесли принципиальные изменения в понятия «Деталь» и «Сборочная единица».

В соответствии с ГОСТ 2.101-2016 [4] деталь – это изделие, выполненное из однородного по марке и наименованию материала без применения сборочных операций, а сборочная единица – это изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, сочленением, клёпкой, сваркой, пайкой и т.п.). Применение АТ, в частности FDM технологии, позволяет выполнить сложный узел, состоящий из нескольких деталей, без применения реальных сборочных операций. В этом случае операция сборки происходит виртуально на этапе создания 3D модели. Это обстоятельство частично нашло отражение в ГОСТ 2.052-2006 [5], где вводится понятие «электронная модель изделия (ЭМИ)».

Перспективность АТ приводит к выводу о необходимости их освоения на раннем этапе инженерной подготовки в качестве важного фактора, мотивирующего интерес к изучению дисциплин конструкторско-технологического цикла и, в частности, инженерной и компьютерной графики.

В описываемом учебном проекте для создания изделия «Подставка для гаджетов» применялась FDM технология с использованием камерного принтера Uprint SE,

позволяющего избежать термонапряжения, материал – ABS пластик.

III. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАБОТЫ НАД ПРОЕКТОМ

A. *Определение цели работы, задач и формулировка гипотезы исследования*

Целью проектной работы по представленной теме является разработка и создание оригинального изделия «Подставка для гаджетов» (мобильных телефонов, планшетов, электронных книг) с применением современных CAD систем.

Выбор задач учебного проектирования связан с необходимостью приобретения учеником умений и навыков в области графических дисциплин, систематизации подхода к проектированию изделий, освоения современных технологий 3D моделирования и прототипирования. Поэтому в представленной работе задачи учебного проектирования были сформулированы следующим образом:

- изучить этапы проектирования;
- изучить возможности современных CAD систем (AutoCAD, SolidWorks) и оборудования для разработки и создания новых изделий;
- разработать конструкцию оригинального изделия «Подставка для гаджетов» с применением современных CAD систем с учётом эргономических, эстетических и утилитарных требований к изделию;
- использовать символику НИУ «МЭИ» в дизайне изделия;
- создать, испытать и сравнить опытные образцы изделия.

В качестве гипотезы исследования была выдвинута следующая:

- современные средства конструирования (CAD системы) позволяют выполнять виртуально сборочные операции при создании изделий;
- с использованием АТ изготовление изделий, имеющих подвижные узлы, возможно без применения реальных сборочных операций.

B. *Анализ имеющихся изделий*

Для анализа были выбраны готовые изделия различных конструкций, выполненные из разных материалов. В том числе изделия из пластика, натуральных материалов (камня, дерева), металлических сплавов.

Изделия сравнивались по следующим качествам:

- устойчивость;
- возможность трансформации;
- возможность компактной транспортировки;

- оригинальность дизайна;
- стоимость.

С. Формулировка технического задания

Техническое задание было сформулировано следующим образом: разработать модель изделия «Подставка для гаджетов», удовлетворяющую следующим требованиям:

- подставка должна быть устойчивой в рабочем положении;
- подставка должна иметь возможность трансформации угла наклона лицевой панели в рабочем положении от 0° до 90° к горизонтали;
- подставка должна компактно складываться для удобства её транспортировки;
- дизайн-решение должно содержать символику НИУ «МЭИ» и института Энергетического машиностроения и механики;
- изделие должно быть представлено в виде 3D-модели и опытного образца.

Д. Сравнение методов производства изделий из пластика

На данном этапе работы над проектом учащимся проводилось сравнение таких методов производства изделий как литьё пластика под давлением, литьё в силиконовую форму, 3D-печать на принтере. Рассматривались следующие показатели: возможность тиражирования, скорость изготовления, наличие подготовительных работ, качество поверхности изделия, стоимость производства.

В результате анализа учащимся было установлено, что при литейных методах производства изделий из пластика требуются подготовительные работы и сам процесс изготовления длится несколько недель. Поэтому целесообразно применять эти методы для мелкосерийного и крупносерийного производства изделий. При изготовлении изделий на 3D принтере подготовительные работы отсутствуют, скорость изготовления изделия составляет от нескольких часов до нескольких дней, что позволяет создавать единичные оригинальные экземпляры изделий.

Метод 3D-печати не требует дополнительного оборудования и позволяет добиться довольно высокой точности и хорошего качества поверхности изделия, которые зависят от применяемого принтера и материала.

Е. Разработка технического предложения. Выполнение эскизов и рабочих чертежей изделия

При разработке технического предложения рассматривались различные варианты конструкции будущего изделия (рис.1). При этом учитывались его эстетические, эргономические и экономические качества:

- устойчивость и компактность;

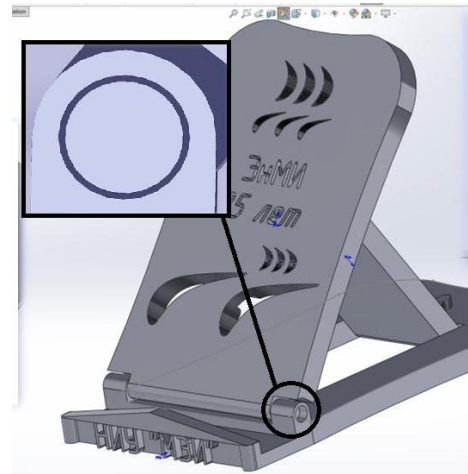


Рис. 1. Первый вариант конструкции изделия

- возможность и удобство изменения угла наклона лицевой панели к горизонтали;
- пропорции размеров, соответствующие гармоническому сечению;
- габаритные размеры, определяемые предельными возможностями оборудования;
- использование символики НИУ «МЭИ»;
- минимизация времени изготовления и количества используемого материала.

Варианты конструкции вначале выполнялись в эскизах, а затем в рабочих чертежах (рис.2) и 3D-моделях. Для этого учащийся освоил современные САД системы (AutoCAD, SolidWorks).

Ф. Изготовление на 3D принтере и испытание опытных образцов изделия

Для изготовления опытных образцов был применён камерный принтер Uprint SE с размерами рабочей зоны 152x152x203 мм, толщиной слоя 254 мкм. Материал модели – высокопрочный промышленный ABS-пластик, материал поддержки – нить растворимого полимера, удаляемого в специальной станции в автоматическом режиме.

Подготовка рабочих файлов осуществлялась с помощью программ CatalystEX, Stratasys.

Испытание первого опытного образца показало, что поворотный механизм изделия работает и, следовательно, он может быть создан без применения реальных сборочных операций, заменив их на виртуальные.

В результате испытаний первого опытного образца также были выявлены следующие недостатки конструкции изделия:

- при испытаниях на прочность петли не выдержали нагрузок и надломались,

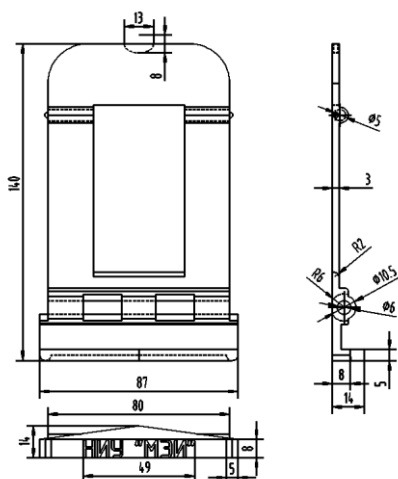


Рис. 2. Чертёж скорректированной панели основания изделия

следовательно, узел вращения «втулка – стержень» непрочен и требует изменения конструкции;

- отсутствуют конструктивные элементы, позволяющие вывести подставку в рабочее положение после транспортировки – неудобно открывать изделие;
- для изготовления изделия требуется длительное время (6 часов);
- нерационально расходуется материал.

После испытаний учащимся была произведена корректировка элементов конструкции (рис. 2, 3, 4):

- узел вращения был разбит на секторы;
- увеличена толщина стенок втулки и уменьшен диаметр стержня;
- на задней стенке лицевой панели предусмотрены рёбра, позволяющие экономить материал;
- на боковых поверхностях лицевой панели предусмотрены впадины в форме цилиндрических сегментов.

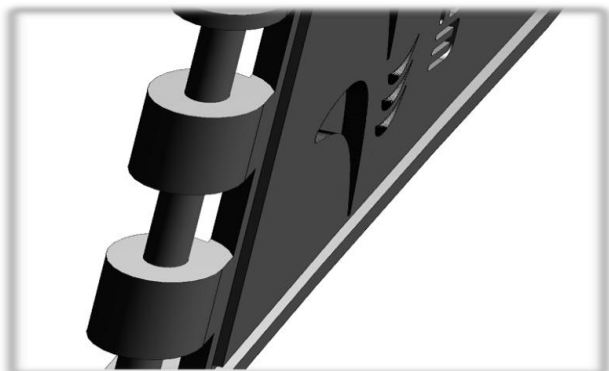


Рис. 3. Стержень узла вращения (лицевая панель)

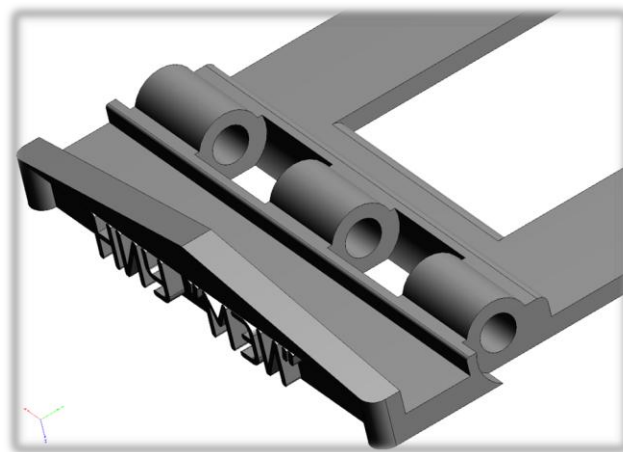


Рис. 4. Конструкция втулок в основании подставки

Испытания второй версии изделия прошли успешно, что подтвердило сформулированную ранее гипотезу о возможности выполнять виртуально сборочные операции при создании изделий, используя современные CAD системы.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главными результатами данной проектной работы являются приобретенные учащимся знания в области инженерной и компьютерной графики, умения и навыки работы в среде современных CAD систем, систематизация представлений об этапах создания новых изделий, современных аддитивных технологиях.

Проектная работа ученика школы №1502 при МЭИ В.М. Власова получила диплом на Международной конференции «Потенциал-2018».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Исаченко В. А., Астахов Ю. П., Саушкин Б. П. Технологии ракетно-космического машиностроения — проблемы и перспективы/Технология машиностроения, 2016, № 1. С. 10-14.
- [2] Naomi Ando, Shota Ishii, Nobuhiro Yamahata, Akihiro Shibata “A study on the parametric architecture – development of computer graphic materials for architectural design education”, Proceedings of the 16th International Conference on Geometry and Graphics Innsbruck, August 4-8, 2014, pp. 1206-1218, Innsbruck university press, Austria, 2014
- [3] Казмирчук К. Аддитивные технологии в промышленности. Новые примеры использования. Конструктор. Машиностроитель, журнал. 27.09.2017 <https://konstructor.net/kompanija/konstruktor-mashinostroitel-zhurnal-69/html>.
- [4] ГОСТ 2.101 – 2016 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Виды изделий. Межгосударственный стандарт.
- [5] ГОСТ 2.052-2006 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Электронная модель изделия. Общие положения

Индуктивный анализ графов тепловых и электрических сетей

Кирсанов М.Н.
профессор кафедры РМДПМ НИУ "МЭИ"
Москва, Россия
c216@ya.ru

Очков В.Ф.
профессор кафедры ТОТ НИУ "МЭИ"
Москва, Россия
ochkov@tw.t.mpei.ac.ru

Бабичев И.А.
Магистрант кафедры УИИ НИУ "МЭИ"

Аннотация — Для решения проблем идентификации тепловых и электрических сетей приводится алгоритм вывода зависимостей некоторых числовых характеристик графов от их порядка. Рассмотрены графы периодической структуры: полные графы, магистральные графы и их реберные образы. Обобщение решений на произвольные порядки графов производится методом индукции с получением и решением рекуррентных уравнений для коэффициентов искомого формул. Используются операторы специальных пакетов GraphTheory и genfunc системы компьютерной математики Maple.

Ключевые слова — индукция; магистральный граф; сеть; граф; идентификация; Maple

I. ВВЕДЕНИЕ

Для успешного выполнения и сдачи лабораторных работ студентам, обучающимся по направлениям связанным с теплоэнергетикой, электроэнергетикой и электроникой необходимо знать схемы цепей, которые будут реализованы на экспериментальных стендах находящихся в учебных лабораториях (рис. 1).

Не все стенды могут быть оборудованы защитой от неправильной сборки цепей и в результате приходят в непригодность. Чтобы избежать таких случаев необходимо перед выполнением работы за стендом проверить у студента знание нужной схемы. Ручная проверка схем каждого обучающегося занимает много времени, также возможны пропуски некоторых ошибок при достаточно больших схемах. Знание схем необходимо также и персоналу, эксплуатирующему и ремонтирующее реальные энергетические установки. В связи с этим необходимо разработать программу-тренажер, которая будет проверять студентов и сотрудников знания схемы перед выполнением работы.

В описываемой программе будут сравниваться две схемы: одна спроектированная пользователем, а вторая эталонная. Схемы будут представляться в виде обыкновенных графов. В общем случае вершины этих графов наделены весами — параметрами оборудования, расположенного в этих вершинах.

Проблема кодировки сетей непосредственно связана с задачей сравнения графов. Для выявления ошибок проектирования сетей, имеющих достаточно сложную структуру, а также для создания тренажеров для обучения персонала работе с сетью, необходимо иметь возможность



Рис. 1 Стенд

сравнивать различные сети. При этом в отсутствие единых правил кодировок сетей (что совершенно естественно, так как каждый проектировщик имеет свои подходы к решению задачи, обозначения, приоритеты и т.д.) ставится задача сравнения графов этих сетей. Нумерация вершин и ребер сравниваемых графов может быть разная, матрицы смежности и инцидентности одинаковых графов должны иметь, конечно, одинаковые размеры, но, как известно, полные инварианты графов еще не найдены. Однако, Hassler Whitney из Гарвардского университета в 1932 г. сформулировал и доказал теорему [1], согласно которой в качестве таких инвариантов могут быть, в частности, числовые параметры реберных образов $L(G)$ исходных графов G . Реберные графы получаются по заданным графам однозначно, что делает выбор параметров реберных графов для процедур сравнения объективным.

II. ФОРМУЛА ДЛЯ ЧИСЛА ВЕРШИННОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ

Одним из числовых показателей графа является число его вершинной независимости. Прежде чем переходить к процедурам сравнения произвольных графов, необходимо опробовать алгоритм на каких-то базовых графах, к числу каких относятся полные графы. Очевидно, реальные сети имеют большие размеры и порядки, поэтому для удобства пользователей и увеличения скорости работы алгоритма имеет смысл получить формульное представление какого-либо параметра графа, выбранного для сравнения схем, от порядка этого графа. В данной задаче найдем зависимость числа вершинной независимости реберного образа

полного графа $L(K_n)$ от n . Воспользуемся оператором **CompleteGraph** системы Maple для создания полного графа, оператором **LineGraph** для преобразования его в реберный (линейный) граф и оператором **IndependenceNumber** для получения числа вершинной независимости ε_0 графа $L(K_n)$. В цикле по n от 3 до 14 получим следующую последовательность 1, 2, 2, 3, 3, 4, 4, 5, 5, 6, 6, 7. Далее методом индукции следует получить общий член этой последовательности. Подключая специализированный пакет **genfunc** системы Maple, применим оператор **rgf_findrecur** для получения рекуррентного уравнения, которому удовлетворяют члены этой последовательности. Заметим, что оператор требует четное число членов анализируемой последовательности, а необходимая ее длина (в данном случае 14) определяется из физической достоверности полученного решения и проверки решения для произвольных порядков графа. Следует также иметь в виду, что особенностью аналитических преобразований в системе Maple является малая скорость и заметный рост времени работы программы с увеличением числа n . Так, если результат при $n=3$ или $n=4$ получается за секунды, то при $n=20$ — уже за часы. Вполне возможно существования какого-то реального предела размера графа, при котором результат практически недостижим. Именно поэтому здесь актуальным является метод индукции. Численные алгоритмы, ускоряющие этот процесс, неизвестны в такой постановке.

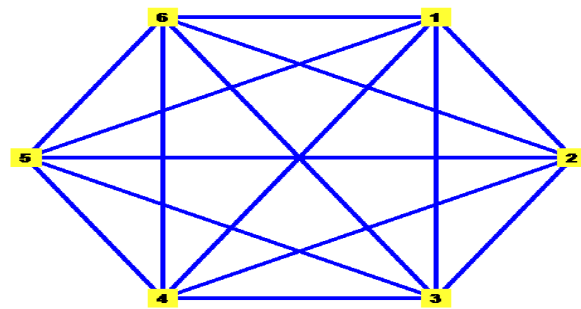


Рис. 2. Полный граф K_6

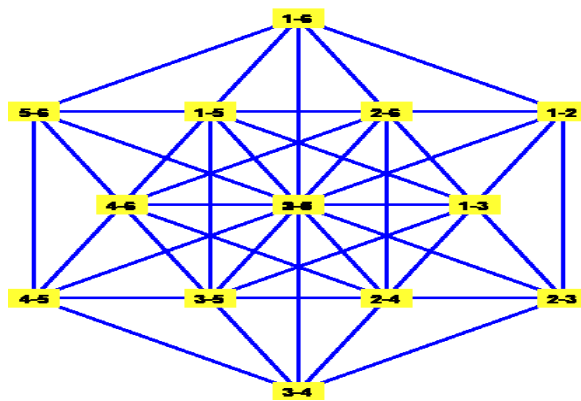


Рис. 3. Реберный граф $L(K_6)$

Для контроля работы алгоритма программа выдает изображения анализируемых графов. Для этого используется оператор **DrawGraph** (рис. 2,3).

Полученное рекуррентное уравнение имеет вид

$$\varepsilon_0(L(K_n)) = \varepsilon_0(L(K_{n-1})) + \varepsilon_0(L(K_{n-2})) - \varepsilon_0(L(K_{n-3})).$$

Решение уравнения с начальными условиями $\varepsilon_0(L(K_1))=1$, $\varepsilon_0(L(K_2))=2$, $\varepsilon_0(L(K_3))=2$ можно получить оператором **rsolve**, встроенным в ядро Maple: $\varepsilon_0(L(K_n)) = (2n - 1 + (-1)^n) / 4$.

Найденная зависимость существенно упрощает получения числа вершинной независимости реберного образа полного графа. В случае анализа изоморфизма графов тепловых сетей большой размерности в тренажерах, где требуется высокая скорость (в режиме on-line), это может иметь решающее значение.

III. ИНВАРИАНТЫ ГРАФА В СИСТЕМЕ MAPLE И СПОСОБЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ИЗОМОРФИЗМА

Процесс сравнения графов тепловых сетей можно также начинать со сравнения очевидных чисел: порядка, размера, максимальной и минимальной степени вершин и др. [2-7]. Для получения этих чисел не требуются какие-либо специальные операторы. В случае выявления различий на этом этапе (фильтр уровня 1) более сложные характеристики не потребуются. Значительно сложнее задача сравнения графов, совпадающих в основных численных характеристиках. В этом случае необходимо

выявить более сложные особенности графов (фильтр уровня 2). В частности, можно предложить сравнить хроматические числа и индексы вершинной и реберной раскраски (в системе Maple это операторы **CircularChromaticIndex**, **CircularChromaticNumber**, **CircularEdgeChromaticNumber**, **EdgeChromaticNumber**), а также рассмотренные выше числа вершинной независимости. При этом следует сравнивать как сами графы, так, следуя Уитни [1], реберные образы графов. Кроме этих операторов можно применить и операторы выявления числа остовов **NumberOfSpanningTrees**, диаметр: **Diameter** и сравнить радиусы. К сожалению, оператора выявления радиуса в Maple нет, однако, для этой цели можно воспользоваться алгоритмом, приведенным в [8]. Для получения степенной последовательности есть удобный оператор **DegreeSequence**.

Совпадение степенных последовательностей графов — необходимый критерий их изоморфизма. В случае сетей со взвешенными вершинами (здесь "вес" понимается в общем смысле, как элемент некоторого множества, например устройств или измерительных приборов) возможен упрощенный способ определения изоморфизма по сравнению, например, матриц смежности с отмеченными вершинами. Однако, это также дает только необходимый критерий.

Кроме того, можно использовать алгоритм сравнения [9], в котором анализ графов проводится с помощью их топологических кодов, состоящих из строк верхнего

треугольника матрицы смежности, или алгоритмы [10-13], в основе которых лежит сравнение канонических матриц смежностей сравниваемых графов.

IV. ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ДЕРЕВО. ФОРМУЛА ДЛЯ ЧИСЛА ВЕРШИННОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ

Для большей общности классов сравниваемых графов, если речь идет о структурно-регулярных графах, т.е. графах однозначно образуемых своими натуральными числами, необходимо получить формульные представления их характеристик с возможно большим числом параметров графов. Для рассмотренных полных графов и их реберных образов это только одно число — порядок графа. Рассмотрим дерево $F_{n,m}$ магистрального типа со стволом (главная магистраль сети) из $n > 2$ вершин и ветвями размера m . Все вершины на стволе кроме корня и вершины имеют степень 3 (рис. 4). Размер графа $(n-2)m+n-1$. Найдем зависимость числа вершинной независимости ϵ_0 этого графа от n при $m=2$.

Воспользуемся пакетом **GraphTheory** системы компьютерной математики Maple для создания графа и вычисления ϵ_0 . Оператор **Graph**([Vert], {Mgstr, seq(Trail(k, Vtv), k=2..n-1)}); создает граф Fnm сети, где первый аргумент [Vert:=seq(i, i=1..(n-2)*m+n)] — список всех вершин графа, второй аргумент Mgstr:=Trail(seq(i, i=1..n)) — список вершин, входящих в главную магистраль (ствол дерева). Последний аргумент, создается двойным списком ветвей

$$Vtv:=seq(Trail(k, n+m*k-2*m+j, j=1..m),$$

каждая из которых имеет размер m .

В пакете **GraphTheory** системы Maple есть оператор **IndependenceNumber** для вычисления числа вершинной независимости ϵ_0 графа. В цикле по длине магистрали n от 3 до 8 при $m=1$ получим последовательности чисел ϵ_0 3, 4, 5, 6, 7, 8. Длина последовательности, необходимая для нахождения ее общего члена как правило выявляется экспериментально. Однако для $m=1$ решение очевидно: $\epsilon_0(F_{n,1}) = n$. При $m=2$ (ветви длиной 2) решение немного сложнее: 3, 4, 6, 7, 9, 10. Здесь для получения общей формулы имеет смысл применить операторы специализированного пакета **genfunc** системы Maple. Оператор **rgf_findrecur** возвращает однородное рекуррентное уравнение для членов последовательности третьего порядка:

$$\epsilon_0(F_{n,2}) = \epsilon_0(F_{n-1,2}) + \epsilon_0(F_{n-2,2}) - \epsilon_0(F_{n-3,2}),$$

а оператор **rsolve** с начальными условиями $\epsilon_0(F_{1,2}) = 3$,

$\epsilon_0(F_{2,2}) = 4$, $\epsilon_0(F_{3,2}) = 6$ дает решение

$$\epsilon_0(F_{n,2}) = (6n - 7 - (-1)^n) / 4.$$

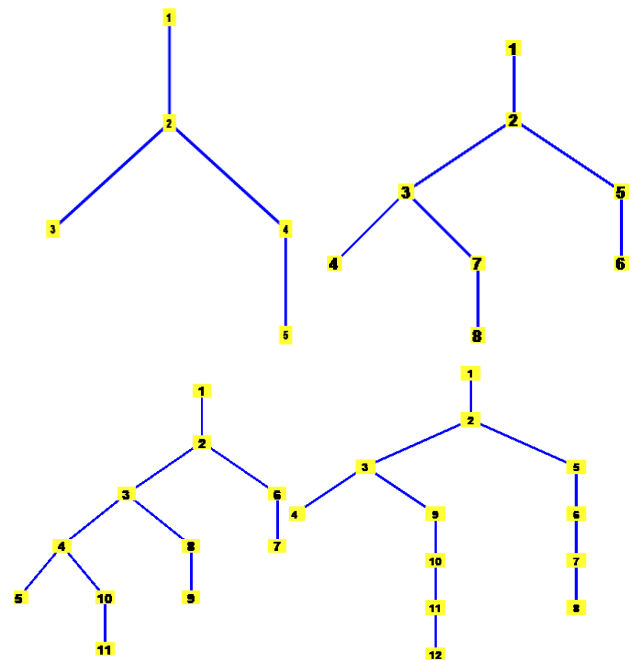


Рис. 4. Магистральные графы $F_{3,2}$, $F_{4,2}$, $F_{5,2}$ и $F_{4,4}$

Аналогично, для других значений m получаем

$$\epsilon_0(F_{n,3}) = 2(n-1), \epsilon_0(F_{n,4}) = (10n - 15 - (-1)^n) / 4,$$

$$\epsilon_0(F_{n,5}) = 3n - 4, \epsilon_0(F_{n,6}) = (14n - 23 - (-1)^n) / 4,$$

$$\epsilon_0(F_{n,7}) = 4n - 6.$$

В зависимости от m коэффициент при n меняется: $8/4, 10/4, 12/4, 14/4 \dots$. Очевиден шаг $2/4$. Точно также получаем зависимость от m коэффициентов при свободных членах и «мигающего» слагаемого $(-1)^n$. Проведенная достаточно простая индукция по параметру m оказалась простой, поэтому не потребовались специализированные операторы Maple. В итоге получаем общее решение для числа вершинной независимости магистрального двухпараметрического дерева:

$$\epsilon_0(F_{n,m}) = (4nm - 3(-1)^m - (-1)^n - (-1)^{n+m} - 8m + 4n + 5) / 8.$$

Наличие готовой формулы для одной из базовых характеристик графа существенно упрощает анализ сети, особенно если задача ставится для графов структурно регулярных. В данном случае закономерности удалось получить при $n < 10$. С увеличением n и m время решения, как уже было отмечено выше, растет так быстро, что для реальных сетей с числом вершин, исчисляемых десятками и сотнями, алгоритмы Maple становятся непригодными по лимиту времени. Найденная аналитическая зависимость, справедливая (без потери точности) снимает все эти проблемы.

V. ЧИСЛО ВЕРШИННОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ РЕБЕРНОГО ВАРИАНТА ГРАФА МАГИСТРАЛЬНОГО ТИПА И ДИАМЕТР ГРАФА

Характеристики реберных образов исходных графов являются удобными инвариантами графа, необходимыми для идентификации или сравнения сетей.

Получим зависимость числа вершинной независимости для реберного варианта изучаемых графов (рис. 5). Для изображения графа используется оператор **DrawGraph**. Оператор **LineGraph** преобразует граф в реберный (вершина графа $L(G)$ есть ребро графа G).

Как и предыдущем случае проводится индукция по n при фиксированных m . С использованием операторов **rgf_findrecur** и **rsolve** получим

$$\varepsilon_0(L(F_{n,1})) = n - 2, \quad \varepsilon_0(L(F_{n,2})) = (6n - 9 + (-1)^n) / 4,$$

$$\varepsilon_0(L(F_{n,3})) = 2n - 4, \quad \varepsilon_0(L(F_{n,4})) = (10n - 17 + (-1)^n) / 4,$$

$$\varepsilon_0(L(F_{n,5})) = 3n - 6.$$

Индукция по m дает окончательную зависимость параметра, используемого для сравнения графов

$$\varepsilon_0(L(F_{n,m})) = (4nm + 3(-1)^m + (-1)^n + (-1)^{n+m} - 8m + 4n - 5) / 8.$$

Еще одной численной важной характеристикой графа является его диаметр. В системе Maple есть такой оператор: **Diameter**. С помощью него, пользуясь этим же алгоритмом (в программе достаточно заменить оператор **IndependenceNumber** на оператор **Diameter**) получим общую формулу для диаметра D магистрального графа произвольного порядка: $D_{3,m} = m + 1$, $D_{n,m} = n + 2m - 3$, $n > 3$.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные формулы относятся к графам специального вида. Расширение списка таких графов позволит решать более сложные задачи сравнения графов для выявления расхождений в исследуемых сетях и

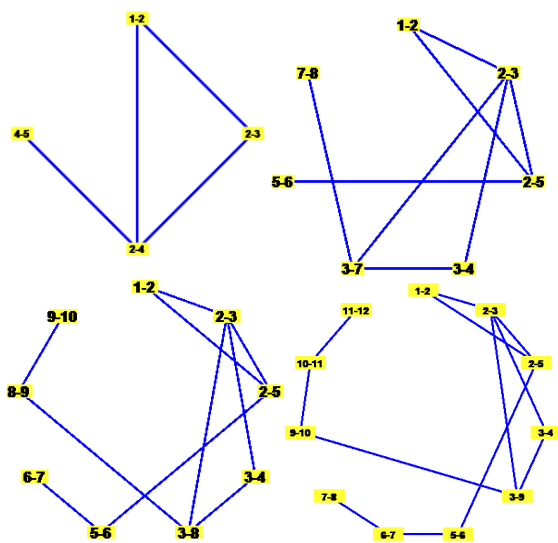


Рис. 5. Реберные графы $L(F_{3,2})$, $L(F_{4,2})$, $L(F_{5,2})$ и $L(F_{4,4})$

тестовых. В перспективе весьма возможно потребуется как-то упорядочить структурно-регулярные графы. В общем же случае, решение проблемы изоморфизма графов сетей может быть найдено из прохождения по фильтрам разного уровня с углублением исследования на каждом из них. Одним из первых уровней фильтрации может быть предлагаемые параметры, для которых получены аналитические зависимости от чисел, ответственных за структуру графа.

Другое направление в развитии алгоритмов идентификации графов сетей – это выделение из общего графа отдельных частей, обладающих каким-либо периодическим свойством (например, рассмотренным свойством магистральности), для которых применимы полученные формулы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны Алексею Очкову, который был инициатором этой работы и который безвременно ушел из жизни летом 2017 г.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Whitney H. Congruent graphs and the connectivity of graphs // Am. J. Math. 1932. Т. 54. С. 160-168. DOI:10.2307/2371086.
- [2] Dirk L. Vertigan, Geoffrey P. Whittle A 2-Isomorphism Theorem for Hypergraphs // J. Comb. Theory, Ser. B. — 1997. — Т. 71, вып. 2. — С. 215-230. — DOI:10.1006/jctb.1997.1789.
- [3] Пономаренко И. Н. Проблема изоморфизма графов: алгоритмические аспекты (записки к лекциям). СПб. Математический институт им. В.А. Стеклова. 2010. 57 с.
- [4] Курейчик В. М., Глушань В. М., Щербаков Л. И. Комбинаторные аппаратные модели и алгоритмы в САПР. М.: Радио и связь, 1990. 216 с.
- [5] Земляченко В. Н., Корнеев Н. М., Тышкевич Р. И. Проблема изоморфизма графов // Записки научных семинаров ЛОМИ. 1982. Т. 118. С. 83-158.
- [6] Малинин Л. И., Малинина Н. Л. Изоморфизм графов в теоремах и алгоритмах - М.: URSS. – 2009.
- [7] Погребной В. К. Решение задачи определения изоморфизма графов, представленных атрибутными матрицами // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2012. Т. 321. №. 5.
- [8] Кирсанов М.Н. Графы в Maple. Задачи, алгоритмы, программы. Moscow: FIZMATLIT, 2007. 168 p.
- [9] Cheng-HoHsu, Kin-TakLam. Topological code of graphs. Journal of the Franklin Institute, January 1992, Pp. 99-109.
- [10] Huafeng Ding, Zheng Huang. Isomorphism identification of graphs: Especially for the graphs of kinematic chains. Mechanism and Machine Theory, January 2009, Pp. 122-139.
- [11] Kratsch S., Schweitzer P. Graph isomorphism for graph classes characterized by two forbidden induced subgraphs // Discrete Applied Mathematics. 2017. Vol. 216. Pp. 240-253. https://doi.org/10.1016/j.dam.2014.10.026
- [12] Das B., Enduri M. K., Reddy I. V. Polynomial-time algorithm for isomorphism of graphs with clique-width at most three. Theoretical Computer Science. 2017. https://doi.org/10.1016/j.tcs.2017.09.013
- [13] Calude C. S., Dinneen M. J., Hua R. QUBO formulations for the graph isomorphism problem and related problems. Theoretical Computer Science. 2017. Vol. 701. Pp. 54-69. https://doi.org/10.1016/j.tcs.2017.04.016

Об особенностях алгоритмического обеспечения и применения вычислительных методов в задачах курса механики материалов и конструкций

Коровайцева Е.А.
НИИ механики
МГУ им. М.В. Ломоносова
Москва, Россия
katrell@mail.ru

Хроматов В.Е.
НИУ МЭИ
Москва, Россия
KhromatovVY@mpei.ru

Аннотация — Приведены особенности современного изложения курса механики материалов и конструкций (сопротивления материалов), постановка задач и их традиционные методы решения. Предложена пятизвенная модель практических занятий курса, показана специфика применения математических пакетов при решении прикладных задач, демонстрирующая необходимость анализа и критического отношения к получаемым результатам расчетов.

Ключевые слова — структурно-логические схемы; алгоритмизация; метод начальных параметров; модальный анализ.

I. ВВЕДЕНИЕ

Большинство классических и вновь переиздаваемых учебников по сопротивлению материалов основываются на традиционных методах изложения разделов механики деформируемого твердого тела и специальных приемах решения задач, определения внутренних сил, напряжений и деформаций. Изучению курсов теоретической механики, сопротивления материалов в вузах предшествует изучение высшей математики (ВМ), физики, начертательной геометрии. Опираясь на основные понятия этих дисциплин, на методы решения задач прикладной и вычислительной математики, можно существенно упростить подход к решению задач механики твердого тела, повысить и укрепить значение междисциплинарного подхода в образовании. Причем в современных условиях сокращения сроков обучения и подготовки инженерных кадров по двухуровневой системе «бакалавр-магистр» приходится пересматривать программы изучаемых инженерно-технических дисциплин. Теоретические вопросы курса – основные определения, иллюстрации, расчетные схемы, вывод расчетных формул – можно представить в структурно-логических схемах [1], что существенно упрощает изучение курса сопротивления материалов. При решении прикладных задач особенно актуальным становится выделение типов задач, обычно рассматриваемых в программе курса, и представление алгоритмов решения сообразно каждому типу [2]. Такая алгоритмизация не только позволяет при минимальных затратах времени рассмотреть больший объем

прикладных задач, но и воспитать у студента чувство уверенности в его возможностях решения любых задач с заданной расчетной схемой. Как правило, решение задач курса сопротивления материалов проводится только аналитическими методами, за исключением реализации программ дисциплины «Механика материалов и конструкций» (ММК), предполагающих привлечение прикладных математических пакетов, таких как MathCAD, Matlab, Mathematica, Maple [3]. В последнем случае алгоритмизация решения задач необходима и для обучения структурному программированию.

II. ПОСТАНОВКА И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КУРСА МЕХАНИКИ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

Все основные разделы дисциплины ММК содержат вывод дифференциальных уравнений, описывающих напряженно-деформированное состояние таких элементов как стержни, пластины, оболочки, толстостенные цилиндры, вращающиеся диски и т.п. Построение решений этих уравнений относится к задачам математической физики, методы решения которых студенты изучают в соответствующих курсах [4]. Задачи колебаний и устойчивости стержней, имеющие важное практическое значение в машиностроении, относятся к задачам математической физики на определение собственных значений функций. Здесь также полезны аналогии между задачами ММК и ВМ. Например, изгиб балки на упругом основании описывается дифференциальным уравнением четвертого порядка относительно прогиба

$$\frac{d^4 v}{dx^4} + 4k^4 v = \frac{q}{EI_z} \quad (1)$$

Здесь v - функция прогибов, q - распределенная внешняя нагрузка, k , E , I_z - параметры балки, зависящие от свойств материала и основания. При построении решения для прогибов используем методы ВМ. Например, решение задачи об изгибе свободной балки ($k=0$ - отсутствие упругого основания), построенное по методу начальных параметров, имеет вид:

$$v(x) = v_0 + \varphi_0 x + \frac{M_0}{2!EI_z} x^2 + \frac{Q_0}{3!EI_z} x^3 + \frac{q}{4!EI_z} x^4 \quad (2)$$

Здесь четыре постоянных интегрирования, входящие в решение (2) уравнения (1), имеют смысл и размерность физических величин (значения прогиба v_0 , угла поворота φ_0 , изгибающего момента M_0 и поперечной силы Q_0 в начале координат). Последнее слагаемое в решении (2) зависит от внешней нагрузки и является частным решением уравнения (1).

Задача об осесимметричной деформации цилиндрической оболочки описывается уравнением, аналогичным (1), и для построения его решения также необходимо сформулировать граничные условия для физических параметров v , φ , M , Q . Мы видим, что одинаковое математическое решение подходит для абсолютно разных инженерных моделей. Методом начальных параметров можно построить решение задачи об изгибе балки, цилиндрической оболочки, можно решить задачи об изгибных колебаниях стержней с распределенной массой, в которых применяется понятие фундаментальной системы Коши. Специальные функции А.Н.Крылова образуют фундаментальную систему Коши и имеют свой определенный вид в задачах изгиба и колебаний стержней.

При рассмотрении таких важных для дисциплины ММК понятий как напряженное состояние в точке, вводятся определения тензора напряжений и тензора деформаций. Эти определения относят нас уже к тензорной алгебре, более сложной математической дисциплине, которая, к сожалению, не изучается студентами технических ВУЗов в полном объеме. В задачах механики тензор напряжений представляет собой матрицу третьего порядка, элементы которой имеют четко выраженный физический смысл и могут быть определены через параметры внешних сил. Для оценки прочности материалов и конструкций необходимо вычислять главные напряжения, которые могут быть определены как собственные значения матрицы третьего порядка (тензора напряжений)

$$\det(\sigma_{jk} - \lambda \cdot \delta_{jk}) = 0, \quad j = 1, 2, 3.$$

Здесь σ_{jk} - компоненты тензора напряжений, δ_{jk} - символ Кронекера, λ - собственные значения (искомые главные напряжения). Собственные вектора образуют компоненты вектора направляющих косинусов для главных напряжений и имеют простую геометрическую иллюстрацию. Такое определение главных напряжений избавляет от необходимости составления громоздких уравнений равновесия для вычислений нормальных и касательных напряжений на наклонных площадках бесконечно малой призмы в рассматриваемой точке деформированного тела.

В отличие от традиционного курса сопротивления материалов, в программу дисциплины ММК входит изучение теории пластин и оболочек. Наиболее эффективная и наглядная форма представления уравнений статики и динамики пластин и оболочек – уравнения в перемещениях, образующие систему уравнений в частных производных высокого порядка. Для их решения используются численные методы, готовые программные пакеты, специальные методы механики материалов, например, метод конечных элементов. Успешное

применение этих методов невозможно без знания основных разделов высшей математики и механики, между которыми существует тесная связь.

III. ПЯТИЗВЕННАЯ МОДЕЛЬ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА МЕХАНИКИ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

Рассмотрим методические вопросы построения многозвенной модели алгоритмизированного инженерного образования в курсе ММК. Отметим, что в понятие «алгоритм расчета» вкладывается иное по сравнению с общепринятым понимание, а не только механистическое, количественное отношение к действиям обучаемого по правилам нахождения необходимого результата. Под ним понимается совокупность структурированных в логике действий, описывающих причинно-следственные связи различных сторон рассматриваемого механического явления на пути от исходной постановки задачи к достижению необходимого результата. В целом алгоритм содержит совокупность осмысленных действий, отражающих либо методическую сторону решения задач, либо процесс составления различных расчетных схем и только отчасти связанных с записью математических формул вычислительного характера. Такая детализация методик обучения решению задач курса безусловно ориентирована на выделение типов задач. При этом курс в целом представляет собой совокупность алгоритмов решения различных типов задач. Такая алгоритмизация является серьезным подспорьем развития дистанционного, компьютерного обучения, начиная с предкомпьютерной стадии, позволяет объединить порой разные с позиций механики задачи по типу используемого алгоритма и применить в обучении структурные подходы [2].

Рудиментарное обучение комплексным вопросам на произвольно вырванных из контекста учебных дисциплин задачах резко снижает эффективность обучения. Для решения этих вопросов предлагается первое звено модели решений практических задач курса ММК:

1) Полный анализ напряженно-деформированного состояния;

2) Применение результатов анализа в решениях конкретных поставленных задач с элементами исследований и обратной постановки.

В ряде разделов первое звено модели существенно упрощается и сводится к анализу использования всего лишь расчетных формул.

Детали двухзвенной модели изучения курса ММК в порядке решения всех его задач и в порядке последовательного обучения на типовых элементах обычно включают в себя, независимо от словесно поставленной цели конкретной задачи:

1) Анализ внутренних силовых факторов;

2) Анализ распределения напряжений по длине элементов исследуемой системы;

3) Анализ аналогичного распределения относительных деформаций;

4) Анализ значений обобщенных перемещений.

Проведенный анализ напряженно-деформированного состояния элементов систем любой задачи курса позволяет перейти к решению задач второго этапа (звена)

модели курса), использующих любую из информативных частей первого этапа.

В результате существенно возрастает иллюстративность и облегчается использование результатов решения задач на первом этапе для решения задач второго этапа. Кроме того, единая в структурном смысле формализация записи соотношений позволяет в известной мере провести типизацию и задач второго этапа. Среди них наибольшее применение находят задачи расчета допускаемых внешних нагрузок и параметров сечения бруса. В качестве внешних воздействий, приводящих к возникновению в брус напряженно-деформированного состояния, обычно рассматривают:

- 1) Сосредоточенные силы;
- 2) Распределенные по различным законам нагрузки;
- 3) Тепловые воздействия;
- 4) Начальные зазоры.

Правые части неравенств, использующихся на втором этапе решения задач, обычно рассматривают двух типов:

- 1) Декларируемые нормами прочности, жесткости или устойчивости;
- 2) Максимальные по модулю или по норме, ограниченные обучающим.

В ряде случаев последний тип правых частей неравенств может быть использован и в проектировочном расчете, например, при проектировании систем с заданным запасом прочности или подборе материала.

Наряду с указанными двумя начальными звеньями курса ММК, выделим особо их естественные развития в три последующих звена:

- Параметрический анализ состояния системы;
- Задачи с дополнительными условиями;
- Задачи, требующие привлечения ЭВМ.

Задачи параметрического анализа (третье звено) всегда выделяются как особые, являясь широкой и надежной базой работ типа НИРС для студентов, особенно важной для формирования будущего ученого.

Задачи с дополнительными условиями (четвертое звено) по своему многообразию шире, а порой и сложнее задач параметрического анализа. Чаще всего они связаны с необходимостью внимательного анализа словесной формулировки задачи для первостепенного выделения элементов задачи, которые можно проанализировать алгоритмами предыдущих звеньев системы обучения механике материалов и конструкций. Индивидуализация задач этого звена наиболее выражена по сравнению с тремя предыдущими, что и делает рациональным индивидуальный контакт обучающего и обучающегося при решении многих задач с дополнительными условиями.

Появление задач, требующих привлечения ЭВМ (пятое звено), отличает курс ММК от традиционного курса сопротивления материалов. Решение таких задач предполагает, как правило, либо владение навыками программирования, либо использование конечноэлементных программных комплексов. К сожалению, при обучении любому из этих способов решения зачастую не уделяется должного внимания теоретической базе, на которой основаны реализуемые в том или ином программном пакете вычислительные

методы. При этом ответственность за точность получаемого решения по сути перекаладывается на разработчиков эксплуатируемых комплексов, а достоверность результата объясняется тем, что используемый программный продукт сертифицирован. Кроме того, пропускаются важнейшие этапы решения инженерной задачи – анализ корректности ее постановки, исследование основных вычислительных особенностей. Последствиями не критического отношения к использованию готового программного продукта являются снижение квалификации кадров, уничтожение культуры научной и инженерной деятельности, ошибочность расчетов.

IV. ПРИМЕР АНАЛИЗА ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ БАЛКИ

Необходимость многосторонних оценок результатов вычислений, получаемых с применением ЭВМ, может быть продемонстрирована на примере решения задачи модального анализа шарнирно опертой балки. Для построения решения соответствующей краевой задачи используем метод начальных параметров сведения краевой задачи к задаче Коши. Решение задачи Коши построим с привлечением различных методов: метода Рунге-Кутты четвертого порядка точности, реализованного как в авторской программе, так и в пакете Matlab (функция ode45), а также ряда методов повышенной точности или ориентированных на решение жестких задач, реализованных в пакете Matlab (метод Адамса-Башфорта – функция ode23, метод Гира – функция ode15s, метод Розенброка – функция ode23s, неявный метод трапеций с использованием свободной интерполяции – функция ode23t). Среди специальных математических приемов, применяемых при решении плохо обусловленных задач, выберем метод сегментации [5] как наиболее простой метод, позволяющий реализовать процедуру автоматического контроля точности [6].

При реализации описанного алгоритма анализа изгибных колебаний шарнирно опертой балки точность удовлетворения граничным условиям на правом торце уменьшается, начиная с девятой частоты колебаний. Для десятой и более высоких частот использование стандартного алгоритма модального анализа, основанного на методе начальных параметров, приводит к достаточно точному решению только после предварительного контроля обусловленности задачи и обоснованного разбиения интервала интегрирования на сегменты в соответствии с методикой, изложенной в [6]. Отмечено, что использование функций библиотеки Matlab, независимо от задаваемых относительной и абсолютной погрешности вычислений, также не приводит к верному результату расчета высших частот и форм колебаний без применения метода сегментации. При этом при применении сегментации время вычислений при использовании функций Matlab решения задач Коши в несколько раз превышает время вычислений при использовании самостоятельно запрограммированного метода Рунге-Кутта, а точность удовлетворения граничным условиям на несколько порядков ниже. В таблице 1 представлены соответствующие результаты

Таблица 1. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ДЕСЯТОЙ СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ ШАРНИРНО ОПЕРТОЙ БАЛКИ

Метод расчета	$\delta\omega, \%$	$w(0); M_z(0)$	$w(1); M_z(1)$
Рунге-Кутта (самостоятельное программирование)	$1,85 \cdot 10^{-3}$	$0; -2,26 \cdot 10^{-2}$	$1,22 \cdot 10^{-13}; -1,12 \cdot 10^{-10}$
Рунге-Кутта (Матлаб)	$1,85 \cdot 10^{-3}$	$0; -1,58 \cdot 10^{-2}$	$1,97 \cdot 10^{-9}; 8,33 \cdot 10^{-6}$
Адамса-Башфорта (Матлаб)	$1,85 \cdot 10^{-3}$	$0; -6,1 \cdot 10^{-2}$	$1,99 \cdot 10^{-5}; 3,01 \cdot 10^{-2}$
Гира (Матлаб)	$9,03 \cdot 10^{-2}$	$0; -8,53 \cdot 10^{-2}$	$9,40 \cdot 10^{-5}; 7,32 \cdot 10^{-2}$
Розенброка (Матлаб)	$3,6 \cdot 10^{-1}$	$0; -5,09 \cdot 10^{-2}$	$-2,03 \cdot 10^{-2}; -24$
Неявный метод трапеций (Матлаб)	$3,5 \cdot 10^{-1}$	$0; -3,76 \cdot 10^{-2}$	$-5,48 \cdot 10^{-2}; -65,3$

расчетов для десятой собственной частоты.

Здесь $\delta\omega$ - погрешность расчета частоты, $w(0)$ и $M_z(0)$ – значения прогиба и изгибающего момента на левом торце балки, $w(1)$ и $M_z(1)$ – значения на правом торце. Для встроенных функций Matlab результаты расчетов приведены для значений абсолютной точности $\delta_{abs} = 10^{-6}$ и относительной точности $\delta_{rel} = 10^{-3}$.

Большая часть времени вычислений при применении функций Matlab уходит на сегментацию задачи, причем требуемое количество сегментов больше, чем в случае самостоятельного программирования методов решения задач Коши. Отмечено, что использование реализованных в библиотеке Matlab специализированных методов, ориентированных на решение жестких задач, во многих случаях многократно увеличивает время вычислений, приводя при этом к неверным результатам без сегментации задачи и к менее точным результатам при сегментации задачи по сравнению даже с методом Рунге-Кутта.

Отметим, что использование для интегрирования задач Коши метода Рунге-Кутта более высокого порядка точности не только не позволяет повысить точность решения задачи, а напротив, снижает ее. Так, при применении метода Рунге-Кутта десятого порядка точности без использования метода сегментации погрешность расчета девятой собственной частоты изгибных колебаний балки составляет $\delta\omega = 0.17\%$, что на три порядка выше, чем при применении метода Рунге-Кутта четвертого порядка точности. Соответствующие формы колебаний для прогиба и угла поворота сечений балки показаны на рис. 1. Видно, что амплитудные значения указанных функций убывают по длине балки, что свидетельствует об ошибочности расчета.

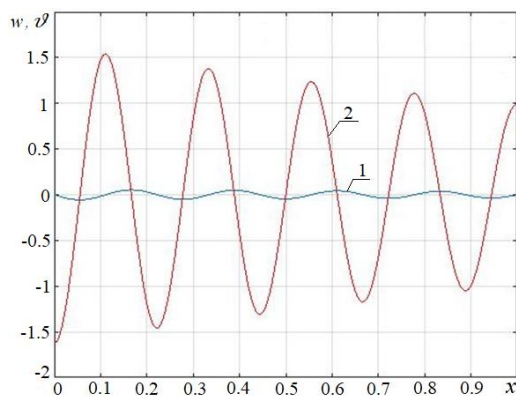


Рис. 1. Результаты расчета форм изгибных колебаний шарнирно опертой балки по методу Рунге-Кутта 10 порядка точности: 1 – прогиб, 2 – угол поворота сечения балки.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе показано, с какими непростыми проблемами приходится сталкиваться всего лишь при решении одной типовой задачи курса ММК, соответствующей пятому звену предлагаемой модели обучения. Полная разработка предлагаемой пятизвенной модели обучения, снимающая проблемы его инженеризации, по мнению авторов, возможна и необходима только при совместной работе профессорско-преподавательского состава обучающихся кафедр с высококвалифицированными специалистами предприятий машиностроительной отрасли, имеющими большой опыт прикладных расчетов в области динамики и прочности, работе над множеством технических проблем курсов, ее обобщении для создания структурированной модели курса, создании корреляционных моделей различных курсов в сочетании и содружестве с работой административной группы специалистов в области образования. Именно в этом направлении авторам видятся пути решения проблем инженерного образования в технических дисциплинах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Хроматов В.Е., Новикова О.В. Лекции по сопротивлению материалов в структурно-логических схемах: учебное пособие. – М.: Издательский дом МЭИ, 2017 – 260 с.
- [2] Коровайцев А.В., Коровайцева Е.А., Столярчук В.А. Структурный подход в расчетах прочности и устойчивости простейших элементов конструкций летательных аппаратов. – М.: ЛЕНАНД, 2015. – 376 с.
- [3] Минин Л.С., Самсонов Ю.П., Хроматов В.Е. Сопротивление материалов. Расчетные и тестовые задания: учебное пособие для академического бакалавриата – 3-е издание, исправленное и дополненное – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 224 с.
- [4] Крупин В.Г., Павлов А.Л., Попов Л.Г. Высшая математика. Уравнения математической физики. Сборник задач с решениями. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011 – 352 с.
- [5] Калнинс А. Исследование оболочек вращения при действии симметричной и несимметричной нагрузок // Прикладная механика. Серия Е, т. 31, №3. – 1964. – с. 112-122.
- [6] Коровайцев А.В., Коровайцева Е.А., Ломовской В.А. Решение прикладных одномерных краевых задач с автоматической точностью // Вестник МИТХТ, т. 7, №6. – 2012. – с. 41-45.

Вопросы качества программного обеспечения в дисциплине «Программная инженерия»

М.М. Маран

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

НИУ «МЭИ»

Москва Россия

MaranMM@mpei.ru

Аннотация — Рассмотрены вопросы качества программного обеспечения в дисциплине «Программная инженерия». Особое внимание уделено вопросам применения методов комплексной проверки программ по разным методикам тестирования.

Ключевые слова — качество программного обеспечения; методы тестирования; комплексное тестирование.

I. ВВЕДЕНИЕ

Программная инженерия определяется как системный подход к анализу, проектированию, оценке, реализации, тестированию, обслуживанию и модернизации программного обеспечения. Программная инженерия занимается разработкой систематических моделей и надежных методов производства высококачественного программного обеспечения и охватывает все уровни — от теории и принципов до реальной практики создания программного обеспечения. Поэтому вопросы качества создаваемого программного обеспечения должны найти отражение в названной дисциплине. Данный доклад посвящен рассмотрению этих вопросов.

II. ПРОБЛЕМА КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Согласно [1] под качеством программного обеспечения понимается весь объем признаков и характеристик программной продукции, который относится к ее способности удовлетворять установленным или предполагаемым потребностям. Критерии оценки качества программного обеспечения — это набор определенных и задокументированных правил и условий, которые используются для решения о приемлемости общего качества конкретной программной продукции. Качество представляется набором установленных уровней, связанных с программной продукцией. Характеристики качества программного обеспечения это набор свойств программной продукции, по которым ее качество описывается и оценивается. Метрика качества программного обеспечения — количественный масштаб и методы, которые могут быть использованы для определения значения признака, принятого для конкретной программной продукции.

В [1] содержится перечень характеристик качества и их подхарактеристик. Характеристики можно условно разделить на три категории:

1. Качественные, которые невозможно измерить и их оценка носит весьма субъективный характер. Например, удобство использования и сложность освоения. Пользователи с разной предварительной подготовкой могут одному и тому же программному продукту дать разные оценки по этому показателю.
2. Категорийно-описательные, которые тоже невозможно точно измерить, но для которых можно дать рекомендации выставления оценок. Например, функциональная пригодность, корректность.
3. Количественные, которые можно либо точно измерить (временная или ресурсная эффективность), либо определить путем сбора статистики эксплуатации (надежность).

В рамках дисциплины «Программная инженерия» будут рассмотрены все характеристики качества, но основное внимание уделяется качеству программного кода, как основе качества программного обеспечения.

III. ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕСТИРОВАНИЯ

Методы тестирования и рекомендации по их применению подробно изложены в [2]. Рассмотрим в данной работе два вопроса, менее освещенные в литературе:

1. Использование метода функциональных диаграмм.
2. Совместное использование тестирования «черного» и «белого» ящика.

Метод функциональных диаграмм (другой термин — диаграмма причинно-следственных связей) мощный метод проверки программ, но его применение ограничено большой трудоемкостью. Рассмотрим некоторые приемы, позволяющие упростить его применение. Для этого вместо традиционного И-ИЛИ графа используем булевское выражение, которое показывает зависимость выходов от входов. Использование ограничений на входы, как правило, позволяет заметно уменьшить требуемое количество тестов. Приведем их анализ более подробно (рис. 1).

Если a , то b , обратное неверно, значение a от b не зависит, поэтому комбинация $a=1$ и $b=0$ не может существовать и такое сочетание входов должно быть исключено.

на из тестов. Если вместо R писать M , то это означает: если a , то НЕ b . Недопустима комбинация $a=0$ и $b=1$.

E означает, что c и d не могут одновременно иметь значения 1, но могут одновременно иметь значение 0, исключается сочетание 1 1. I означает, что по меньшей мере одно из e, f или g должно иметь значение 1, исключается сочетание 0 0 0. O требует, чтобы в любой момент одно и только одно из p, q или r имело значение 1., очевидно, какие сочетания исключены.

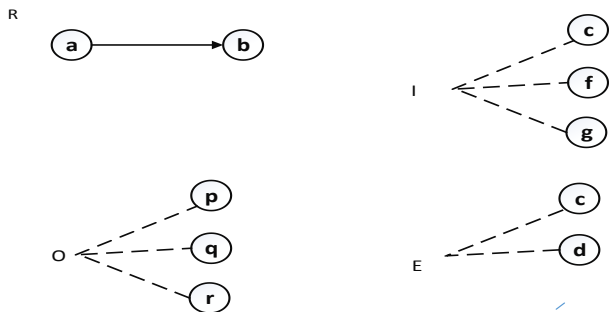


Рис. 1

Рассмотрим простой пример. При отправлении сотрудника в командировку начальник должен определить, ехать ему на поезде или самолете. Если расстояние не больше 400 км, то на поезде. Если расстояние от 401 до 1000 км то поезд, если на самолет нет билетов эконом-класса, если такие билеты имеются, то самолет. Если расстояние свыше 1000 км, то самолет. Естественно, что поездка может состояться, если на самолет имеются билеты, если нет никаких билетов на самолет, то поездка откладывается. Считаем, что на поезд билеты имеются всегда. Граф представлен на рис. 6.7. Применение этого метода начинается с определения и обозначения входов и выходов (относительно их обозначения никаких ограничений нет). В нашем случае (рис.2):

Входы:

$R1$ – расстояние до 400 км.

$R2$ – расстояние от 401 до 1000 км.

$R3$ – расстояние свыше 1000 км.

$B1$ – имеются билеты в эконом-класс.

$B2$ – имеются билеты в бизнес-класс.

Очевидно, что из $R1, R2$ и $R3$ одно и только одно может иметь значение истинно. На $B1, B2$ ограничений нет.

Выходы:

$P1$ – поездка на поезде.

$P2$ – поездка на самолете.

$P3$ – поездка откладывается. 3.

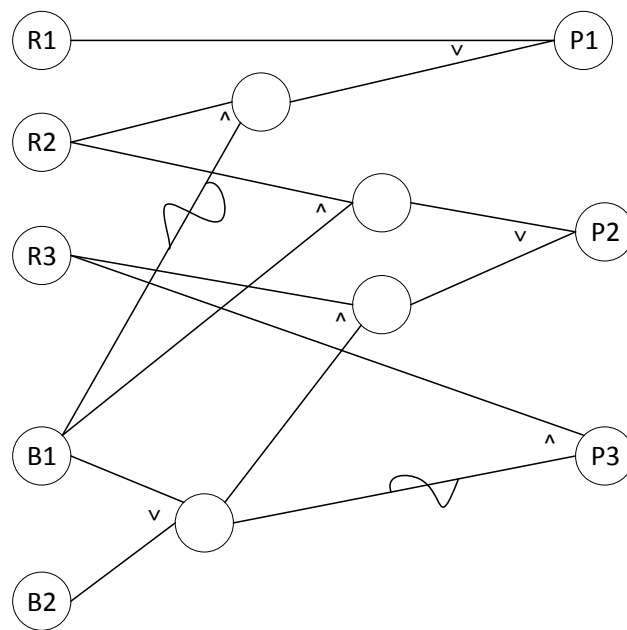


Рис. 2.

И-ИЛИ граф нагляден, но вместо него можно использовать и функции алгебры логики, которые показывают зависимость выходов от входов. В нашем случае:

$$P1 = R1 \vee (R2 \& \neg B1)$$

$$P2 = (R2 \& B1) \vee (((B1 \vee B2) \& R3)$$

$$P3 = \neg (B1 \vee B2) \& R3 = \neg B1 \& \neg B2 \& R3$$

Теоретически количество комбинаций входов равно 2^5 , но с учетом ограничений на входы R получим таблицу:

№ п/п	Входы					Выходы		
	$R1$	$R2$	$R3$	$B1$	$B2$	$P1$	$P2$	$P3$
1	0	0	1	0	0			1
2	0	0	1	0	1		1	
3	0	0	1	1	0		1	
4	0	0	1	1	1		1	
5	0	1	0	0	0	1		
6	0	1	0	0	1	1		
7	0	1	0	1	0		1	
8	0	1	0	1	1		1	
9	1	0	0	0	0	1		
10	1	0	0	0	1	1		
11	1	0	0	1	0	1		
12	1	0	0	1	1	1		

Для $R1, R2$ и $R3$ имеет смысл рассматривать только комбинации, в которых одно и только одно из имеет значение 1. Для $B1$ и $B2$ ограничений нет. В [2] рекомендуют в ИЛИ-узлах дополнительно определить целесообразность проверки всех сочетаний, где значение 1 имеют более одного входа. В нашем примере тесты 10, 11, 12 лишние, потому что $R1=1$ однознач-

но определяет результат. Все сочетания $B1$ и $B2$ должны быть рассмотрены, потому что $B1$ влияет и на другие результаты.

С помощью этой таблицы легко выполнять проверки:

1. Каждый выход должен иметь значение 1 хотя бы один раз.
2. При любом сочетании входов только один выход должен иметь значение 1, если противоположное не предусмотрено условиями.

Сильной стороной рассмотренного метода является то, что он позволяет описать зависимость результата от сочетаний разных исходных данных. Отсутствие такой возможности является слабой стороной наиболее часто применяемых методов тестирования «черного ящика»: метода классов эквивалентности и метода граничных значений.

Рассмотрим совместное применение методов функциональных диаграмм и классов эквивалентности. Как известно, рекомендуют проводить тестирование на правильных и неправильных классах эквивалентности. В первом случае программа должна дать правильный ответ, во втором случае сообщить о невозможности его получения. Другими словами, до начала выполнения программы следует убедиться в корректности исходных данных. Корректность исходных данных в общем случае является лишь необходимым, но не всегда достаточным условием успешного решения задачи. Кроме того, при сложных алгоритмах решения задачи некорректность исходных данных может проявляться лишь в ходе решения. В таком случае среди результатов программы целесообразно иметь сигнальную переменную, которая свидетельствует об обнаружении ошибок в ходе выполнения.

Рекомендуем две стадии разработки тестов:

1. Формулируем в качестве входов условия корректности исходных данных с учетом того, что они могут быть и на сочетаниях разных данных. Возможны два выхода: данные корректны или нет. В первом случае переходим к решению, во втором случае выдаем сообщение об их некорректности, желательно с указанием того, в чем она заключается. Разработаем тесты, позволяющие выявить корректность исходных данных.
2. Разработаем тесты для проверки правильности работы программы при условии, что исходные данные корректны. При этом обращаем особое внимание на входы на сочетаниях разных данных.

После выполнения этого применение метода анализа граничных условий не составляет трудностей: используем в качестве тестов граничные значения всех выделенных входов, как по отдельным данным, так и по их сочетанию.

IV. СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ТЕСТИРОВАНИЯ «ЧЕРНОГО» И «БЕЛОГО» ЯЩИКА

Самым распространенным методом тестирования «белого» ящика является комбинированное покрытие условий и решений. Теоретически требуемое количество тестов может быть определено как цикломатическое число графа управления программы. Вычисление цикломатического числа программы предусмотрено в современных средах программирования (*Microsoft Visual Studio, Embarcadero RAD Studio*). Среди теоретически возможных путей выполнения могут быть противоречивые, для прохождения которых невозможно подбирать данные.

Возникает важный вопрос: как на практике использовать предложенные два подхода к тестированию? Можно рекомендовать следующую последовательность действий, получится подход, называемый иногда тестированием «серого ящика»:

1. Составим тесты методами «черного ящика». Допустим, получили N тестов.
2. Пусть на графе управления существует M путей.

Возможны следующие случаи:

1. $N=M$, но обеспечивается прохождение лишь K путей ($K < M$). Если оставшиеся $M-K$ путей противоречивые, то два или более теста будут пройдены по одному и тому же пути.
2. $N=M$, но обеспечивается прохождение лишь K путей ($K < M$), среди оставшихся $M-K$ путей имеются реальные, значит не все случаи протестированы и количество тестов надо увеличить.
3. $N < M$ Если оставшиеся $M-N$ путей противоречивые, то все хорошо, можем приступить к тестированию, но если это не так, то придется составить и для них тесты.
4. $M < N$ значит два или более теста пройдут по одному и тому же пути. Если так и должно быть, то некоторые случаи будут протестированы повторно. Если нет - то два разных случая пройдут по одному и тому же пути и в программе ошибка

V. РАССМОТРЕНИЕ ПОДХОДОВ К ПРОВЕДЕНИЮ ПРОВЕРОК

Как правило, разрабатывается не одна отдельная программа, а функции, которые затем будут включены в программный комплекс, построенный методом функциональной декомпозиции, по объектно-ориентированной или по какой-то другой методике. В классических руководствах для тестирования отдельных функций рекомендуют раз-

рабатывать драйверы и заглушки, что заметно повышает трудоемкость. Сложнее создание заглушек, потому что они должны имитировать работу функции, вместо которой они используются, но в то же время алгоритм их работы должен быть настолько прост, чтобы они в свою очередь не нуждались в тестировании. В настоящее время имеются и инструментальные системы тестирования, но мы ограничимся рассмотрением средств тестирования в инструментальных системах разработки типа *Microsoft Visual Studio* и *Embarcadero RAD Studio*. Разработка драйверов в названных средах не составляет труда. Если алгоритм заменяемой заглушкой функции столь сложен, что ее трудно разработать с приемлемыми затратами, то можно рекомендовать разработать «пустые» заглушки, содержащие точки останова. При выполнении такой заглушки программа остановится и тестировщик на основе значений входных параметров определяет значения выходных. Все составленные комплекты тестов будут сохранены для обеспечения автоматического тестирования. При итеративной и инкрементной разработке важно регрессионное тестирование, при котором после расширения программы до следующей версии сначала ее проверяют на тестах предыдущей версии.

Тестирование программного обеспечения заканчивается системным тестированием, в ходе которого определяется, решает ли разработанный программный комплекс все задачи, для которых он был задуман (функциональные требования, которые были выделены в ходе системного анализа) и обладает ли он требуемыми характеристиками (нефункциональные требования).

При рассмотрении процесса создания программного продукта с позиции жизненного цикла становится очевидным, что результаты каждой его фазы нуждаются в проверке, потому что ошибки могут быть допущены везде, начиная с фазы определения требований. Поэтому фундаментальными принципами проверки программ являются следующие:

- проверять как можно раньше;
- проверять часто;
- проверять в полном объеме.

Из сказанного вытекают следующие виды проверок:

- проверка моделей;
- тестирование классов;
- тестирование взаимодействия и иерархии классов;
- системное тестирование.

Основной недостаток стандартных проверок заключается в том, что проверяется то, что уже имеется (модели, программы), а не то, что там должно быть.

При целенаправленной проверке все модели проверяют по мере их создания на предмет соответствия требованиям проекта. Целенаправленная проверка требует больших затрат, но исследования показывают, что затраты на обнаружение и устранение дефектов на ранней стадии разработки по сравнению с затратами по их обнаружению и устранению на заключительных стадиях существенно ниже.

Проверка моделей. Каждая фаза жизненного цикла программного продукта должна заканчиваться проверкой, при которой надо получить ответы на вопросы:

- корректна ли составленная модель;
- является ли она полным представлением информации, на основе которой она составлена;
- является ли она внутренне непротиворечивой и согласуется ли она с другими моделями?

Корректность – это мера точности модели. На фазе анализа – это точность описания задачи. На этой фазе проверка может быть осуществлена только экспертным путем с привлечением квалифицированных специалистов по предметной области. Полнота – это мера наличия в модели необходимых элементов. Проверка показывает, существуют ли тестовые случаи, которые не могут быть представлены элементами, включенными в модель.

Непротиворечивость – это мера присутствия противоречивости внутри модели или между текущей и ранее составленными моделями. Другими словами, в разных моделях не должно быть различных представлений, подобных тестовых случаев. Проверка позволит определить, имеют ли место противоречия и/или конфликты между разными моделями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93. Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению.
- [2] Г. Майерс, Т. Баджетт, К. Сандлер. Искусство тестирования программ. М.: Диалектика, 2015 – 272 с.
- [3] С.А. Орлов. Программная инженерия. Технологии разработки программного обеспечения. СПб., Питер, 2017 – 640 с.

Методика структурирования показателей в задаче оценивания качества сложной системы

С.В. Микони

Лаборатория информационных технологий
в системном анализе и моделировании

СПИИРАН

Санкт-Петербург, Россия

smikoni@mail.ru

М.И. Гарина

Кафедра «Математика и моделирование»

ПГУПС

Санкт-Петербург, Россия

migarina@gmail.com

Аннотация — С появлением концепции социальной киберфизической системы появилась потребность в разработке новых подходов к оцениванию качества таких систем. В работе предлагается методика структурирования показателей сложной системы, учитывающая интересы субъектов, имеющих отношение к системе на разных этапах её жизненного цикла.

Ключевые слова — киберфизическая система; качество; жизненный цикл; показатель; качество; дерево целей.

I. ВВЕДЕНИЕ

Оценивание качества объектов различного вида и назначения получило широкое применение. Для автоматизации процесса оценивания разработан широкий спектр систем поддержки принятия решений. Ряд из них используется не только для решения практических, но и учебных задач. К ним принадлежит и система выбора и ранжирования СВИРЬ-П, разработанная в Петербургском государственном университете путей сообщения [1]. В работе [2] предлагалась методика выполнения лабораторных работ в рамках изучения курса «Теория принятия решений» [3].

На современном этапе развития технического прогресса появилась концепция киберфизической (Cyber physical system) и социальной киберфизической системы (Cyber Physical Social System). В [4] киберфизическая система (КФС) рассматривается как новый качественный этап развития встроенных систем (англ. embedded system). В широкой трактовке КФС – это системы, состоящие из различных природных объектов, искусственных подсистем и управляющих контроллеров, которые представляют собой единое целое.

Социальные киберфизические системы (СКФС) объединяют физический, кибернетический и социальный миры, обеспечивают взаимодействие между ними в реальном времени [5]. Добавление «social» подразумевает вовлечение в эту систему человека и общества.

Для оценивания качества КФС, как сложной технической системы, привлекаются многие десятки показателей. В работе [6] предлагается методика их структурирования, основанная на практическом опыте и экспертных оценках. Снижению субъективизма в

структурировании показателей сложной системы должен способствовать учёт интересов субъектов социума, имеющих отношение к КФС на различных стадиях её жизненного цикла (ЖЦ). Это позволяет объективизировать проектирование верхнего уровня дерева целей в задаче оценивания технического уровня и качества КФС.

II. СОСТАВ И РОЛИ УЧАСТНИКОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА КФС

Поскольку согласно сказанному выше СКФС отличается от КФС миром социума, логично КФС принять за подсистему СКФС. На рис. 1 она представлена в виде ядра СКФС.

Социум представлен внешней средой, разделенной на 3 части. Каждая из них состоит из нескольких компонентов. Особняком выделены оператор КФС и объект воздействия.

Взаимодействия между компонентами СКФС показаны стрелками. Двойная сплошная стрелка означает воздействие на свойства компонента, а двойная пунктирная стрелка означает потребление свойств компонента. Пунктирная одинарная стрелка отражает экономический интерес компонента системы. Сплошная жирная одинарная стрелка означает управление транспортным средством, а пунктирная – обратную связь.

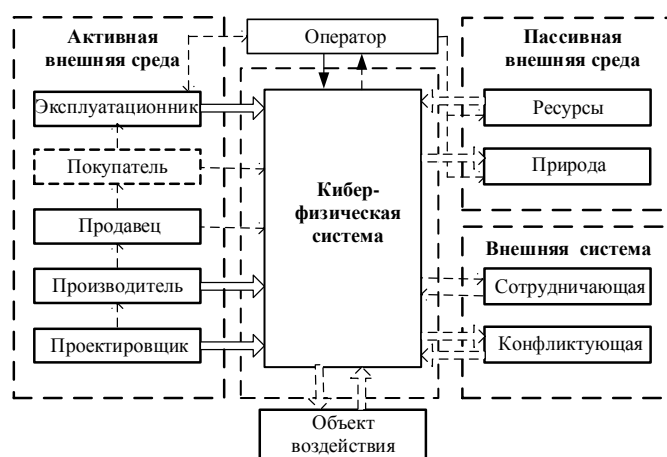


Рис. 1. Модель социальной кибер-физической системы

К активной части внешней среды отнесены (на рис. 1 снизу вверх): проектировщик и производитель (изготовитель) киберфизической системы, продавец, покупатель/заказчик и эксплуатационник.

Проектировщик формирует свойства будущей системы, а производитель материализует её. Готовая система отчуждается от своего родителя и через продавца поступает в распоряжение покупателя. С этого момента покупатель становится владельцем КФС. В организации обслуживание КФС осуществляет специальное подразделение (эксплуатационник). Обслуживание КФС с целью поддержания её в работоспособном состоянии продолжается в течение всей активной стадии жизни и завершается утилизацией по завершению КФС жизненного цикла.

Непосредственное управление киберфизической системой осуществляет оператор в лице индивидуума или коллектива. Под его управлением киберфизическая система осуществляет материальное, энергетическое или информационное воздействие на некоторый внешний объект. Если, например, КФС реализует функции социальной сети, то объектами воздействия являются её пользователи.

К пассивной части внешней среды отнесены ресурсы и природа. Если ресурсы относятся к преобразованной части природы, то под самой природой понимается «нетронутая» её часть. В экономической системе у каждого из названных компонентов имеется свой владелец в лице государства или частных компаний. Владелец ресурсов за определённую плату предоставляет энергетические и иные ресурсы, как возобновляемые свойства киберфизической системы. Орган, отвечающий за сохранность окружающей среды, взимает плату за её загрязнение.

Киберфизическая система, открытая для взаимодействия с другими КФС, может находиться с ними в отношениях сотрудничества и противоборства. В первом случае они договариваются о разделении полномочий и ресурсов, а во втором случае пытаются ухудшить свойства противника вплоть до его уничтожения. Независимо от степени их самоорганизации внешние системы реализуют цели конкретных представителей социума. Таким образом, все представители внешней среды персонифицируются субъектами социума и играют активную роль на различных этапах жизненного цикла КФС.

III. ИНТЕРЕСЫ УЧАСТНИКОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА КФС

Все показатели, представляющие свойства КФС, условно делятся на две группы, называемые «цена» и «качество» [7]. Показатели из этих групп, представляющие наибольший интерес для конкретного участника ЖЦ КФС, он устремляет к предельным (экстремальным) значениям, а на значения остальных показателей накладывает приемлемые ограничения.

Проектировщик заинтересован в конкурентоспособности будущей КФС, достигаемой за счёт обеспечения высокого технического уровня [6]. Следовательно, его интересуют, в первую очередь, технические показатели системы в целом и на уровне её компонентов. Стоимостные показатели выступают в роли ограничений.

Ограничением для производителя КФС является соблюдение точного соответствия показателей системы с требованиями нормативно-технической документации и с патентно-правовыми требованиями. Наряду с этим производитель заинтересован в улучшении проектно-технологических и экономических показателей. Экономические показатели, характеризующие себестоимость киберфизической системы, её производитель стремится минимизировать.

Продавец КФС заинтересован в получении максимальной выгоды от продаж. Он не может ни менять, ни использовать технические характеристики КФС, зафиксированные её изготовителем, а для улучшения сбыта ограничивается их рекламой.

Заказчика интересует, в первую очередь, соответствие реальных и заявленных значений показателей КФС и эффективность её использования.

Покупатель интересуется диапазоном возможностей КФС, фиксируемых показателями назначения, качеством работы и потребляемых ресурсов, которые он склонен устремлять к предельно возможным значениям. Цену КФС и стоимость её эксплуатации он ограничивает максимальной суммой имеющихся средств.

Оператора КФС в первую очередь интересуют качество управления и эксплуатационные характеристики КФС, представленные показателями надёжности и потребляемых ресурсов. Он заинтересован в минимизации технического обслуживания КФС и потребляемых ресурсов. К минимизации вредного влияния на окружающую среду (природу) оператора КФС стимулирует воздействие её представителя в виде штрафов за загрязнение окружающей среды. Таким образом, от искусства оператора в значительной мере зависит эффективность работы КФС.

Эксплуатационник, осуществляющий техническое обслуживание КФС, заинтересован в минимизации его себестоимости, а владелец ресурсов заинтересован в выгоде от их реализации.

Конфликтующая КФС играет роль противника, стремящегося нанести максимальный ущерб киберфизической системе. Оптимизация их противоборства изучается в теории игр.

Каждому участнику ЖЦ КФС в соответствии с его интересами выделяется своя группа показателей. Объединение этих групп представляет собой совокупность частных целей верхнего уровня. Все частные цели интересуют заказчика и проектировщика киберфизической системы, выступающих в роли её главного оценщика. Именно они призваны учитывать интересы всех участников ЖЦ КФС. Гармонизацию их интересов можно

осуществлять либо экспертными методами, либо методами многоагентных систем на основе достижения интересантами взаимовыгодных соглашений [8].

Каждый из участников ЖЦ КФС для оценивания системы выделяет из полной совокупности частных целей интересующую его группу показателей, к которым он предъявляет свои требования. Естественно, что изменение структуры показателей и предпочтения между группами и внутри групп влияют на общую оценку вариантов киберфизической системы, вследствие чего каждый из оценщиков получает свою оценку качества КФС.

IV. ПОКАЗАТЕЛИ КФС ВЕРХНЕГО УРОВНЯ

Интересы всех участников ЖЦ КФС можно охватить следующими четырьмя группами показателей верхнего уровня:

1. выполнения работы;
2. изготовления;
3. обслуживания;
4. экономические.

Показатели выполнения работы в той или иной степени интересуют всех участников ЖЦ КФС, но в наибольшей степени – оператора/пользователя КФС. Они, в свою очередь, делятся на показатели:

- 1) назначения;
- 2) качества функционирования;
- 3) оперативного управления;
- 4) взаимодействия с внешней средой.

Показатели назначения представляют внешнюю характеристику, отражающую цели её создания. Подвижные КФС, например, характеризуются пространственно-временными и массо-габаритными параметрами преодоления расстояния.

Качество функционирования КФС выражается через следующие свойства:

- 1) *устойчивость*;
- 2) *безопасность*;
- 3) *удобства*;
- 4) *эстетичность*.

Устойчивость трактуется в широком смысле, как свойство активной системы сохранять свою целеустремлённость в условиях изменения внутренней и внешней среды. Объект устойчив до тех пор, пока сохраняется его целеустремлённость как желание достичь назначенной цели. В этом смысле понятие устойчивость охватывает [9]:

Стойкость как устойчивость к физическим воздействиям.

Отказоустойчивость как устойчивость к заданным видам отказов.

Помехоустойчивость как устойчивость к заданным видам помех.

Надёжность как устойчивость функционирования в течение некоторого срока, например, гарантийного срока.

Живучесть как устойчивость функционирования в условиях разрушительных воздействий внешней среды.

Настойчивость как достижение цели активной системой в условиях влияния внутренних и внешних факторов.

По средствам обеспечения устойчивости её делят на *пассивную* и *активную*. Под пассивной устойчивостью (в медицине – резистентностью) понимают *естественную сопротивляемость объекта внутренним и внешним воздействиям*. Под активной устойчивостью понимают *изменение состояние объекта с целью парирования воздействия внутренних и внешних факторов*.

Активная устойчивость реализуется средствами управления. По возрастанию уровня активной устойчивости свойства систем с управлением упорядочиваются следующим образом: *равновесность, адаптируемость, проактивность, самоорганизация, самостоятельность (автономия)*. Каждое последующее свойство расширяет возможности применения предыдущих свойств. Таким образом, система управления является *средством* обеспечения устойчивости.

Под *безопасностью* людей (как операторов, так и пассажиров) понимается сохранение их здоровья в период их доставки в пункт назначения. *Удобства*, создаваемые для оператора КФС, изучаются в рамках эргономики. *Удобства* пользователей КФС именуется комфортом. Показатели *эстетичности* отражают влияющие на эмоциональное состояние пользователя КФС.

Показатели *оперативного управления* отражают возможности изменения режима функционирования КФС с целью преодоления системой возникающих краткосрочных непредвиденных обстоятельств.

Взаимодействие КФС с внешней средой проявляется через потребление её ресурсов и загрязнение окружающей среды отходами потребления.

Производитель транспортного средства формирует свойства транспортного средства на физическом уровне. Его интересуют *проектно-технологические, патентно-правовые* и *экономические* показатели, характеризующие технологический процесс производства. Проектно-технологические показатели делятся на следующие группы [7]:

1. Уровни *стандартизации*, унификации и преемственности;

2. Показатели *технологичности*, характеризующие возможность выпуска изделия с заданным уровнем качества с наименьшими производственными затратами и в кратчайшие сроки;

3. Показатели *транспортабельности*. Они характеризуют свойство изделия с минимальными затратами перемещать его в пространстве (внутри производственных цехов, от производителя к продавцу и, далее, к потребителю);

4. Показатели *сохраняемости*. Характеризуют способность изделия не зависеть (быть защищенной) от неблагоприятных воздействий внешней среды (климатических, случайных или преднамеренных). *Патентно-правовые* показатели отражают степень новизны КФС.

Группа показателей обслуживания включает характеристики узлов системы, подлежащих ремонту, и показатели потребления энергии.

Группа экономических показателей включает:

- стоимость проекта;
- себестоимость изготовления;
- себестоимость обслуживания
- цена КФС;

Проектировщика в этом перечне интересуют стоимость проекта.

Производителя, в первую очередь, интересуют *себестоимость* продукции и *прибыль* от её реализации.

Эксплуатационника интересуют показатели возобновляемых ресурсов: энергетических, ремонт (восстановление). Из экономических показателей его интересует себестоимость технического обслуживания.

Продавца интересует оптовая цена, а покупателя – розничная цена КФС.

V. ОТНЕСЕНИЕ ЕДИНИЧНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ К ГРУППЕ

Изложенные выше показатели КФС верхнего уровня инвариантны относительно конкретных предметных областей, а в каждой предметной области есть свой набор единичных показателей, отражающих её особенности. Отсюда возникает задача совмещения единичных показателей с показателями верхнего уровня. Она решается на основе отношения *элемент-класс*.

Определение принадлежности элемента к одному из заданных классов является задачей классификации [10]. В работе [6] эта задача решается экспертным способом, основанным на практическом опыте и интуиции экспертов. Между тем, понятие верхнего уровня и единичный показатель, как понятие, характеризуются своими наборами существенных признаков (содержаниями), извлекаемых из определений этих понятий. Между сопоставляемыми понятиями существует родовидовая связь (*вид-род*), если их наиболее общие признаки совпадают. Единичный признак должен обладать *видовым отличием* по отношению к понятию верхнего уровня, что позволяет считать его *видовым понятием*, имеющим меньшую общность [11].

В качестве примера приведём единичный признак «время безотказной работы», входящий в группу понятий *надёжность*. Надёжность как *устойчивость* функционирования объекта в *течение гарантийного срока*, является *видовым понятием* по отношению к *устойчивости*. Таким образом, единичный показатель «время безотказной работы» связан с понятием *устойчивость* через два промежуточных понятия *безотказность* и *надёжность*.

Если исходить из инструментальной связи *средство-цель*, присущей дереву целей, то отнесение единичного показателя к одной из целей требует доказательства функциональной зависимости между ними. Достижение цели может осуществляться разными средствами, что соответствует *альтернативной* связи между понятиями. В

общем случае отдельно взятое средство в отдельности может оказаться недостаточным для реализации поставленной цели, что соответствует *суммирующей* связи. Количественно вид функциональной связи определяется с помощью корреляционного анализа.

Инструментальную связь можно обнаружить и в паре понятий *устойчивость* и *надёжность*. Действительно, ненадёжный объект нельзя назвать устойчивым. Отсюда надёжность можно считать средством обеспечения устойчивости. Таким образом, по обоим видам связи, родовидовой и инструментальной, надёжность оказывается понятием нижнего уровня по отношению к устойчивости. Это позволяет одну из связей использовать как поверочную по отношению к другой.

VI. МЕТОДИКА СТРУКТУРИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Исходными данными для проектировщика модели оценивания являются:

- Верхние уровни дерева целей, применимые для КФС любого типа;
- Содержания понятий верхнего уровня.
- Набор единичных показателей оцениваемой КФС, измеряемых в физических или условных единицах. Он зависит от типа КФС и целей интересанта.

Задача заключается в нахождении показателя верхнего уровня, обобщающего свойства единичного показателя, подлежащего включению в модель оценивания. Она решается в следующей последовательности.

1. Определяется тип КФС.
2. Интересант выделяет из технической или сопроводительной документации на КФС нужную ему совокупность единичных показателей.
3. Находится определение очередного единичного показателя в технической документации или стандарте.
4. Из определения извлекаются существенные признаки соответствующего понятия. Основной существенный признак понятия поясняется синонимами с целью совмещения определения единичного показателя с обобщённым показателем верхнего уровня дерева.
5. Если общим является основной признак, выполняется анализ на родство с определением роли понятий в родо-видовой связи.
6. Если родо-видовая связь по основному признаку отсутствует, проверяется инструментальная связь (цель/средство).
7. Если инструментальная связь отсутствует, то рассматриваются функциональные связи. Для решения этой задачи используется представительная выборка вариантов оцениваемого объекта.

Продемонстрируем методику отнесения единичного показателя к ветви дерева целей на примере двух показателей беспилотного летающего аппарата (далее БЛА), предназначенного для наблюдения за наземными объектами. Пусть модель оценивания строится для оператора БЛА, тогда фрагмент проекции дерева целей на его область интересов выглядит следующим образом:

- Выполнение работы

- Реализация назначения (назначение БЛА – комплекс мероприятий по получению и обработке данных о наземных целях)
 - Пространственно-временные показатели (время, расстояние, дальность, длительность и т.д.)
 - Массо-габаритные показатели (размер, габариты, масса, длина, ширина, объем и т.д.)
- Качественное функционирование
 - Устойчивость
 - Безопасность (сохранение жизни и здоровья оператора)
 - Удобства (эргономичность с точки зрения оператора)
- Эффективность оперативного управления

Оператора не интересуют ни экономические цели, ни цели изготовителя БЛА, его сфера интересов – выполнение работы, в первую очередь эффективность управления, во вторую – реализация назначения БЛА и качество функционирования. Общесистемные цели КФС, не интересующие оператора, удалены из показанного фрагмента.

Рассмотрим два единичных показателя БЛА: *назначенный срок службы* и *дальность обнаружения цели днем*. *Назначенный срок службы* – календарная продолжительность эксплуатации объекта, по истечении которой применение его по назначению должно быть прекращено. Роль существенных признаков играют следующие ключевые слова: *продолжительность* (срок, период времени, временной интервал), *эксплуатация* (использование, применение). В скобках даны синонимы. При анализе определений верхних уровней дерева целей найдено одно совпадение по *продолжительности* с ветвью *пространственно-временные показатели реализации назначения*. Второе ключевое слово *эксплуатация* в этой ветви не найдено. Это значит, что единичный показатель «*назначенный срок службы*» не входит в родо-видовые отношения с указанной целью и отвергается.

Дальность обнаружения цели специального определения не требует, позволяя выделить ключевые слова прямо из основной формулировки: *дальность* (расстояние), *обнаружение* (поиск, распознавание, получение данных), *цель* (объект). На этот раз все три ключевых слова, с точностью до синонимов, обнаруживаются в ветви «*пространственно-временные показатели реализации назначения*»: *дальность* – в определении третьего уровня, *цель* и *получение данных* – в определении второго. Это значит, что указанная ветвь – более общий случай для дальности обнаружения цели, родо-видовые отношения имеют место, а показатель должен быть отнесен именно сюда.

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одной из главных проблем в создании модели оценивания является выбор частных целей, отвечающих

интересам оценщика. Решению этой проблемы способствует систематизация интересантов в рамках модели социальной киберфизической системы. В работе предложен принцип разбиения показателей на группы в соответствии с интересами участников ЖЦ КФС. Причислив себя к одной из категорий интересантов, оценщик может взять за основу перечень целей, отвечающих интересам этой категории.

Предложены способ отнесения единичных показателей к одной из групп показателей и последовательность операций, выполняемых при создании многомерной системы оценивания. Предлагаемая методика структурирования показателей используется в Петербургском государственном университете путей сообщения при выполнении лабораторного практикума по дисциплинам с разделами «Теория принятия решений».

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке гранта РФФИ №№ 17-01-00139 в рамках бюджетной темы №0073–2018–0003.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] URL: <http://www.mcd-svir.ru>. Проверено 20.04.2018.
- [2] Микони С.В., Гарина М.И., Бураков Д.П. Применение системы выбора и ранжирования СВБР-Р для практического освоения курса "Теория принятия решений" // Труды научно-методической конференции "Информатизация инженерного образования" ИНФОРИНО-2012. -М.: МЭИ, 2012, с. 90-93.
- [3] Микони С.В. Теория принятия управленческих решений. Учебное пособие. -СПб.: Лань, 2015, 448 с.
- [4] Lee E.A., Seshia S.A. Introduction to Embedded Systems: A Cyber-Physical Systems Approach, Second Edition, MIT Press, ISBN 978-0-262-53381-2, 2017.
- [5] Suryanarayanan S., Roche R., Hansen T. M. Cyber-Physical-Social Systems and Constructs in Electric Power Engineering 2016. 521 p. ISBN : 1849199361.
- [6] Семенов, С.С. Оценка качества и технического уровня сложных систем. Практика применения экспертных оценок. –М. ЛЕНАНД. 2015. –350 с.
- [7] Хоросhev, А.Н. Введение в управление проектированием механических систем: Учебное пособие. -Белгород: 1999. - 372 с. - ISBN 5-217-00016-3. Электронная версия 2011 г.
- [8] Городецкий, В. И., Самойлов, В. В., Троцкий, Д. В. Базовая онтология коллективного поведения автономных агентов и её расширения. Известия РАН: Теория и системы управления. 2015. № 5, с. 102–121.
- [9] Микони, С.В. О качестве онтологических моделей / С.В. Микони // Онтология проектирования. - 2017. - Т. 7, №3(25). - С. 347-360. - DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-347-360.
- [10] [8] Микони С.В. О классе, классификации и систематизации. Онтология проектирования. 2016. – Т.6, №1(19). – С. 67-80. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-1-22-33.
- [11] Микони С.В. Общие диагностические базы знаний вычислительных систем. –СПб.: СПИИРАН. 1992. 234 с. Электронная версия монографии URL: <http://www.mcd-svir.ru/books.html>. (дата обращения: 06.04.2018).

Практические аспекты организации занятий по основам программирования в области электроники, автоматики и робототехники при подготовке бакалавров и специалистов инженерных специальностей

Миронов Павел Никитич, Герус Максим Игоревич
Отделение программно – теоретических разработок
АО «ГосНИИП»
г. Москва

Юров Николай Николаевич
Военная кафедра
МТУ МИРЭА
г. Москва

Симонов Владимир Львович, Аметова Милана
Муньболатовна, Щукин Фёдор Олегович, Хмыров
Никита Андреевич
Кафедра Информационных систем, сетей и
безопасности
Российский государственный социальный университет
г. Москва

Виноградов Даниил Александрович, Кошеварова
Наталья Алексеевна
Институт №3 — «Системы управления, информатика и
электроэнергетика»
МАИ (НИУ)
г. Москва

Аннотация — Представлены практические аспекты организации занятий по основам программирования в областях электроники, автоматики и робототехники при подготовке бакалавров и специалистов инженерных специальностей. Занятия направлены на совершенствование знаний и приобретения соответствующих профессиональных и профессионально — прикладных компетенций в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО), требующих хороших знаний как в аппаратной и программной частях современных устройств электроники, автоматики и робототехники, так и ряда смежных областей.

Ключевые слова — ИТ в учебных лабораториях; организация занятий; программирование; электроника; робототехника.

I. ВВЕДЕНИЕ

Последние десятилетия проблеме подготовки инженерных кадров в РФ не уделялось должного внимания, результатом чего явилось отставание отечественной техники и технологий от мирового уровня, низкая престижность труда в инженерной сфере, что недопустимо для успешного развития страны. С целью исправления указанной ситуации правительством РФ несколько лет назад была поставлена актуальная задача ускоренного развития инженерного образования, привлечения в данную область подрастающего поколения, молодых кадров, которые призваны решать инженерно —

технологические задачи и успешно способствовать развитию страны.

II. АНАЛИЗ СЛОЖИВШЕЙСЯ СИТУАЦИИ И ТРЕБОВАНИЯ, ВЫДВИГАЕМЫЕ К УСЛОВИЯМ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ

Затрагивающие образование и науку процессы глобализации характеризуются высокой динамикой, что приводит к ужесточению конкуренции, увеличению неопределенности и необходимости интенсивно отслеживать и следовать мировым тенденциям развития техники и технологий. Как следствие, здесь имеют место определенные риски. Так, если предыдущее поколение использовало средства вычислительной техники для достаточно ограниченного круга задач и пользователями являлись люди с высокой квалификацией, то на современном этапе возможности персональных вычислений значительно расширились и глобализировались, а требования к уровню квалификации современных пользователей значительно снизились, и необходимость в специальных знаниях заметно упала. Указанное можно охарактеризовать крылатым выражением: «современное поколение знает намного меньше, а может намного больше предыдущего поколения».

В итоге мировая наука и мировое образование оказались мало подготовленным к новым динамичным условиям, и темпы развития образования и науки заметно снизились, чему способствовал также затянувшийся мировой финансово — экономический кризис.

Современная тенденция такова, что спрос на высококвалифицированные кадры падает, но одновременно растет спрос на квалифицированных специалистов, которые обладают базовыми профессиональными знаниями в предметной области, т.е. ценность «рабочих рук» растет.

Глобализация приводит к изменению количества знаний, которое выпускники должны получить к моменту выпуска из образовательного учреждения. Знания устаревают и требуют обновления в краткосрочной перспективе — не только в период трудоспособности выпускника, но даже в период его обучения, что приводит к появлению и интенсивному развитию рынка дополнительного образования.

Вышеуказанные тенденции привели к тому, что заказчиком образования начинает выступать не государство, а бизнес. Готовить для организации отдельных специалистов становится менее перспективно, и на первый план выходит подготовка для предприятий сразу целых команд.

Следствием указанного является стремление государства и правительства отстраниться от финансирования науки и образования, перевести их на самоокупаемость и самофинансирование. При этом государство оставляет за собой точечное финансирование и контрольно — регулирующие функции.

Разрыв между качеством образования и требованиями к компетенциям персонала — особенность современного образования. Изменились ожидания работодателей к выпускникам учебных заведений: работодатель ожидает, что выпускник получит не только требуемый набор компетенций, но и «профессию», то есть способность самостоятельно, без дополнительных вложений работать по поставленным целям, задачам, приоритетам, то есть к моменту выпуска обладать реальным опытом работы по специальности.

Указанное обстоятельство приводит к смене парадигмы образования со «знаниевого» образования к деятельному, лично — ориентированному, предполагающему формирование целостной личности выпускника не столько посредством передачи знаний, сколько посредством набора компетенций и внеучебных мероприятий с целью возможности для обучающегося мобильно адаптироваться в динамично изменяющихся социально — экономических условиях.

Одно из следствий вышеуказанных тенденций — фактическое снижение значимости диплома государственного образца и повышение значимости портфолио с перечнем опыта, достижений, квалификации и компетенций обучающегося («компетентностные дипломы»), которые могут заполняться на протяжении всей жизни). Указанной тенденции сопутствует сотрудничество национальных и международных профессиональных сообществ, разработка и совершенствование международных стандартов и компетенций, необходимых для выполнения трудовых функций на рабочих местах. Идеология формирования

готовых знаний сменяется идеологией формирования компетенций, а парадигма «знаний» — парадигмой «дееспособности».

Касательно требований, выдвигаемых к условиям организации и проведения занятий по основам программирования в области электроники, автоматики и робототехники, можно отметить следующее. Переход на подготовку компетентных, высококвалифицированных специалистов, обладающих профессиональными знаниями и способными принимать самостоятельные решения, руководить трудовыми коллективами по окончании вуза, иными словами, в полной мере быть готовыми к профессионально — практической деятельности, потребовал несколько скорректировать формат проводимых занятий. Ниже представлено, как образом вышеуказанные тенденции были трансформированы (полностью или частично) на практике.

III. ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ

С целью интенсивного развития инженерного образования, одно из актуальных современных направлений — робототехника — было отнесено Министерством образования и науки РФ к приоритетным направлениям при обучении, как студентов, так и старшеклассников, при этом дошкольное и раннее школьное образование также предусматривает изучение основ составления алгоритмов, программирования, основ электроники и робототехники.

Федеральные государственные образовательные стандарты и вводимые профессиональные стандарты выдвигают достаточно высокие требования к знаниям студентов вузов в области инженерного образования, в частности основ современной электроники, электротехники, практического программирования и ряда других смежных дисциплин и областей. Построение реальных систем подразумевает не только теоретические знания, но также, в соответствии со ФГОС ВО, обладание требуемыми профессиональными и профессионально — прикладными компетенциями, в частности, знание аппаратной части, способность участвовать в создании компонент программного обеспечения, умение применять свои знания для проектирования, конструирования и документирования программных продуктов и аппаратной части, а также готовность адаптировать свои разработки к изменяющимся условиям функционирования.

Для получения углубленных практических знаний, необходимых будущим инженерам и специалистам, в вузах организуются профильные кружки, проводятся специализированные занятия, часто в рамках уже существующих дисциплин. Так, на базовой кафедре Московского авиационного института №314Б «Технические средства систем управления и контроля летательных аппаратов» на предприятии Акционерное общество «Государственный научно — исследовательский институт приборостроения», г. Москва, после первого курса обучения в ходе летней

практики организуются занятия по решению специализированных задач начального уровня в области измерения и обработки данных, контроля параметров, автоматизации устройств на базе известных современных платформ «Arduino» и «Raspberry Pi». В ходе занятий учащиеся знакомятся со средой программирования, программными и аппаратными средствами, получают навыки построения несложных устройств, которые используют датчики разнообразной информации (света, движения, расстояния, звука и пр.) и выполняют действия по программе (движение, сигнализация звуком, светом, передача и обмен информацией между устройствами и пр.).

Курс занятий предполагает как работу под руководством педагога, так и самостоятельное обучение.

Указанная программно — аппаратная платформа была выбрана, поскольку она является хорошим переходным звеном от полного незнания области электроники, автоматики, робототехники и программирования микроконтроллеров, к уровню профессиональных знаний в указанных областях.

В ходе изучения программной и аппаратной частей учащимся предлагаются упражнения и задания, начиная с уровня «мигания светодиодами», и далее (с повышением уровня сложности) [1]:

- использование азбуки Морзе или иных кодов, при этом учащиеся должны написать собственные функции;
- звуковая сигнализация (простейшая и с использованием азбуки Морзе или иных кодов);
- использование датчиков и сенсоров (датчиков наклона, температуры, влажности, освещенности, задымленности, ультрафиолетового излучения, кнопки, потенциометра, джойстика и пр.). Также осуществляется знакомство со специализированными датчиками: акселерометром, барометром, гироскопом, магнетометром и рядом других;
- использование различных индикаторов: одно — и многоцветных светодиодов, светодиодных линеек, семисегментных индикаторов (включая многоцветные сборки семисегментных индикаторов), ЖК — индикаторов (включая цветные графические сенсорные экраны), LED — матриц, пьезо — излучателей звука, вибро — двигателей и т.д.;
- использование двигателей и сервоприводов;
- применение транзисторов и электронных силовых ключей;
- изучение алгоритмов управления движением;
- изучение беспроводной связи, а также связи автоматизированных устройств с сетью Интернет;

- сборка различных устройств (автоматических и автоматизированных), применимых, в том числе, для лиц с ограниченными возможностями здоровья;
- сборка мобильных роботов.

Дальнейшее обучение в данной области осуществляется с использованием одноплатных компьютеров на примере Raspberry Pi, при этом учащиеся знакомятся с основами языка Python, а также другими языками программирования [2].

Необходимо отметить, что в программе предусмотрено изучение отечественных аналогов электронной элементной и аппаратной базы, например фирмы Миландр [3].

Таким образом, учащиеся получают знания и навыки:

- работы в интерфейсе среды программирования Arduino IDE;
- основных понятий о программе (переменные, циклы, массивы, процедуры и функции, условные операторы и пр.);
- последовательного и параллельного выполнения команд; изменения режимов функционирования объекта, события;
- использования библиотек (как имеющихся, так и собственной разработки);
- использования широко распространенных электронных компонент, применяющихся при создании электронных схем автоматики и робототехники, в т.ч. отечественного производства;
- беспроводной связи между устройствами и связи с Интернет.

План занятий предусматривает активное участие студентов в научно — исследовательской деятельности, этапами которой являются:

1. Знакомство студентов с целью и задачами кружка (в случае обучения студентов в рамках кружка), совместное составление графика работы, обсуждение и утверждение тем научно — исследовательских работ студентов (НИРС);
2. Обучение студентов методам и способам научного исследования;
3. Проведение студентами НИРС по заранее утвержденным темам;
4. Апробирование результатов НИРС на конференциях, выставках, конкурсах. Публикация материалов исследований.

Отметим, что вышеописанная деятельность несколько пересекается с такой формой научно — технического творчества молодежи, как «фаблаб», в которой участникам предоставляется возможность изготавливать требуемые детали на высокоточных станках, при этом участники периодически контактируют с

технологическими отделами промышленных предприятий, где также осуществляется изготовление и сборка компонент проектов.

Примечательно, что в кружке в роли преподавателей по отдельным темам могут выступать и сами студенты (при наличии у них знаний выше среднего уровня), тем самым не только улучшая свои уже имеющиеся знания и навыки, но и повышая интерес к занятиям у остальных участников.

В ходе проведения занятий было выявлено, что наиболее эффективная проектная работа – небольшими коллективами («бригадами»), от 2 до 4 человек (последнее – если проект по сложности выше среднего уровня). Один из студентов выбирается руководителем). Проекты выполняются в течение нескольких занятий, и, как правило, завершаются к концу семестра.

Особенность работы здесь состоит в том, что первую часть семестра студенты изучают элементы, отдельные частные технологии, приемы работы. Во второй половине семестра осуществляется выполнение собственного проекта по индивидуальному заданию преподавателя.

Вышеуказанное соответствует требованию ведения проектной деятельности в ходе обучения.

Показал свою эффективность следующий педагогический прием: за некоторое время до окончания занятий, при приеме результатов лабораторных работ создаются так называемые «летучие комиссии»: прием результатов лабораторной работы (или проектов, когда это возможно) осуществляет не только преподаватель, но также и соседи слева и справа данного студента (бригады студентов). Отвечающим дается «минута на доклад» и затем студенты – соседи задают вопросы (иногда с помощью преподавателя). В результате, во – первых, студенты обмениваются опытом, приемами работы, в студенческой группе «все знают про всех». Во – вторых, каждый студент учится формулировать вопросы и помнит, что если сейчас он задает вопросы своему коллеге, то через несколько минут этот коллега будет задавать ему вопросы, т.е. учится быть корректным.

Указанная форма, к сожалению, трудно применима со всё более широким внедрением электронного обучения, когда студенты разобщены и не происходит коллективной работы и непосредственного общения друг с другом и с преподавателем.

Необходимо отметить, что значительной проблемой является отсутствие в подавляющем большинстве вузов современной дорогостоящей технической базы, соответствующей промышленным стандартам – это является неподъемным финансовым бременем для вузов, к тому же указанная база из – за устаревания должна меняться раз в несколько лет. Поэтому эффективным является виртуальное проектирование отдельных блоков и модулей в специализированных средах или на сайтах (например, MATLAB, Fritzing, TinkerCAD, Circuito.io и других), поскольку разрабатываемые среды не требуют физического воплощения, и в то же время соответствуют физическому аналогу. Безусловно, необходимо отметить

определенные шаги в решении данной проблемы – организация базовых кафедр, специализированных лаборатории, оформленных с помощью и в соответствии с направленностью предприятий, Однако указанные действия характеризуются определенной инертностью и не в полной мере решают проблему.

IV. ВЫСТАВКИ

На одной из выставок было представлено четыре проекта:

- устройство для лиц с ограниченными возможностями здоровья, страдающих амнезией;
- игра «запомни цветовую последовательность»;
- колесный робот, следящий за источником излучения;
- гусеничный робот, следящий за перемещающимся препятствием

Некоторые из проектов, выполненных для выставок, представлены на рисунках 1 и 2 .

V. ПУБЛИКАЦИИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ И СТУДЕНТОВ СОВМЕСТНО С ПРЕПОДАВАТЕЛЯМИ

Результаты учебной и учебно – научной деятельности студентов и преподавателей опубликованы в более чем пяти изданиях, основные из них представлены в списке литературы [4, 5, 7, 8]. Результаты исследований и методических разработок преподавателей опубликованы в более чем 12 трудах, основные из которых представлены в [6]. Отметим, что дальнейшее изучение материала осуществляется по направлению распределенных вычислений на кластерах и распределенной обработки больших данных [6, 9].

Одним из вариантов применения полученных знаний является обработка звуковых сигналов [10].



Рис. 1. Проекты, представленные на выставке, демонстрирует Александров П.О., член студенческого научного кружка электроники и робототехники (на фото справа)

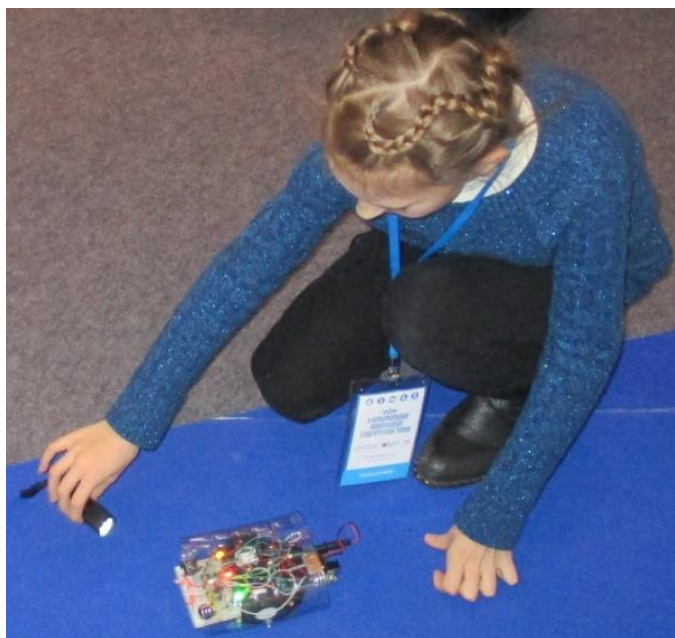


Рис. 2. Колесный робот, следящий за источником излучения, в действии

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Предлагаемые формы организации занятий по основам программирования в области электроники, автоматики и робототехники при подготовке бакалавров и специалистов инженерных специальностей доказали свою работоспособность и эффективность применительно к студентам, которые неизменно проявляли повышенный интерес к занятиям электроникой, робототехникой и автоматикой, созданию макетов и изделий собственной разработки, к творческому труду, и желали бы продолжить такие занятия.

Указанные формы организации занятий соответствуют требованиям ФГОС ВО по обладанию студентами требуемыми профессиональными и профессионально — прикладными компетенциями, в частности, знаниями аппаратной части, способностью участвовать в создании компонент программного обеспечения, умениями применять свои знания для проектирования, конструирования и документирования программных продуктов и аппаратной части, а также готовностью адаптировать приложения к изменяющимся условиям функционирования.

В результате проведения занятий повышается качество обучения студентов, а также количество и качество молодых людей, вовлеченных в инженерную сферу.

Также решается актуальная задача замещения импорта продукции, технологий, изделий электроники и пр. на преимущественно отечественную продукцию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Бачинин А., Панкратов В., Накоряков В. Основы программирования микроконтроллеров / Артем Бачинин, Василий Панкратов, Виктор Накоряков. – ООО «Амперка», 2013. – 207 с.
- [2] Торо Карвинен, Киммо Карвинен, Вилле Валтокари. Делаем сенсоры. Проекты сенсорных устройств на базе Arduino и Raspberry Pi / М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2016. – 448 с.
- [3] Компания АО "ПКК Миландр" по выпуску электронных компонентов, производимых в России. Режим доступа: <https://www.milandr.ru>. Дата обращения: 04.04.2018.
- [4] Александров П.О., Дмитриева Т.А., Малашенко М.А., Александрова Ю.Ю., Андрианов А.Е., Суханова А.Э., Симонов В.Л. Перспективное направление развития научно-технического творчества молодежи - кружок основ электроники и робототехники (тезисы доклада) // Материалы XXVII международной конференции «Современные информационные технологии в образовании». Москва: Полиграфический центр Московского издательско- полиграфического колледжа им. И. Федорова - С. 454-455.
- [5] Симонов В.Л., Юров Н.Н., Виноградов Д.А., Воденников А.В., Кошеварова Н.А. Преподавание основ электроники и робототехники при изучении ряда дисциплин профессионального цикла (тезисы доклада) // Сборник тезисов 15-й Международной конференции «Авиация и космонавтика – 2016» Москва: Типография «Люксор», 2016. – С. 469-470.
- [6] Симонов В.Л., Храпченко М.В., Мартишин С.А. Преподавание информационных технологий обработки больших данных (Data Mining, Machine Learning) студентам направлений подготовки, связанных с обработкой информации и данных (тезисы доклада). // Информационные технологии в образовании: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции – Саратов: ООО «Издательский центр «Наука»», 2017 – С. 292-296.
- [7] Симонов В.Л., Аметова М.М., Хмыров Н.А., Щукин Ф.О. Проектирование студентами высших учебных заведений реальных устройств при изучении ряда дисциплин, связанных с обработкой информации и данных // Информационные технологии в образовании: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции – Саратов: ООО «Издательский центр «Наука»», 2017– С. 296-299.
- [8] Симонов В.Л., Учакин Д.Д. Тематика «Умный дом» как платформа для проектирования студентами высших учебных заведений различных устройств автоматизации на основе систем и технологий обработки информации и данных // Информационные технологии в образовании: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции – Саратов: ООО «Издательский центр «Наука»», 2017– С. 299-301.
- [9] Мартишин С.А., Храпченко М.В. Принципы применения модели акторов для распределенных вычислений на кластерах с использованием кэширования / Тринадцатая конференция «Свободное программное обеспечение в высшей школе»: Материалы конференции. – Москва: Basealt, 2018, С. 114-117.
- [10] ANALOG SOUND SIGNALS DIGITALIZATION AND PROCESSING / Veretekhina S.V., Zhuravlyov M.S., Shmakova E.G., Soldatov A.A., Kotenev A.V., Kashirin S.V. - Modern Journal of Language Teaching Methods. 2018. Т. 8. № 3. С. 39-54.

Анализ методов реализации арифметической операции деления в системе остаточных классов

М.Д. Новичков, Д.А. Орлов

Институт автоматики и вычислительной техники
ФГБОУ ВО Национальный исследовательский университет "МЭИ"
Москва, Россия
novichkovmd@yandex.ru; orlovdmal@mpei.ru

Аннотация

В работе рассматриваются методы выполнения арифметической операции деления в многомодульной системе счисления, разрабатываются программные реализации рассмотренных методов, а также проводятся исследования разработанных реализаций.

Ключевые слова — методы деления; многомодульные системы счисления; система остаточных классов; анализ алгоритмов.

I. ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом повышаются как требования к точности вычислений, так и объём обрабатываемых данных. Для таких задач как автоматическое управление технологическими процессами или управление летательными аппаратами скорость принятия точного решения критична для предотвращения нежелательных событий. При увеличении точности необходимо увеличение разрядности, а это приводит к росту оборудования и времени на вычисления результатов арифметических операций.

Существующие методы распараллеливания вычислений помогают лишь ограниченно, поскольку направлены только на распараллеливание алгоритма. В таких случаях необходимо осуществить распараллеливание выполнения самих арифметических операций.

Для ускорения вычислений предлагается использовать параллелизм на уровне разрядов операндов. Это позволяет система остаточных классов (СОК) — непозиционная система счисления, математический аппарат которой хорошо разработан [1].

Одним из недостатков СОК является сложность выполнения немодульных операций, в частности основного деления, где делимое и делитель являются произвольными числами в границах заданного диапазона. В данной работе представлено описание существующих методов выполнения общего деления и их анализ.

II. ИЗВЕСТНЫЕ МЕТОДЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ДЕЛЕНИЯ

Операцию деления можно отнести к одной из трёх различных форм [1]:

- 1) Деление с нулевым остатком.
- 2) Округление и масштабирование.
- 3) Основное деление.

Известны следующие методы выполнения основного деления:

- 1) На основе метода спуска Ферма с использованием сведения общего деления к процессу масштабирования [2].
- 2) На основе метода спуска Ферма с использованием замены абсолютных величин делимого и делителя на их относительные значения к общему диапазону системы остаточных классов [3].
- 3) Основное деление выполняемое по параллельному алгоритму с выполнением вычислений только в СОК. Использование вспомогательной СОК [4].

III. АЛГОРИТМ ДЕЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ

Алгоритм деления целых чисел a/b можно описать итеративной схемой, использующей так называемый метод спуска Ферма. Конструируется некоторое правило ϕ , которое каждой паре целых положительных чисел a и b ставит в соответствие некоторое целое положительное q , такое, что $a - bq = r > 0$. Тогда деление a на b осуществляется по следующему правилу: согласно операции ϕ паре чисел a и b ставится в соответствие число q_1 , такое, что выполняется условие $a - bq_1 = r_1 \geq 0$. Если $r_1 < b$, то деление закончено, если же $r_1 \geq b$, то согласно ϕ , паре чисел (r_1, b) ставится в соответствие q_2 , такое, что $r_1 - bq_2 = r_2 \geq 0$.

Если $r_2 < b$, то деление завершается, если же $r_2 \geq b$, то согласно ϕ , паре (r_2, b) ставится в соответствие q_3 , такое, что $r_2 - bq_3 = r_3 \geq 0$ и так далее. Так как последовательное применение операции ϕ приводит к строго убывающей последовательности положительных целых чисел $a \geq r_1 > r_2 > r_3 > K \geq 0$, то процесс является конечным и алгоритм реализуется за конечное число шагов.

Известные алгоритмы деления чисел, представленные в СОК, базируются на абсолютных значениях делимого и делителя. В данном методе предлагается использовать не абсолютные значения, а их относительные величины.

Проблема деления в общем виде в СОК привлекает внимание многих исследователей для разработки высокопроизводительных многомодульных АЛУ. Известные алгоритмы деления в СОК, основанные на использовании преобразования в Обобщенную позиционную систему счисления (ОПСС), масштабировании, округлении, расширении и других операциях, являются медленными и требуют выполнения большого количества арифметических действий.

Одним из направлений упрощения операции сравнения модулярных чисел является подход с использованием приближенного метода вычисления позиционной характеристики модулярного числа, который позволяет реализовать основные классы процедур принятия решений: проверка равенства (неравенства) двух значений; сравнение двух значений (больше, меньше) и другие, которые обеспечивают решение основного круга задач, возникающих при аппаратной или программной реализации вычислений в системе остаточных классов.

Суть приближенного метода вычисления позиционной характеристики модулярного числа и его использование для деления модулярных чисел основаны на использовании относительных величин анализируемых чисел к полному диапазону, определяемому Китайской теоремой об остатках, которая связывает позиционное число a с его представлением в остатках $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$, где α_i — наименьшие неотрицательные вычеты числа, относительно модулей системы остаточных классов p_1, p_2, \dots, p_n , суммой элементов, вычисляемых по формуле метода ортогональных базисов.

Для вычисления относительного значения нужно заранее найти константные коэффициенты, зависящие от набора модулей СОК, равные $k_i = p_i^{-1}/p_i$ с дробным результатом в формате с точкой, где $p_i = P/p_i$ является результатом деления диапазона СОК на i -й модуль, p_i^{-1} — обратный по модулю p_i элемент к p_i . Относительное значение числа равно сумме произведений $k_i * \alpha_i$ с отбрасыванием целой части.

Алгоритм включает следующие действия:

1) Вычисление относительных значений для делимого A и делителя B , которые обозначим как $F(A)$ и $F(B)$. При этом значение $F(A)$ записывается в переменную Δ , предназначенную для проверки условия отбора степеней двойки для аппроксимации частного.

2) Если $F(A) > F(B)$, то выполняется цикл для определения наивысшей степени двойки, содержащейся в ряде аппроксимации частного. Пока $F(B)*2 < 1$ будут выполняться следующие операции:

a) Запись в переменную $F(B)$ новое значение, равное её предыдущему значению после поразрядного сдвига влево, т.е. $F(B)*2$.

b) Увеличение текущего значения степени двойки на единицу, т.е. значение переменной S , записанной в модулярном коде СОК, умножается на 2 (исходным установленным значением S является единица).

3) Делитель B , представленный в модулярном коде СОК, умножается на полученное значение S , т.е. на наивысшую степень двойки, которая содержится в ряде аппроксимации частного.

4) Вычисление относительного значения для полученного произведения B и S , которое обозначим как $F(BS)$.

5) Выполнение цикла аппроксимации частного. Пока значение S не станет равным единице, будут выполняться следующие операции: если разность $\Delta - F(BS) > 0$, то:

a) К значению частного Q , записанному в модулярном коде СОК, прибавится текущее значение степени двойки S .

b) Уменьшение степени двойки на единицу, т.е. деление с нулевым остатком значения S .

c) Запись в переменную Δ новое значение, равное разности $\Delta - F(BS)$.

d) Запись в переменную $F(BS)$ новое значение, равное её предыдущему значению после поразрядного сдвига вправо, т.е. $F(BS)/2$. Иначе в данной итерации цикла будет выполнен только пункт *b* и *d* данного цикла.

6) После окончания данного цикла аппроксимации частного необходимо выполнить проверку содержания в ряде аппроксимации нулевой степени двойки. Если разность $\Delta - F(BS) > 0$, то к значению частного Q , записанному в модулярном коде СОК, прибавится единица, иначе ничего не будет выполнено и выполнение общего деления A на B закончится.

Алгоритм можно ускорить путём введения одновременной проверки нескольких степеней двойки при выполнении цикла для определения наивысшей степени двойки, содержащейся в ряде аппроксимации частного. Можно делать сдвиг параллельно на разное количество разрядов без перезаписи значения $F(B)$, если реализация будет аппаратная, с помощью комбинационных схем. То есть при наличии значений $F(B)*2, F(B)*4, F(B)*8, \dots, F(B)*2^n$ можно увеличивать значение степени n не на единицу за итерацию, а на максимально приемлемое значение. Если при максимальном $F(B)*2^n$, обрабатываемом за одну итерацию, условие не превышения единицы будет выполняться, то S будет умножено на 2^n в СОК, а не n раз на 2.

Оригинальный алгоритм, взятый из патента № 2559771, предполагал, что найденные в ходе первого цикла степени двойки сохраняются в строки массива памяти. Однако было принято решение наращивать значение степени двойки в регистре, если реализация аппаратная, или в структуре, если программная. Это экономит объём затрачиваемой памяти при том, что в алгоритме за одну

итерацию аппроксимации не используется более одной степени двойки.

Приведём пример работы рассматриваемого алгоритма. Пусть у нас имеется СОК со следующим набором модулей: 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23. Тогда диапазон СОК будет равен 223092870. Возьмём в качестве делимого число близкое к границе диапазона, равное 210100100. В таблице 1 приведены использованные делители, полученные частные и значения наивысших выбранных степеней двойки, по которым будем оценивать сложность алгоритма, т.к. количество итераций в циклах будет равно $(2^{*n}+1)$. Оценка проводится без учёта времени выполнения линейной части алгоритма, так как она выполняется за статичное время.

Из этого следует, что вычислительная сложность данного метода является линейной. Оценка времени вычислений имеет асимптотику $O(n)$, где n — разность порядков делимого A и делителя B . Также нужно отметить, что при использовании типа целочисленных данных языка Си unsigned long long для выполнения основных операций над операндами и long double для представления относительных величин в ходе испытаний была допущена лишь одна ошибка, когда делитель был равен трём. Эта погрешность произошла из-за очень малых и близких друг к другу значений Δ и $F(BS)$, когда проверялась нулевая степень.

IV. АЛГОРИТМ ДЕЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ СОК

Данный метод использует только модульные операции, то есть вычисления выполняются параллельно, в формате СОК. Предлагается устройство для основного деления модулярных чисел в формате системы остаточных классов, содержащее входные регистры делимого и делителя, выходы которых коммутируются мультиплексором для поочередного преобразования делимого и делителя, представленных в основной СОК, во вспомогательную СОК, выход мультиплексора соединен со входом блока расширения, расширяющего базу СОК, выход которого соединен со входом демультимплексора, выходы которого соединены с регистрами хранения остатков по расширенным основаниям, выход регистра делимого по расширенным основаниям соединен со входом умножителя, а выходы регистра делителя соединены с LUT-таблицей, преобразующей делитель по расширенным основаниям в мультипликативную инверсию, выходы которой соединены с умножителем, где реализуется вычислительная модель.

- 1) Преобразуем a и b в вспомогательную СОК, получая a' и b' .
- 2) Вычисляем мультипликативный обратный элемент по модулю p' к b' , получаем b'^{-1} .
- 3) Вычисляем значение c , получаем $c' = a' * b'^{-1}$.

Таблица 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПЕРВОГО АЛГОРИТМА

Делитель B	Частное Q	Степень двойки n
1	210 100 100	27
2	105050050	26
3	70 033 367	26
4	52 525 025	25
5	42 020 020	25
6	35 016 683	25
50	4 202 002	22
50 000	4202	12
10 110 010	21	4

4) Преобразуем c' и b'^{-1} из вспомогательной СОК в основную: c и b'^{-1} .

5) Вычисляем частное: $z = ((a * b'^{-1}) - c) * q^{-1}$.

6) Выполняем проверку: $((b * b'^{-1}) - 1) * q^{-1}$. Если результат равен единице, то есть нейтральному элементу, значит деление прошло успешно, иначе — ошибка.

Данный алгоритм деления в СОК, описанный в патенте № 2559772 [4], не использует позиционных характеристик операндов в отличие от других, а также скорость вычисления частного одинаковая для разных значений операндов при одном и том же количестве модулей СОК, не имеет циклов. Это явное преимущество по сравнению с другими. Время вычислений имеет асимптотику $O(n)$, где n — число модулей, что определяется сложностью известных методов расширения базиса СОК для выполнения перевода из одной СОК в другую [5].

По сравнению с предыдущим алгоритмом, данный метод при программной реализации последовательным способом оказался в 5 раз быстрее для одинаковых операндов. Однако при увеличении количества модулей, разница скоростей уменьшается. Преимущество первого алгоритма заключается в том, что может быть лучший и худший случай, что при решении задач может дать неплохое среднее значение. Преимуществом второго алгоритма является статичное время вычисления с заданным набором модулей, однако при большом числе модулей преобразование из одной СОК в другую требует много времени. Средства разработки: компилятор MinGW, язык программирования C++, интегрированная среда разработки Qt Creator. Эксперимент проводился с использованием процессора AMD A8-5600K. Оба алгоритма могут быть распараллелены относительно обработки по каждому из модулей с минимальным взаимодействием потоков обработки данных. Для реализации параллельных версий этих программ, работающих по выбранным алгоритмам, возможно применение известных технологий для параллельной обработки данных [6]. Это является темой дальнейших исследований.

Таблица 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ВТОРОГО АЛГОРИТМА

Делимое <i>A</i>	Делитель <i>B</i>	Частное <i>Z</i>
999	1	0
999	2	499
999	3	666
999	4	249
999	6	832
999	7	570
999	8	124
999	9	222
999	15	62

Приведём результаты испытаний алгоритма на различных входных данных. Пусть у нас имеется основная СОК со следующим набором модулей: 7, 11, 13. А вспомогательная СОК пусть имеет модули: 5, 17, 19. Тогда диапазон основной СОК будет равен 1001. Возьмём в качестве делимого число близкое к границе диапазона, равное 999. В таблице 2 приведены использованные делители, полученные частные.

Из этого следует, что алгоритм деления не является общим, т.к. даёт результат, не совпадающий с ожидаемым на определённом множестве используемых делителей. В опубликованном патенте недостаточно информации для реализации операции общего деления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассмотрены два наиболее быстрых метода выполнения операции общего деления. Представлено описание каждого из выбранных для анализа методов. Выполнены испытания программных реализаций алгоритма для получения показателей, необходимых для составления выводов. Проведена оценка сложности алгоритмов.

В дальнейшем планируется реализовать первый из рассмотренных алгоритмов в виде параллельной программы в модели общей памяти с помощью библиотеки стандарта OpenMP с использованием описанных выше модификаций, так как алгоритм предполагает выполнение на едином устройстве с множеством параллельно работающих вычислительных каналов, а не на распределённой системе. Эффективнее всего будет выполняться на устройстве с архитектурой SIMD по классификации Флинна. Кроме того планируется построить схемную реализацию, протестировав работоспособность с помощью модели, описанной на языке vhdl в САПР Vivado 2017. Анализ схемной модели позволит определить эффективность применения выбранного метода выполнения операции основного деления в специализированных ЭВМ, а также позволит исследовать применение путей повышения функциональной надёжности для этих устройств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Акушский Н.Я., Юдицкий Д.И. Машинная арифметика в остаточных классах. – М.: Советское радио, 1968. – 440 с.
- [2] Червяков Н.И., Лавриненко И.Н., Лавриненко С.В., Мезенцева О.С. Методы и алгоритмы округления, масштабирования и деления чисел в модулярной арифметике // 50 лет модулярной арифметике. Юбилейная междунар. науч.-техн. конф. Сборник трудов. М., 2000. С. 291–310.
- [3] Бабенко М.Г., Червяков Н.И., Лавриненко И.Н., Ляхов П.А. Устройство для основного деления модулярных чисел. Патент RU 2559771, G06F 7/72.
- [4] Бабенко М.Г., Червяков Н.И., Лавриненко И.Н., Ляхов П.А., Лавриненко А.В. Устройство для основного деления модулярных чисел в формате системы остаточных классов. Патент RU 2559772, G06F 7/72.
- [5] Гранкин В.В. Аналитическая форма метода Гарнера для расширения базиса системы остаточных классов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2016. С. 53–59.
- [6] Скворцов С.В., Пюрова Т.А. Параллельные алгоритмы сортировки данных и их реализация на платформе CUDA // Сборник трудов международной научно-технической и научно-методической конференции: в 4 томах. Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет. 2016. С.77–80.

Информационные сервисы для структурных подразделений в рамках личного кабинета МЭИ

С.А. Петров, А.О. Афанасьева

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,

г. Москва,

PetrovSA@mpei.ru, AfanasyevaAO@mpei.ru

В статье проводится обзор нового информационного сервиса доступного каждому структурному подразделению в рамках проекта «Личный кабинет МЭИ». Рассматриваются возможности по подготовке графика отпусков, просмотра штатного расписания и списка сотрудников подразделения. Выделяются наиболее перспективные пути развития.

Ключевые слова — *информационная система, график отпусков, штатное расписание, автоматизация.*

I. ВВЕДЕНИЕ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждения высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ" (ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ») является крупным образовательным учреждением. В НИУ МЭИ проводится обучение по различным уровням образования (бакалавриат, специалитет, магистратура, аспирантура) и по формам обучения (очная, очно-заочная, заочная). Студенты получают знания по множеству направлений и профилей подготовки.

В состав университета входит 11 институтов и более 60 кафедр. В процессе обучения задействовано более 1500 преподавателей и более 500 учебных аудиторий с разными характеристиками (вместимость, наличие компьютерного и прочего специализированного оборудования). Основное направление деятельности любого образовательного учреждения – это учебный процесс, но в зависимости «масштаба» организации появляются дополнительные накладные расходы.

Внутренняя структура МЭИ, представляется сложной иерархией из более чем трехсот подразделений, в которых задействованы сотрудники различных категорий штата – профессорско-преподавательский состав, учебно-вспомогательный персонал, научный персонал, административно-управленческий персонал, врачебный персонал и др. Большая нагрузка по ведению личных дел сотрудников ложится на немногочисленный отдел кадров. Естественным образом встает вопрос об автоматизации бизнес-процессов, связанных с кадровым учетом.

В НИУ МЭИ эксплуатируется единая информационная среда, которая строится на корпоративной сети МЭИ и платформе Microsoft [1]. В этой информационной среде реализована концепция подготовки юридического документа параллельно с созданием задания на изменение состояния объектов в базе данных.

Кадровый учет сотрудников и учащихся имеет свои особенности, поэтому в программном комплексе выделены несколько информационных систем (ИС) – ИС Кадры, ИС Студент, ИС Аспирант [2]. Все они построены на одной программной платформе и имеют много общего – единый пользовательский интерфейс; единую систему подготовки приказов и справок; единую систему генерации отчетов; единую систему доступа к внешним базам данных и справочникам (например, работа с федеральной информационной адресной системой).

В 2017 году в эксплуатацию был введен новый раздел кадрового комплекса – Личный кабинет МЭИ (ЛК МЭИ). На первом этапе ЛК МЭИ был интегрирован с системой учета сотрудников – ИС Кадры и в зависимости от полномочий предоставляет пользователю следующие сервисы:

- подготовка графика отпусков для сведения данных по планируемым отпускам сотрудников подразделения;
- просмотр штатного расписания подразделения;
- просмотр списка сотрудников подразделения.

Для каждого разрешения задается область действия – конкретное подразделение, либо подразделение включая все дочерние согласно организационной структуре НИУ МЭИ.

II. ГРАФИК ОТПУСКОВ

Трудовой кодекс Российской Федерации (ТК РФ) принят 21 декабря и подписан Президентом РФ 30 декабря 2001 года. Глава 19 ТК РФ регламентирует все положения, связанные с соблюдением прав граждан на отдых. Согласно действительному закону, на оплачиваемый отпускной период протяженностью в 28 дней имеют право все граждане РФ.

Согласно статье 123 ТК РФ очередность предоставления оплачиваемых отпусков определяется ежегодно в соответствии с графиком отпусков, утверждаемым работодателем с учетом мнения выборного профсоюзного органа данной организации не позднее чем за две недели до наступления календарного года.

Для отражения сведений о ежегодных оплачиваемых отпусках работников на календарный год по месяцам применяется унифицированная форма № Т-7,

утвержденная постановлением Госкомстата России от 05.01.2004 № 1 «Об утверждении унифицированных форм первичной учетной документации по учету труда и его оплаты».

Таким образом каждый из сотрудников организации должен предоставить работодателю сведения о запланированном отпуске. Документ, в котором фиксируются все пожелания сотрудников называется график отпусков или унифицированная форма Т-7. На основании графиков отпусков по организации готовятся приказы на отпуск, которые в обязательном порядке доводятся до работников.

Процесс подготовки приказов на отпуск в НИУ МЭИ можно представить в виде следующей блок-схемы:

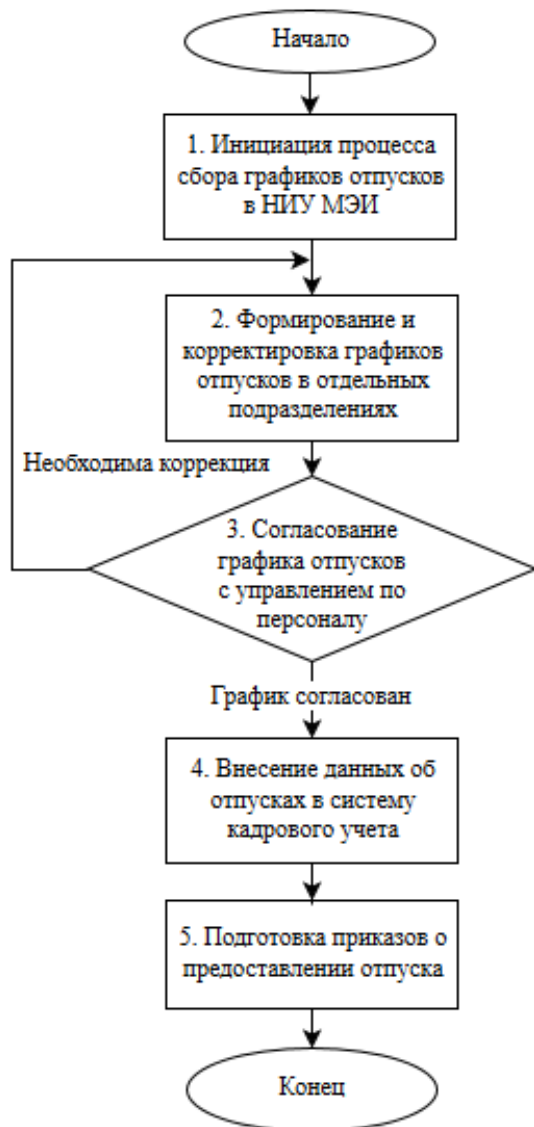


Рис. 1 Блок-схема подготовки приказов на отпуск в МЭИ.

На всех этапах данного процесса в той или иной мере достигнута автоматизация:

- Шаг 1 – публикация информации на веб-портале НИУ МЭИ.
- Шаг 2 – выгрузка актуальных данных о работниках подразделения с помощью ЛК МЭИ.
- Шаг 3 – взаимодействие руководителей подразделений с управлением по персоналу через корпоративную электронную почту.
- Шаг 4 – программный импорт графиков отпусков в систему Кадры.
- Шаг 5 – автоматизированное формирование приказов на отпуск в ИС Кадры и рассылка их руководителям подразделений по корпоративной электронной почте.

Ключевым моментом является получение актуального списка сотрудников подразделения, так как данная информация содержится в управлении по персоналу и не всегда доступна руководителям в оперативном режиме.

Указанная степень автоматизации была достигнута не сразу. Ранее Excel-файлы со сведениями о работниках подразделений готовились и рассылались в адрес руководителей вручную. ЛК МЭИ – это следующий шаг в развитии информационных сервисов МЭИ по данному направлению.

Для подготовки графика отпусков в ЛК МЭИ от каждого подразделения были получены сведения об ответственном за составление, которому были выданы права на просмотр общих сведений о подразделении и на подготовку формы Т-7. При необходимости права распространялись и на дочерние подразделения. Такой вариант актуален для кафедр и нижестоящих научно-исследовательских лабораторий. В зависимости от подхода, практикуемого в подразделении, могло быть выделено несколько уполномоченных, права для которых назначались индивидуально согласно логическому разделению отделов, входящих в состав подразделения. Пользователи с одинаковыми полномочиями включались в одну группу безопасности, которой назначались соответствующие права. После получения необходимых прав, ответственный от подразделения сотрудник – пользователь ЛК МЭИ – генерировал Excel-файл с шаблоном графика отпусков своего подразделения.

В результирующий файл попадает актуальная информация о работниках, числящихся в подразделении на момент формирования файла. При генерации пользователь имеет возможность выбрать необходимые категории штата сотрудников для включения их файл. Например, сотрудников только профессорско-преподавательского состава и/или сотрудников научно-исследовательской части. Такое разделение актуально из-за организационных особенностей подготовки графиков отпусков в МЭИ – обычно графики отпусков готовятся по определенным категориям штата. Для каждой из выбранных категорий

штата создаются отдельные Excel-файлы, включающиеся в общий архив графика отпусков для подразделения. В случае отсутствия сотрудников определенной категории штата пользователю выводится сообщение об ошибке.

Архив с шаблоном графиков отпусков загружается на локальную машину пользователя для внесения данных о планируемых отпусках сотрудников. В загруженную форму Т-7 попадают сведения из кадровой системы учета в том состоянии, в котором они были зафиксированы на вчерашний день. Данное ограничение связано с техническими особенностями синхронизации данных между системами.

Excel-файл содержит скрытые сведения для импорта данных в кадровую систему и правила проверки корректности ввода данных (например, формат даты). В состав скрытых полей входит уникальные идентификаторы сотрудника, его конкретной работы (сотрудник может совмещать работу в нескольких подразделениях и в каждом должен предоставлять данные для графика отпусков), занимаемой должности и подразделения.

В промежутки времени между импортом графика отпусков, его заполнением и экспортом в ИС Кадры в характеристиках работы могут произойти изменения. Например, измениться размер занимаемой ставки, которое для ИС Кадры равнозначно созданию новой записи о работе сотрудника и деактивации старой. Данная особенность приводит к неоднозначности при загрузке графиков отпусков, в случае изменений параметров работы. Поэтому при импорте графика отпусков в ИС Кадры на первом этапе происходит поиск активных работ сотрудников по идентификаторам из загружаемого файла. Если работа не найдена (она была деактивирована из-за изменений в параметрах работы), то происходит эвристический поиск по другим характеристикам – должность и подразделение. Когда работа найдена к ней привязывается отпуск из графика отпусков подразделения. Если обнаружить запись не удалось, то выводится сообщение об ошибке, которое сотруднику управления по персоналу необходимо обработать вручную.

Указанная схема взаимодействия была запущена для сбора отпусков в 2017 году и показала свою эффективность при переносе данных из файлов с графиками отпусков в ИС Кадры. Полный переход на электронный документооборот осуществить не получилось, поэтому параллельно с электронными документами передаются и бумажные версии, которые подписывают все ответственные стороны. При этом набор ответственных программная система формирует автоматически – это руководитель кадровой службы, руководитель подразделения и руководитель вышестоящего подразделения.

По результатам опытной эксплуатации можно с уверенностью сказать, что определенный объем нагрузки с сотрудников МЭИ был снят. Имеются планы по развитию системы, с тем, чтобы планируемые даты отпусков вводились в ЛК МЭИ, без оформления «промежуточных» Excel-файлов.

III. ШТАТНОЕ РАСПИСАНИЕ И СПИСОК СОТРУДНИКОВ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ

Помимо подготовки графиков отпусков ЛК МЭИ предоставляет и другие полезные для руководителей структурных подразделений сервисы – просмотр штатного расписания и списка сотрудников подразделения.

Штатное расписание – нормативный документ предприятия, оформляющий структуру, штатный состав и численность организации с указанием размера заработной платы в зависимости от занимаемой должности. Штатное расписание оформляется в унифицированной форме № Т-3 или по форме, принятой в организации [3].

При планировании деятельности подразделения и разделении труда руководитель ориентируется на штатное расписание. Функционал ЛК МЭИ призван облегчить данный процесс и в оперативном режиме предоставляет следующие характеристики о штатном расписании подразделения:

- источник финансирования;
- должность;
- ученая степень и звание, необходимые для работы в указанной позиции;
- категория штата;
- общее количество ставок;
- количество свободных ставок;
- размер оклада;
- повышающий коэффициент.

Следующий этап в организации деятельности подразделения — это прием сотрудников согласно штатному расписанию. Эффективнее данный процесс можно организовать, имея «под рукой» актуальный список работающих сотрудников. В рамках ЛК МЭИ предлагается следующая информация о сотрудниках подразделения:

- табельный номер;
- фамилия, имя, отчество;
- сведения из строки штатного расписания (должность, ученая степень, ученое звание, категория штата и др.);
- размер занимаемой ставки;
- тип сотрудника (штатный сотрудник, внешний/внутренний совместитель и др.);
- дату вступления в должность и дату окончания работы.

Штатное расписание и список сотрудников подразделения поддерживают фильтрацию по ряду критериев. Например, руководитель может построить выборку элементов штатного расписания, по которым имеются свободные ставки, и рассмотреть вариант приема новых сотрудников. При необходимости оба списка могут

быть экспортированы в Excel для самостоятельной обработки на машине пользователя.

Технически доступ к информации предоставляется через веб-интерфейс и позволяет работать практически с любого современного устройства, имеющего доступ в интернет. Это стандарт «де-факто» для современных программных систем, который выдерживают большинство систем МЭИ.

Предлагаемые пользователю ЛК МЭИ сведения формируются по данным ИС Кадры. Интеграция с ней происходит на уровне баз данных (БД) – копируется последняя резервная копия и восстанавливается полная копия на сервере ЛК МЭИ. Такой подход позволяет снизить трудозатраты по синхронизации данных и заведомо обеспечивает их целостность и согласованность.

IV. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

На данный момент основной вариант использования ЛК МЭИ – это работа с модулем отпусков, но планируются развитие системы с целью охвата новых бизнес-процессов, имеющих место в НИУ МЭИ, и постепенный переход на электронную обработку данных.

Технически ЛК создавался как единая точка входа для всевозможных сервисов, предоставляемых МЭИ для сотрудников, студентов и других лиц, задействованных во внутренних бизнес-процессах. Программная архитектура ЛК МЭИ поддерживает включение новых систем в подготовленную инфраструктуру, в которую входят механизмы аутентификации и авторизации, соглашение по пользовательскому интерфейсу и некоторые аспекты технической реализации. Каждая система, входящая в ЛК МЭИ, имеет собственную систему разграничения прав доступа, данные из которой частично проецируются в общую БД. При включении нового пользователя в одну из дочерних относительно ЛК МЭИ систем он автоматически появится в общей базе данных и сможет успешно пройти этапы аутентификации и авторизации.

Данный программный комплекс имеет достаточно большое количество направлений для развития, среди которых можно выделить:

- Личный кабинет студента, в котором каждый учащийся мог бы контролировать персональные данные обрабатываемые программными системами МЭИ и инициировать процесс их обновления. Например, предоставлять исходные данные для запуска процесса утверждения приказа о смене фамилии, имени или отчества.
- Личный кабинет сотрудника для целей схожих с личным кабинетом студента. В рамках этого информационного пространства сотруднику могут быть доступны актуальные данные по его трудовым договорам, отпускам, поощрениям и взысканиям, контактам для оперативной связи и корреспонденции, приказам и другим характеристикам, связанным с работой в МЭИ. В целях оптимизации бумажного документооборота

и постепенному переходу к электронному варианту документов сотрудник мог бы передавать кадровым службам МЭИ следующие виды документов: справка об отсутствии судимости, справка о неупотреблении наркотиков, документы, подтверждающие присвоение ученой степени или звания и др.

- Личный кабинет кафедры. В рамках этого направления уже ведутся работы для автоматизации процесса направления студентов на практику. Каждая кафедра подготавливает заявку на проведение практики студентов и согласует ее электронный вариант с отделом занятости и практических форм обучения. После согласования в электронном виде начинается подготовка бумажных договоров, без которых в данном случае не обойтись, так как соглашение достигается с внешними относительно МЭИ предприятиями.
- Личный кабинет руководителя. Руководителей различного уровня интересуют сводные данные по их направлению. В зависимости от уровня руководства это может быть информация об отдельных сотрудниках или их группах (отдел, управление и т.п.), по всем работникам или в разрезе категорий штата, типе сотрудника и др. Все те данные, которые необходимы большинству успешных руководителям.
- Отдельно можно выделить информационный сервис для заведующих кафедр и директоров институтов. Их работа тесно связана с учебным процессом и с различными показателями эффективности, которые должным достигаться по прошествии заданного времени. Несомненно, полезной для них информацией были бы показатели, которые необходимо достигнуть и их текущие значения.

Ведутся поиски и других направлений, которые могут стать полезными для университета. Это могут быть информационные сервисы, оперирующие любыми данными из систем, уже функционирующих в МЭИ. Несомненно, для их разработки и внедрения необходимы заинтересованные лица, обладающие соответствующими ресурсами и полномочиями в НИУ МЭИ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Петров С.А., Овсянникова М.Р., Фёдоров А.Б. Кадровый комплекс корпоративной информационной среды НИУ «МЭИ», Новый информационные технологии в образовании (НИТО): материалы 9 МНПК, 2016 г. // ФГАОУ ВО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т». стр. 177-181.
- [2] Петров С.А., Крепков И.М., Федоров А.Б., Овсянникова М.Р., Автоматизация кадрового учёта как составная часть автоматизации управления ВУЗом, труды МНПК «Информатизация инженерного образования» — ИНФОРИНО-2016. — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. стр. 186-189.
- [3] Постановление Госкомстата РФ от 05.01.2004 N 1 "Об утверждении унифицированных форм первичной учетной документации по учету труда и его оплаты".

Информационная система учета контингента студентов НИУ МЭИ

С.А. Петров, И.М. Крепков, М.Р. Овсянникова
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
г. Москва,
PetrovSA@mpei.ru, KreprovIM@mpei.ru, OvsyannikovaMR@mpei.ru

В статье представлен опыт разработки и внедрения системы автоматизации кадрового учета студентов ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» как составной части автоматизации управления университетом.

Ключевые слова — информационная система; студент; автоматизация; внедрение.

I. ВВЕДЕНИЕ

Информационная система СТУДЕНТ (ИС Студент), является одной из трех компонент кадрового комплекса Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ" (ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»), включающего решения для ведения контингента сотрудников, студентов, аспирантов [1].

Особенность этой системы состоит в том, что ИС Студент является как системой кадрового учета студентов, так и информационной основой для поддержки образовательного процесса в университете. На законодательном уровне работа системы регламентируется Федеральным законом от 29 декабря 2012 г. N 273-ФЗ "Об образовании в Российской Федерации".

ИС Студент охватывает автоматизацию типовых для ВУЗа процессов в части кадрового учета контингента студентов и позволяет описывать динамику состояния студента в процессе обучения, а также готовить отчетность по контингенту студентов на текущий и прошедшие периоды.

II. ИСТОРИЯ

Автоматизации процесса хранения и обработки данных о студентах в МЭИ на протяжении десятков лет уделялось особое внимание. ИС Студент пришла на смену информационной системе ИРИС (Интегрированная Распределенная Информационная Система), которая была введена в рабочую эксплуатацию в 2000 году. Система имела дружественный пользовательский интерфейс и достаточно мощный функционал.

Внедрение системы Студент позволило решить проблемы, связанные как с количественными ограничениями системы-предшественницы, так и проблемы, связанные с ограничениями модели данных ИРИС.

Узким местом ИС ИРИС были:

- блокировка работы пользователей при регистрации приказа, включающего большое количество студентов;
- существенное замедление работы пользователей при одновременной работе более десяти пользователей;
- ограниченный набор средств пользователя для формулировки критериев поиска данных о студенте;
- устаревшая модель данных (например, не отрабатывалась актуальная на сегодня ситуация: студент получает «одновременно» несколько образований в ВУЗе).

В работе с контингентом студентов МЭИ принимает участие ряд подразделений:

- Учебный отдел.
- Отдел занятости и практических форм обучения.
- Студенческий отдел кадров.
- Служба единой приемной.
- Деканаты институтов, входящих в состав НИУ МЭИ (на начало 2018 года – 11 институтов).
- Деканат по работе с иностранными учащимися.
- Стипендиальный отдел.
- Военно-учетный стол.
- Статистическая служба.
- Управление социально-воспитательной работы.
- Администрация студенческого городка.

Работа всех этих служб не представляется возможной без использования единой актуальной базы данных студентов университета и без согласования бизнес-процессов деятельности этих подразделений [2].

ИС Студент заменила ИС ИРИС 9 марта 2017 года одномоментно для всех пользователей. Учитывая количество служб и пользователей системы, задача перехода на новую систему была не простой, но была решена достойно.

III. КЛЮЧЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СТУДЕНТ

Разработанная и внедренная в НИУ МЭИ программная система ведения контингента студентов опирается на семнадцатилетний опыт эксплуатации предыдущей системы и наработки ведущих ИТ-компаний отрасли. Система полностью или частично автоматизирует ряд задач, стоящих перед современным ВУЗом.

Информацию о контингенте, обрабатываемую в рамках ИС Студент, можно разбить на две категории:

- Данные о личности – общая информация (ФИО, дата рождения, СНИЛС и др.), адреса, документы, социальные льготы, сведения о военном учете, утвержденные приказы и выданные справки.
- Данные о студенте (факт обучения личности в институте) – общая информация (номер зачетной книжки, номер и дата приказа о поступлении, категория поступления, дата окончания, согласие на передачу персональных данных); события, связанные с обучением в институте; история изменения параметров обучения и утвержденные приказы.

Возможность привязки к одной личности нескольких студентов упрощает процесс переноса данных (фактически он отсутствует) при переходе личности с одного уровня образования на другой – завершение обучения по программе бакалавриата и поступление в магистратуру. В предыдущей системе такое разделение предусмотрено не было.

Для работы с адресами личности используется федеральная информационная адресная система (ФИАС), пришедшая на смену классификатору адресов РФ и с 2018 года являющаяся единственным актуальным государственным реестром адресов [3]. В ИС Студент реализован удобный поиск и ввод адресов с автоматической загрузкой дополнительной информации из ФИАС (например, индекс и ОКАТО).

Отдельная задача для любой современной ИС – это подготовка печатных форм документов и сводных отчетов. К настоящему моменту в ИС Студент реализован функционал для формирования следующих документов по различным направлениям:

- По линии обучения – учебная карточка студента (матрикул), справка о периоде обучения, сводка движения контингента студентов, выборка студентов по различным критериям и др.
- По отношению к воинской обязанности – справка об обучении для военкомата, справка по форме 26, реестр выданных справок и выписок из приказов, сопроводительная записка к справкам по форме 26, сводные списки студентов по принадлежности к военкомату.
- Для предоставления сводных статистических данных по запросам Министерства образования и других государственных подразделений – сводки

«Распределение приема по направлениям подготовки и специальностям», «Распределение численности студентов по курсам, направлениям подготовки и специальностям», «Численность студентов, прием и выпуск по категориям льготного обеспечения очной формы обучения» и др.

В системе имеется возможность подготовки единичных (на одного студента) и массовых (на несколько студентов) справок. Для ряда справок автоматически проставляется номер и ведется реестр. Для удобства анализа результатов в сводных отчетах предусмотрена детализация – пользователь имеет возможность нажать на значение в ячейке, чтобы узнать из каких позиций оно складывается. Для всех сформированных в системе документов реализован экспорт в один из форматов Microsoft Office (Word или Excel).

Большинство ИС взаимодействуют между собой для получения новых данных. ИС Студент не является исключением. Среди систем, с которыми налажено взаимодействие, можно выделить:

- ИС ПЭК (приемная экзаменационная комиссия НИУ МЭИ) – получение данных об абитуриентах.
- Система ГУП МСР (государственное унитарное предприятие города Москвы "Московский социальный регистр") – передача данных об обучающихся студентах для предоставления им социальной карты москвича.
- ИС Кадры (учет контингента сотрудников НИУ МЭИ) – получение данных об организационной структуре университета (институтах и кафедрах).
- ИС Сессия (подготовка и обработка документов, необходимых для проведения аттестаций студентов НИУ МЭИ) – получение данных об оценках студентов и средней успеваемости.
- СОД (системы службы подготовки документов об образовании НИУ МЭИ) – получение данных о выпускных квалификационных работах.
- ОСЭП (общеуниверситетская система электронной почты) – подтверждение факта принадлежности студента к активному контингенту НИУ МЭИ.
- ПЛУП (система планирования учебного процесса) – предоставление данных об учебных группах и их составе.

Высоких затрат на ручной труд требует подготовка большого количества приказов по движению студентов в рамках обучения и внесения соответствующих коррекций в ИС. Для автоматизации этого процесса были использованы опыт и программная платформа, полученные в ходе разработки ИС Кадры, функционирующей в НИУ МЭИ с 2015 года для учета контингента персонала.

Программный комплекс приказов адаптированный и интегрированный в ИС Студент, состоит из четырех модулей: редактор шаблонов, редактор приказов, редактор

прав, редактор маршрутов. Основные преимущества, которые дает программный комплекс подготовки приказов, по сравнению с работой в текстовом редакторе следующие:

- Автоматическое формирование текста проекта приказа – для подготовки текста необходимо выбрать шаблон приказа, задать его параметры и нажать на кнопку для генерации текста. Шаблоны приказов, используемые в дирекциях всех институтов, ведутся централизованно. Текст сформированных проектов приказов единообразен и соответствует требованиям учебного управления.
- Формирование выписки – приказы могут готовиться не для отдельных студентов, а на группы и даже целые курсы. Подготовка отдельных выписок на всех студентов такого приказа рутинная и не всегда тривиальная задача. В системе данный вариант использования автоматизирован.
- Контроль ввода – нельзя ошибиться в фамилии студента, выбрав его из списка учебной группы. При вводе связанных по смыслу параметров интерактивно контролируется соответствие их значений. Например, факт проживания в общежитии и даты заселения/выселения из него.
- Автоматическая подстановка значений с возможностью дальнейшего редактирования. Например, при изменении параметров обучения студента текущий семестр обучения выводится системой.
- Контроль маршрута утверждения приказа – переход проекта приказа по необходимым подразделениям будет выполнен (подразделения будут поставлены в известность о предстоящих изменениях) и будет выполнен корректно – согласно запланированной последовательности. Проект приказа может двигаться по маршруту как в прямом (к утверждению), так и в обратном (при необходимости внесения правок) направлениях.
- Наиболее важное преимущество – автоматическая коррекция данных в ИС согласно тексту приказа. Например, при утверждении приказа о переводе студента на следующий семестр обучения в системе будет создана новая запись о характеристиках обучения с датой начала и прочими параметрами, соответствующими тексту приказа. Предыдущей записи о характеристиках обучения будет поставлена дата окончания.

Помимо указанных возможностей комплекс приказов поддерживает ведение архива, возможность отмены (отката) изменений ошибочно утвержденных приказов, поиск проектов приказов по различным характеристикам, собственный механизм разграничения прав доступа.

Адаптация к изменениям в предметной области происходит на уровне шаблонов приказов. Для их подготовки не требуется внесение изменений в исходный код. Администратор ИС, обладающий знаниями о модели

и бизнес-процессах предметной области, в состоянии сам произвести необходимые изменения, влияющие на текст проекта приказа, его параметры и маршрут, а также набор действий при утверждении.

В ИС Студент реализованы и другие необходимые для современной программной системы функции: протоколирование изменений, политика разграничения прав доступа, система обработки ошибок.

IV. ТЕХНИЧЕСКИЕ И АППАРАТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Большинство современных ИС строятся по клиент-серверной архитектуре. Одно из преимуществ данной архитектуры заключается в том, что она позволяет снизить аппаратные и технические требования к пользовательским компьютерам. ИС Студент построена согласно клиент-серверной архитектуре и поэтому основные затраты по аппаратным и техническим характеристикам ложатся на серверную составляющую. Это весьма выигрышно, так как компания, основное направление деятельности которых напрямую не связано с информационными технологиями (а основная деятельность НИУ МЭИ – это проведение учебных занятий), не всегда имеют возможность своевременно обновлять парк пользовательских машин.

Основной модуль ИС Студент развернут на сервере под управлением 64-разрядной версии операционной системы (ОС) Microsoft Windows Server 2012 R2 со следующими характеристиками: процессор - Intel Xeon X5675 3.07GHz, объем оперативной памяти - 8ГБ, жесткий диск – 100ГБ. Решение построено на базе системы управления контентом CRM Dynamics 2015, адаптированной под задачу учета контингента студентов. В качестве системы управления базами данных (СУБД) используется SQL Server 2012 SP 2, за обработку веб-запросов отвечает Internet Information Services (IIS) 8.5. Перечисленные программные продукты относятся к «стеку технологий» Microsoft, активно развиваются и хорошо зарекомендовали себя при построении программных систем уровня крупного предприятия.

При реализации функционала, расширяющего стандартные возможности CRM (подсистема приказов, браузер личности, иерархия студентов, сводные отчеты и справки), можно выделить следующие наиболее важные составляющие:

- Windows Communication Foundation (WCF) – программная платформа (фреймворк) для организации обмена сообщениями между различными приложениями;
- ASP.NET MVC (включая HTML, CSS, JavaScript) – фреймворк для создания веб-приложений, реализующих шаблон разделения данных Model-View-Controller;
- Silverlight – технология для разработки веб-приложений с насыщенным пользовательским интерфейсом, которые загружаются через интернет

и выполняются с помощью специального модуля браузера;

- Службы SQL Server Reporting Services (SSRS) – дополнение СУБД SQL Server для разработки интерактивных сводных отчетов и подготовки печатных форм;
- Службы SQL Server Integration Services (SSIS) – программный инструмент для поддержки процесса переноса данных между системами (например, импорт данных об абитуриентах из системы приемной экзаменационной комиссии, использующей СУБД MySQL).

Конечным пользователям для выполнения любых функций системы предоставляется веб-интерфейс. Для работы необходим компьютер с ОС Windows 7 (и выше) с достаточно низкими аппаратными характеристиками: процессор - 1ГГц, объем оперативной памяти - 2ГБ; жесткий диск - 20ГБ.

V. ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ в НИУ МЭИ

Внедрение системы началось в марте 2017 года и по результатам первого года эксплуатации можно уверенно говорить о замене предыдущей системы и полномасштабном переходе на новую (ИС Студент).

В ходе первого года эксплуатации был выявлен ряд упущений и недостатков системы, а также пожелания и предложения пользователей системы. Все обращения протоколировались, тщательно анализировались командой разработки и представителями учебного управления МЭИ, после чего совместно принимались решения о необходимых доработках ИС Студент. В настоящий момент продолжает поступать большое количество обращений – система работает и развивается. Многие пользователи по разным причинам с трудом «расставались» со старой системой, но по прошествии года после начала внедрения все они работают с ИС Студент, пытаются улучшить новую систему и во многом определяют направление ее развития.

Помимо сложности перехода, возникают и другие проблемы. Связаны они со слабо формализованной сущностью приказа и преобразованием словесного описания в язык, понятный машине. Утверждение приказа в системе происходит согласно параметрам. На их основании происходит и формирование текста. И если текст редактируется вручную, то при утверждении может произойти расхождение текста приказа и сведений, скорректированных в ИС. Запретить ручное редактирование не представляется возможным из-за огромного количества мельчайших нюансов при подготовке текста приказа. Проблема частично решена как техническими, так и организационными средствами, но полностью удовлетворяющее всем требованиям решение пока не найдено.

Особенность разработки информационных систем кадрового комплекса НИУ МЭИ на новой платформе (ИС Кадры, ИС Студент) заключалась в том, что техническое

задание на разработку для каждой из этих систем определялись системой-предшественником с учетом советов методистов, сотрудников информационно-вычислительного центра, сопровождавших эти системы, и требованиями сегодняшнего законодательства. Затем, в процессе обучения пользователей и после внедрения ИС, следовал поток предложений по расширению, в том числе изменению, функционала.

Учитывая такую особенность разработки и внедрения ИС в НИУ МЭИ, важно было на этапе ее проектирования заложить гибкость модели данных. Сейчас можно утверждать, что проекты систем кадрового комплекса НИУ МЭИ были выполнены грамотно. Подходящим образом был выбран и инструментарий для их реализации. Он позволяет в короткие сроки обрабатывать пожелания пользователей без нарушения целостности базы данных, без необходимости ее глобальной реорганизации и без масштабных переработок программного кода.

На текущий момент в ИС Студент содержатся данные о более чем 13000 обучающихся студентов и 50000 закончивших обучение в НИУ МЭИ. В системе работает более 200 пользователей. За первый год эксплуатации было подготовлено около 9000 приказов и 25000 справок, произведено более 2-х миллионов ручных и программных коррекций данных.

На базе реализованной платформы и полученного опыта при разработке и внедрении ИС Студент планируется реализация автоматизированной системы учета аспирантов и подготовки приказов, связанных с обучением в аспирантуре.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Используемая платформа и инструментарий реализации ИС Студент поддерживают динамику кадрового учёта студентов и их обучения в вузе. Часть рассмотренных программных продуктов комплекса ИС Студент используются в составе других компонент КИС ВУЗ (МЭИ) и могут выступать как отдельные системы (автономные модули). Планируется развитие системы в двух направлениях: расширение функционала системы в соответствии с потребностями пользователей и текущим законодательством; формирование различных «представлений данных» из ИС Студент для прикладных систем НИУ МЭИ (например, «личный кабинет» кафедры).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Крепков И.М., Овсянникова М.Р., Петров С.А., Федоров А.Б. Реализация кадрового комплекса – компоненты единой информационной среды НИУ МЭИ. Открытое образование. 2016;(3):55-60. DOI:10.21686/1818-4243-2016-3-55-60.
- [2] Крепков И.М., Овсянникова М.Р., Петров С.А. Концепция корпоративных информационных систем МЭИ на основе критериев комплексности, системности, единства технологической платформы // Труды Международной научно-методической конференции «Информатизация инженерного образования» – ИНФОРИНО-2014, М.: Изд. МЭИ, 2014, С. 79-82.
- [3] Портал «Федеральная информационная адресная система» // Электронный ресурс // <http://www.ifias.ru>

Вычислительный сценарий автоматизированного анализа линейной электрической цепи на основе экономичных матричных методов

И.А. Петрухин, В.Е.Шмелёв

кафедра «Электротехника и электроэнергетика»

Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
г. Владимир, Российская Федерация
shmelev@vlsu.ru

Аннотация — Доклад посвящен разработке вычислительного сценария MATLAB, который автоматически учитывает наличие особых ветвей в анализируемой линейной электрической цепи, выбирает наиболее экономичный метод анализа и выполняет расчёт электрического состояния. Сценарий применяется при изучении дисциплины «Теоретические основы электротехники». Приводятся фрагменты выходных сообщений вычислительного сценария.

Ключевые слова — электрическая цепь; граф; узловые уравнения; контурные уравнения

I. ВВЕДЕНИЕ

Кафедра «Электротехника и электроэнергетика» проводит подготовку бакалавров и магистров по направлению «Электротехника и электротехника» (профиль «Электроснабжение»). При проведении занятий по ряду электротехнических дисциплин применяется математическое ПО: система инженерных и научных расчётов MATLAB и пакет MathCad. Данное ПО поддерживает матричные вычислительные операции, что позволяет быстро проводить анализ состояния разветвлённых линейных электрических цепей практически неограниченной сложности. Ранее разработанные вычислительные сценарии требовали ручного преобразования схем, содержащих особые ветви (с нулевым и бесконечно большим сопротивлением). Предлагаемый вычислительный сценарий автоматизирует эти эквивалентные преобразования с помощью матричных топологических соотношений и автоматически выбирает метод анализа, требующий меньшего числа совместно решаемых уравнений.

II. МАТРИЧНЫЕ УРАВНЕНИЯ И СООТНОШЕНИЯ

Наиболее экономичные автоматизируемые методы анализа разветвлённых электрических цепей базируются на матричных уравнениях. Наиболее часто применяются: метод узловых потенциалов и метод контурных токов [1, 2 и др.]. Экономичность этих методов определяется числом

совместно решаемых уравнений (числом строк и столбцов в матрице коэффициентов матричного уравнения состояния цепи). Матричная форма узловых уравнений имеет вид:

$$[Y^{(y)}][\varphi^{(y)}] = [J^{(y)}], \quad (1)$$

где $[Y^{(y)}] = [A][Y^{(b)}][A]^t$ — матрица узловых проводимостей; $[A]$ — определённая матрица узловых соединений, однозначно соответствующая схеме или графу цепи; $[Y^{(b)}]$ — диагональная матрица проводимостей ветвей; $[J^{(y)}] = [A] \cdot ([J^{(b)}] - [Y^{(b)}][E^{(b)}])$ — столбец узловых источников тока; $[\varphi^{(y)}]$ — столбец узловых потенциалов; $[J^{(b)}]$ — столбец источников тока ветвей; $[E^{(b)}]$ — столбец источников ЭДС ветвей. Матричное уравнение (1), так же, как и матрица $[A]$, составляется для системы линейно-независимых узлов. Не представленный в этом уравнении узел называют общим, от него отсчитываются потенциалы всех остальных узлов.

Матричная форма контурных уравнений имеет вид:

$$[Z^{(k)}][I^{(k)}] = [E^{(k)}], \quad (2)$$

где $[Z^{(k)}] = [B][Z^{(b)}][B]^t$ — матрица контурных сопротивлений; $[B]$ — матрица главных контуров, однозначно соответствующая схеме или графу цепи; $[Z^{(b)}]$ — диагональная матрица проводимостей ветвей;

$[E^{(k)}] = [B] \cdot ([E^{(b)}] - [Z^{(b)}][J^{(b)}])$ – столбец контурных ЭДС; $[I^{(k)}]$ – столбец контурных токов.

Матричное уравнение (1) может корректно формироваться и решаться, если в цепи нет ветвей с нулевыми сопротивлениями. Если такие ветви есть, то нужно эквивалентно преобразовать граф и схему таким образом, чтобы эти ветви были исключены из анализа. Если в таких особых ветвях есть источники ЭДС, то они переносятся через один из узлов соответствующей ветви, после чего ветвь выводится из анализа, а этот узел сливается с противоположным узлом ветви, узел переноса исключается из анализа.

Матричное уравнение (2) может корректно формироваться и решаться, если в цепи нет ветвей с бесконечными сопротивлениями. Если такие ветви есть, то нужно эквивалентно преобразовать граф и схему таким образом, чтобы эти ветви были исключены из анализа. Если в таких особых ветвях есть источники тока, то они распространяются на ряд ветвей любого контура, которому принадлежит особая ветвь, после чего последняя вместе с контуром выводится из анализа. Такое преобразование выполняется наиболее корректно, если ветви с бесконечным сопротивлением являются ветвями связи, а источники тока распространяются на ветви дерева соответствующих главных контуров.

III. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО СЦЕНАРИЯ

Весь алгоритм условно можно разбить на блоки:

- Блок ввода исходных данных и их отображения в командном окне;
- Анализ топологии цепи;
- Учёт особых ветвей и уточнение числа совместно решаемых уравнений;
- Ветвь алгоритма, соответствующая выбранному методу узловых потенциалов;
- Ветвь алгоритма, соответствующая выбранному методу контурных токов;
- Расчёт мощностей и подведение их баланса.

A. Исходные данные и их ввод

Исходными данными разработанного сценария являются следующие переменные:

- Gra – граф цепи в виде пар номеров узлов, между которыми фактически расположены ветви;
- spo – номер общего узла в графе;
- Ev – столбец ЭДС ветвей;
- Jv – столбец источников тока ветвей;
- Zv – квадратная матрица сопротивлений ветвей;

- ps – столько значащих цифр показывать в выходных сообщениях в матрицах.

Ориентированный граф цепи (переменная Gra) представляется двухстрочной матрицей, каждому столбцу которой соответствует ветвь. Первый элемент столбца – номер (числовое обозначение) начального узла ветви, второй элемент – номер конечного узла ветви. В этом массиве каждому узлу соответствует своё действительное число (не обязательно целое положительное), т.е. нумерация узлов не сквозная.

Ввод входных переменных осуществляется диалоговым окном, разворачиваемым встроенной функцией `inputdlg`. Перед вызовом этой функции проверяется существование входных переменных в рабочей области MATLAB. В зависимости от этого формируются строки символов, которые будут содержаться в строках редактирования диалогового окна. Каждой вводимой переменной соответствует своя строка редактирования. При развёртывании окна содержимое строк редактирования по умолчанию соответствует уже существующим значениям входных переменных. Для несуществующих переменных предусмотрены начальные умолчания. Ввод пустых строк приводит к принятию существующих текущих значений входных переменных.

Если окно закрывается нажатием кнопки 'OK', то введённые строки принимаются, значения введённых переменных отображаются в командном окне, и сценарий выполняется. Если окно закрывается нажатием кнопки 'Cancel', то введённые строки не принимаются, и сценарий завершается без вычислений.

Такая технология ввода исходных данных позволяет многократно проводить анализ линейных цепей при изменении их параметров или топологии. Так обеспечивается удобство вычислительного экспериментирования.

B. Анализ топологии цепи

Строится список всех номеров (числовых обозначений) узлов графа, формируется граф цепи со сквозной натуральной нумерацией узлов. Узлы подсчитываются, формируется список сквозных номеров узлов без и с исключением общего узла. Подсчитываются ветви графа. Формируется неопределённая матрица узловых соединений.

Число линейно- независимых узлов определяется как ранг неопределённой матрицы узловых соединений. Граф проверяется на связность. Число односвязных подмножеств графа равно числу узлов минус число линейно- независимых узлов. Если граф несвязный (односвязных подмножеств больше одного), то выполнение сценария прекращается без анализа цепи.

Если граф связный, то дерево существует, и число ветвей дерева равно числу линейно- независимых узлов. Число ветвей связи определяется вычитанием из общего числа ветвей числа ветвей дерева.

С. Учёт особых ветвей и уточнение числа совместно решаемых уравнений

Строится список номеров ветвей с бесконечными сопротивлениями. Строится список номеров ветвей с нулевыми сопротивлениями. Эти особые ветви по отдельности подсчитываются. Уточнённое число узловых уравнений = числу ветвей дерева – число ветвей с нулевыми сопротивлениями. Уточнённое число контурных уравнений = числу ветвей связи – число ветвей с бесконечными сопротивлениями.

Определённая матрица узловых соединений формируется путём вычёркивания из неопределённой матрицы строки, соответствующей общему узлу. Если число контурных уравнений меньше числа узловых уравнений, то выбирается метод контурных токов, иначе выбирается метод узловых потенциалов.

D. Ветвь алгоритма, соответствующая выбранному методу узловых потенциалов

Создаётся рабочая матрица узловых соединений. Первоначально ей присваивается сформированная в предыдущем блоке матрица узловых соединений. Рабочему столбцу ЭДС ветвей присваивается введённый столбец ЭДС ветвей. Распределяется память под списки исключённых из анализа узлов и оставленных в анализе узлов ветвей с нулевыми сопротивлениями.

Цикл по всем ветвям с нулевыми сопротивлениями. Локальные номера узлов ветви с нулевым сопротивлением записываются в массив с именем *u*. Если такой узел один, то через него переносится источник ЭДС, строка рабочей матрицы узловых соединений, соответствующая найденному узлу, обнуляется, локальный номер найденного узла добавляется одновременно в оба списка узлов. Если найдено два узла в ветви с нулевым сопротивлением, то источник ЭДС ветви переносится через второй узел из найденных, строки рабочей матрицы узловых соединений, соответствующие найденным узлам, складываются, результат присваивается строке, соответствующей первому из найденных узлов (производится логическое слияние узлов), локальный номер первого найденного узла включается в список оставленных в анализе узлов, номер второго найденного узла включается в список исключённого из анализа узлов. Конец цикла.

Операцией вычитания множеств формируется список локальных номеров узлов преобразованной цепи и список номеров ветвей преобразованной цепи. Из блока матрицы конечных сопротивлений ветвей формируется матрица проводимостей ветвей преобразованной цепи. Формируется и решается матричное уравнение (1).

Далее выполняется обратное преобразование цепи. Распределяется память под столбец потенциалов *fu* всех узлов (включая общий и исключённые узлы). Потенциалы узлов, не затронутых преобразованием, копируются в массив *fu*. Потенциалы узлов, исключённых из анализа, выражаются через потенциалы узлов, оставленных в анализе, на основе блочно- матричных операций. Далее

стандартным путём вычисляются напряжения ветвей, напряжения пассивных участков ветвей, токи пассивных участков неособых ветвей, токи неособых ветвей. Токи особых ветвей выражаются через токи неособых ветвей по первому закону Кирхгофа с использованием блочно-матричных операций. Токи пассивных участков особых ветвей рассчитываются стандартным путём через токи ветвей.

E. Ветвь алгоритма, соответствующая выбранному методу контурных токов

Формируется список номеров ветвей преобразованной цепи с помощью операции вычитания множеств. В этом списке ветви с конечными и нулевыми сопротивлениями. После удаления особых ветвей граф проверяется на связность. Если граф несвязный, то выполнение сценария прекращается.

Путём вызова разработанной авторами *m*-функции *trezirq* формируется список ветвей дерева и список ветвей связи преобразованной цепи. С помощью операции объединения множеств в список ветвей связи добавляем список номеров ветвей с бесконечными сопротивлениями. Путём вызова разработанной авторами *m*-функции *getqbm* для исходной топологии цепи формируются матрицы главных сечений и главных контуров *B*.

Создаётся рабочая матрица главных контуров. Первоначально только что сформированная матрица главных контуров. Рабочему столбцу источников тока ветвей присваивается введённый столбец источников тока ветвей. Распределяется память под списки исключённых из анализа и оставленных в анализе главных контуров ветвей связи с бесконечными сопротивлениями.

Цикл по всем ветвям с бесконечными сопротивлениями. Определяется номер главного контура, соответствующего ветви связи с бесконечным сопротивлением. Найденный главный контур исключается из анализа путём обнуления строки матрицы *B* и включения номера в списки. Конец цикла.

Операцией вычитания множеств формируется список локальных номеров главных контуров преобразованной цепи и список номеров ветвей преобразованной цепи. Формируется и решается матричное уравнение (2).

Далее выполняется обратное преобразование цепи. Распределяется память под столбец всех (в т.ч. и исключённых) контурных токов *I_k*. Не затронутые преобразованием контурные токи копируются в массив *I_k*. Исключённые из анализа контурные токи выражаются через оставленные в анализе контурные токи на основе блочно- матричных операций. Далее стандартным путём вычисляются токи ветвей, токи пассивных участков ветвей, напряжения пассивных участков неособых ветвей, напряжения неособых ветвей. Напряжения особых ветвей выражаются через напряжения неособых ветвей по второму закону Кирхгофа с использованием блочно-матричных операций. Напряжения пассивных участков особых ветвей рассчитываются стандартным путём через напряжения ветвей.

Расчёт мощностей и подведение их баланса осуществляется на основе стандартных соотношений теории цепей и операций почленных произведений массивов.

IV. ПРИМЕРЫ АНАЛИЗА ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ

В качестве примеров рассмотрим разветвлённую цепь постоянного тока с двумя источниками ЭДС и двумя источниками тока, а также несимметричную трёхфазную цепь. Рассмотрим также применение разработанного вычислительного сценария для анализа составляющих переходного процесса в линейной электрической цепи классическим методом.

A. Цепь постоянного тока с четырьмя источниками

На рис. 1 изображён ориентированный граф разветвлённой цепи постоянного тока. На рис. 2 изображена схема цепи в соответствии с заданным включением источников. $E_1 = E_4 = 100$ В; $J_1 = J_7 = 0,05$ А.

Для анализа электрического состояния цепи, граф и схема которой изображены на рис. 1 и 2, запускаем систему MATLAB, делаем текущей директорию, в которую записан вычислительный сценарий *серус* и m-функции *trecirq* и *getqbm*. Запускаем на выполнение сценарий *серус*. Развернётся диалоговое окно ввода. В соответствующие строки редактирования введём матричные значения входных переменных:

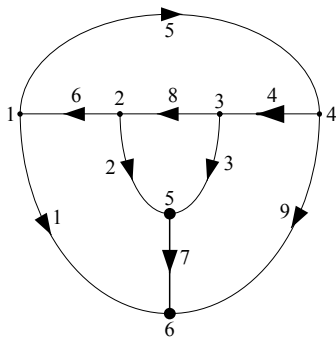


Рис. 1. Граф электрической цепи

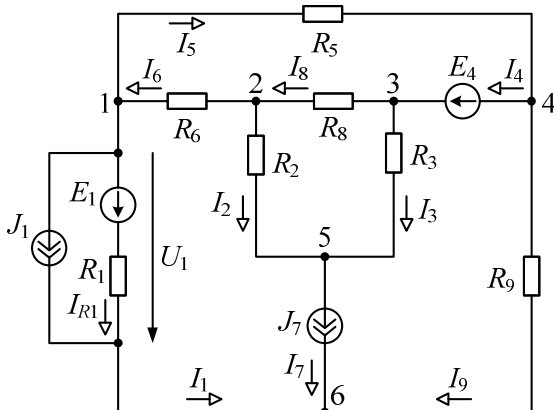


Рис. 2. Схема электрической цепи

$$\text{Gra}=[1\ 6;2\ 5;3\ 5;4\ 3;1\ 4;2\ 1;5\ 6;3\ 2;4\ 6];$$

$$\text{cno}=1; \text{Ev}=[100;0;0;100;0;0;0;0;0];$$

$$\text{Jv}=[-0.05;0;0;0;0;0;-0.05;0;0];$$

$$\text{Zv}=\text{diag}([1000;500;2000;0;2000;500;\text{inf};500;2000]);$$

$$\text{nc}=5;$$

Ниже представлены фрагменты выходного листинга сценария *серус*:

Число ветвей дерева = числу линейно- независимых узлов $\text{nvd}=5$.

Число ветвей связи $\text{nvk} = \text{nv}-\text{nvd} = 4$.

Номера ветвей с бесконечными сопротивлениями: $\text{iZv}=7$.

Всего ветвей с бесконечными сопротивлениями $\text{niZv}=1$.

Номера ветвей с нулевыми сопротивлениями: $\text{zZv}=4$.

Всего ветвей с нулевыми сопротивлениями $\text{nzZv}=1$.

Всего узловых уравнений с учётом эквивалентных преобразований:

$$\text{ned} = \text{nvd}-\text{nzZv} = 5-1 = 4.$$

Всего контурных уравнений с учётом эквивалентных преобразований:

$$\text{nek} = \text{nvk}-\text{niZv} = 4-1 = 3.$$

Выбран метод контурных токов.

Список номеров ветвей преобразованной цепи:

$$\text{vz} = [1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 8\ 9]$$

$\text{D} = [1\ 2\ 4\ 5\ 6]$ - список номеров ветвей дерева.

$\text{S} = [3\ 7\ 8\ 9]$ - список номеров ветвей связи.

Матрица главных контуров:

$\text{B} =$

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Список локальных номеров контуров преобразованной цепи:

$$\text{kz} = [1\ 3\ 4].$$

Список номеров ветвей преобразованной цепи:

$$\text{vz} = [1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 8\ 9].$$

Матрица главных контуров преобразованной цепи $\text{Bra}(\text{kz},\text{vz})=$

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Столбец источников тока ветвей преобразованной цепи

$$J_{vra}(vz) = [-0.1; 0.05; 0; 0; 0; -0.05; 0; 0].$$

Матрица контурных сопротивлений преобразованной цепи:

$$Z_k = \begin{bmatrix} 5000 & 2500 & 2000 \\ 2500 & 3000 & 2000 \\ 2000 & 2000 & 5000 \end{bmatrix}$$

Матрица- столбец контурных ЭДС преобразованной цепи:

$$E_k = [150; 125; -200].$$

Матрица- столбец контурных токов преобразованной цепи:

$$I_{kz} = [0.024803; 0.074016; -0.079528].$$

Матрица- столбец контурных токов исходной цепи:

$$I_k = [0.024803; 0.05; 0.074016; -0.079528].$$

Столбец токов ветвей:

$$I_v = [0.029528; 0.025197; 0.024803; 0.098819; 0.019291; 0.048819; 0.05; 0.074016; -0.079528].$$

Столбец токов пассивных участков ветвей:

$$I_p = [-0.020472; 0.025197; 0.024803; 0.098819; 0.019291; 0.048819; 0; 0.074016; -0.079528].$$

Столбец напряжений ветвей:

$$U_v = [-120.47; 12.598; 49.606; -100; 38.583; 24.409; -108.66; 37.008; -159.06].$$

Столбец напряжений пассивных участков ветвей:

$$U_p = [-20.472; 12.598; 49.606; 0; 38.583; 24.409; -108.66; 37.008; -159.06].$$

Столбец мощностей, генерируемых источниками ЭДС ветвей:

$$S_E = [-2.0472; 0; 0; 9.8819; 0; 0; 0; 0; 0].$$

Столбец мощностей, генерируемых источниками тока ветвей:

$$S_J = [6.0236; 0; 0; 0; 0; 0; 5.4331; 0; 0].$$

Столбец мощностей, потребляемых пассивными участками ветвей:

$$S_Z = [0.41912; 0.31744; 1.2304; 0; 0.74431; 1.1916; 0; 2.7392; 12.649].$$

Суммарная мощность, генерируемая источниками SSI= 19.291

Суммарная мощность, потребляемая пассивными участками SSZ= 19.291

В данном листинге все напряжения и ЭДС показаны в вольтах, токи – в амперах, сопротивления – в омах, мощности – в ваттах. Видно, что источник ЭДС первой ветви работает в пассивном режиме (фактически потребляет мощность), остальные источники – в активном режиме. Баланс мощностей сходится точно.

V. Несимметричная трёхфазная цепь

На рис. 3 представлена схема анализируемой трёхфазной цепи. В этой схеме $E_\phi = 220$ В, $Z_1 = (45+j45)$ Ом, $Z_2 = (40-j40)$ Ом, $Z_3 = (35+j35)$ Ом, $Z_4 = (30-j80)$ Ом, $Z_5 = (25+j25)$ Ом.

Запуск сценария серус осуществим так же, как и в предыдущем примере. В строки редактирования диалогового окна ввода впишем матричные значения входных переменных:

$$Gra = [1 \ 0.1; 2 \ 0.1; 3 \ 0.1; 0.2 \ 1; 3 \ 0.2; 0 \ 1; 0 \ 2; 0 \ 3].;$$

$$cno = 0; Ev = 220 * [0; 0; 0; 0; 0; \exp(2i * \pi / 3 * [0; -1; 1])];$$

$$Jv = \text{zeros}(8, 1); nc = 5;$$

$$Zv = \text{diag}([45+45i; 40-40i; 35+35i; 30-80i; 25+25i; 0; 0; 0]);$$

Заключительный фрагмент выходного листинга выполнения сценария:

Столбец узловых потенциалов исходной (непреобразованной) цепи:

$$fu = [0; 124.17-8.0849i; -23.397+340.53i; 220; -110-190.53i; -110+190.53i].$$

Столбец напряжений ветвей:

$$Uv = [95.83+8.0849i; -234.17-182.44i; -234.17+198.61i; -243.4+340.53i; -86.603-150i; -220; 110+190.53i; 110-190.53i].$$

Столбец напряжений пассивных участков ветвей:

$$Up = [95.83+8.0849i; -234.17-182.44i; -234.17+198.61i; -243.4+340.53i; -86.603-150i; 0; 0; 0].$$

Столбец токов ветвей:

$$Iv = [1.1546-0.97495i; -0.64662-5.2076i; -0.50799+6.1826i; -4.7321-1.2679i; -4.7321-1.2679i; 5.8867+0.293i; -0.64662-5.2076i; -5.24+4.9146i].$$

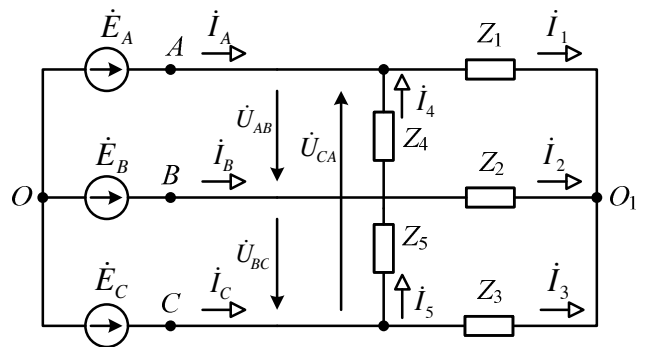


Рис. 3. Схема электрической цепи

Столбец мощностей, генерируемых источниками ЭДС ветвей:

$$SE = [0; 0; 0; 0; 0; 1295.1 - 64.461i; 1063.3 - 449.64i; 1512.8 - 457.75i].$$

Столбец мощностей, потребляемых пассивными участками ветвей:

$$SZ = [102.76 + 102.76i; 1101.5 - 1101.5i; 1346.9 + 1346.9i; 720 - 1920i; 600 + 600i; 0; 0; 0].$$

Суммарная мощность, генерируемая источниками SSI = 3871.1 - 971.86i

Суммарная мощность, потребляемая пассивными участками SSZ = 3871.1 - 971.86i

В данном листинге все напряжения и ЭДС показаны в вольтах, токи – в амперах, сопротивления – в омах, комплексные мощности – в вольтамперах. Векторные диаграммы токов и напряжений не представлены. Технология их автоматизированного построения была доложена на предыдущей конференции [3].

С. Пример анализа составляющих переходного процесса классическим методом

На рис. 4 показана схема линейной цепи до коммутации, на рис. 5 – после коммутации. Сама коммутация происходит мгновенно в момент времени $t=0$. $E_5 = 50$ В, $e_6(t) = 100 \cdot \cos(\omega t)$ В; $\omega = 10^3$ рад/с = 1 рад/мс; $R_i = 0,1$ кОм; $L_3 = 0,1$ Гн. Как видно, топология цепи в результате коммутации не меняется. До коммутации имел место установившийся режим, состоящий из подрежимов постоянного и синусоидального тока. Требуется определить закон изменения напряжения $u_1(t)$ до и после коммутации.

Для расчёта составляющих искомого процесса вычислительный сценарий *серус* нужно запускать многократно, не изменяя графа, но изменяя сопротивления ветвей и источники. Матричные значения входных переменных для первого запуска см. ниже.

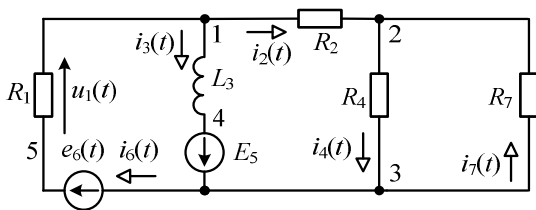


Рис. 4. Схема электрической цепи до коммутации

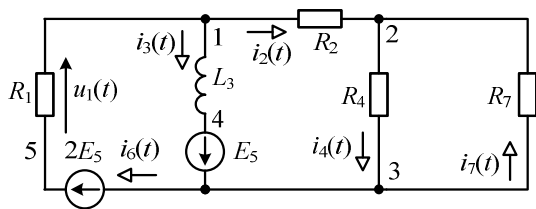


Рис. 5. Схема электрической цепи после коммутации

$$Gra = [5 \ 1; 1 \ 2; 2 \ 1; 4; 2 \ 3; 4 \ 3; 3 \ 5; 3 \ 2]';$$

$$сно = 4; Ev = [0; 0; 0; 0; 50; 0; 0]; Jv = \text{zeros}(7, 1); nc = 5;$$

$$Zv = \text{diag}([0.1; 0.1; 0; 0.1; 0; 0; 0.1]);$$

Из листинга результатов выполнения сценария будем выписывать только напряжение первой ветви и ток третьей ветви, т.к. там стоит индуктивность, ток которой в соответствии с законом коммутации не может изменяться скачком. Этот ток будет использован для расчёта начального условия процесса $u_1(+0)$.

$U_{10} = 50$ В – постоянная составляющая напряжения $u_1(t)$; $I_{30} = 833,33$ мА – постоянная составляющая тока $i_3(t)$.

$U_{11} = (26,471 + 55,882j)$ В – комплексная амплитуда синусоидальной составляющей напряжения $u_1(t)$; $I_{31} = (441,18 + 264,71i)$ мА – комплексная амплитуда синусоидальной составляющей тока $i_3(t)$.

$u_1(t) = (50 + 26,471 \cdot \sin(\omega t) + 55,882 \cdot \cos(\omega t))$ В – искомое напряжение до коммутации.

$i_3(0) = I_{30} + \text{imag}(I_{31}) = 1098$ мА – ток индуктивного элемента в момент коммутации.

$u_{1пр}(t) = 150$ В – принуждённая составляющая напряжения $u_1(t)$ после коммутации.

$u_1(+0) = 105,88$ В – начальное значение искомого напряжения после коммутации.

$u_{1св}(+0) = u_1(+0) - u_{1пр}(+0) = -44,118$ В – начальное значение свободной составляющей искомого напряжения после коммутации.

Чтобы во времени представить свободную составляющую переходного процесса, нужно решить характеристическое уравнение, которое составляется приравниванием к нулю входного операторного сопротивления относительно зажимов, которые образуются в результате разрыва любой ветви. В данном случае его корень $s_1 = -0,6$ мс⁻¹. Отсюда после коммутации

$$u_1(t) = (150 - 44,118 \cdot \exp(-0,6 \cdot t)) \text{ В.}$$

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из приведённых примеров видно, что разработанный вычислительный сценарий существенно помогает студентам изучать теоретические основы электротехники в части теории линейных цепей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Теоретические основы электротехники. Т. 1. Основы теории линейных цепей/ Под ред. П.А. Ионкина. – М.: Высш. школа, 1976. – 544 с.
- [2] Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В. Теоретические основы электротехники. – СПб.: Питер, 2009. – Том 1. – 512 с. ISBN 9785388004109.
- [3] Применение пакета MatLab для изучения теоретических основ электротехники (теория цепей)// Труды Международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования» — ИНФОРИНО-2016 (Москва, 12—13 апреля 2016 г.). — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — 706 с.: ил. - ISBN 978-5-383-00939-0.

Программный комплекс для изучения методов распознавания изображений на основе сверточных нейронных сетей

Пучков А. Ю., Дли М.И.

кафедра менеджмента и информационных технологий в экономике
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
г. Смоленск, Россия

Аннотация — В работе представлено программное обеспечение, позволяющее проводить изучение и исследование способов реализации компьютерного зрения на основе глубоких искусственных нейронных сетей, что может быть применено в инженерной подготовке при освоении интеллектуальных методов анализа данных.

Ключевые слова — распознавание изображений; глубокое обучение; искусственные сверточные нейронные сети.

I. ВВЕДЕНИЕ

Драйвером развития многих современных информационных технологий служат «большие данные» (*Big Data*) порождаемые цифровизацией практически всех сфер общественной жизни. Это приводит к лавинообразному росту количества информации разного формата, которую необходимо постоянно обрабатывать и анализировать. В этот процесс особенно весомый вклад вносит распространение систем видеонаблюдения, фотофиксации, считывания баркодов и других графических данных. Человек хорошо справляется с распознаванием изображений на одной или нескольких фотографиях, но если их миллионы, то здесь уже требуется применение специализированных информационных технологий. В связи с этим актуальной становится задача подготовки инженерных кадров обладающих достаточным набором компетенций в области разработки и применения методов компьютерного зрения, способных их совершенствовать и внедрять на практике в новых сферах деятельности, освобождая человека от необходимости выполнения монотонных рабочих функций, связанных с контролем и анализом графических данных.

Среди методов распознавания изображений сейчас наиболее успешно развиваются нейросетевые методы, что стало особенно заметно в последнее десятилетие с появлением такой их инновационной разновидности как сверточные нейронные сети (англ. *convolutional neural network, CNN*). В них реализованы механизмы в наибольшей степени повторяющие этапы иерархической обработки зрительной информации человеческим мозгом и реализующие принципы глубинного обучения (*Deep learning*). Методологические основы таких сетей были

заложены еще в 80-е годы 20 века, но только в 2012 году Алекс Крижевски и Джефф Хинтон усовершенствовали их реализацию, построив сеть *AlexNet* обучавшуюся с помощью графических процессоров [1]. Тогда эта сеть выиграла ежегодную олимпиаду по машинному зрению ImageNet, допустив только 16% ошибок (второе место заняла архитектура сети с 26% ошибок). Сегодня многие ведущие мировые бренды, такие как Google, Microsoft, Facebook, Amazon используют для реализации своих сервисов глубинное обучение.

Несмотря на успешное продвижение интеллектуальных методов анализа данных базирующихся на CNN, это подход не лишен недостатков, к которым следует отнести сильную потерю информации на пулинге и наличие большого количества гиперпараметров нейронной сети, то есть параметров, выбираемых до начала процесса обучения: количество ядер и коэффициентов смещения задействованных в одном слое; высота и ширина ядра; шаг его смещения; степень уменьшения размерности в слоях субдискретизации и так далее. Эти параметры обычно выбираются исследователем эмпирически.

Приведенные факты говорят о перспективности разработок систем машинного зрения на основе CNN, а подготовка инженеров в этой области знаний необходима для предотвращения технологического отставания от зарубежных конкурентов и обеспечения позитивного инновационного климата [2].

Разработанный программный комплекс позволяет инженеру увидеть и проанализировать влияние тех или иных гиперпараметров CNN на результаты распознавания образов и приобрести тот самый эмпирический опыт, который позволит ему в дальнейшем успешно применять на практике инструментарий глубоких нейронных сетей.

II. АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

В основе алгоритма лежит использование ансамбля CNN, проводящего комплексное распознавание графической информации, поступающей от разных источников. Такой подход позволяет говорить о бинарной классификации объектов по так называемым обобщенным

изображениям, представляющим собой многомерную матрицу (тензор), элементы которой содержат цифровые коды нескольких видов одного и того же объекта. При этом разные виды не обязательно должны быть представлены в привычном для человека видимом световом диапазоне – в качестве таковых могут выступать как снимки в других частотных областях электромагнитного спектра, а также, каким либо образом визуализированные данные (сигнатуры), порождаемые исследуемым объектом или которые могут быть ему однозначно сопоставлены. Такой подход позволяет как бы «видеть» объект в многомерном пространстве, недоступном для восприятия человека, обеспечивая его более полную и объективную характеристику [3]. Анализируя обобщенное изображение, программный комплекс как бы решает обратную задачу – определяет источник или принадлежность объекта к тому или иному классу, применяя нейронные сети, но уже в другой структуре решения [4].

Схема разработанного алгоритма классификации обобщенных изображений представлена на рис. 1. На рисунке 1 обозначено:

X_g – матрицы, содержащие информацию о входных изображениях, $g=1, \dots, g_k$, g_k – количество источников поступления визуальной информации;

CNN_g – сверточные искусственные нейронные сети, обученные для распознавания данных с g -го источника;

w_g – весовые коэффициенты отражающие важность (или степень доверия) к информации от g -го источника;

R_s – вектор, размера $n_g \times 1$, где n_g – количество анализируемых объектов g -й группы изображений, представляющий собой результат классификации по алгоритму A , который будет описан ниже.

Представленная на рис. 1 схема классификации сходна по своему строению с искусственным нейроном, компонентами которого выступают уже сами нейронные сети, образуя нейрон более высокого уровня иерархии, который, в свою очередь, может выступать элементом структур более высоких уровней.

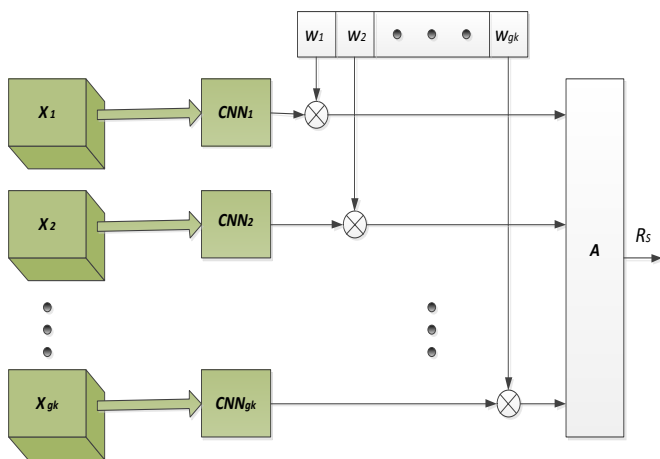


Рис. 1. Схема алгоритма распознавания обобщенных изображений

Обобщенные изображения, поступающие на вход CNN , первоначально могут быть представлены в любом графическом формате, поэтому, с целью дальнейшей определенности обработки, эти форматы преобразуются к формату jpg , использующему аддитивную цветовую модель RGB . В таком формате каждое изображение содержит три цветовых канала (красный, зеленый, голубой) представленные матрицами размера $n \times m$, где n – количество пикселей по вертикали, m – по горизонтали. В результате, каждое изображение представляется матрицей размера $n \times m \times 3$.

Применение многослойного перцептрона для распознавания изображений такого формата приводит к быстрому росту количества настраиваемых весов нейронной сети и не может быть применено на практике для анализа реальных пользовательских данных. Проблема роста количества настраиваемых параметров при увеличении размерности изображения решена в CNN , ограниченными свойствами которых являются: ограниченность восприятия, разделяемые веса и снижение размерности при переходе от одного уровня иерархии к другому [5]. Ограниченность восприятия достигается применением ядра свертки (матрицы-трафарета), к распознаваемому изображению. Перемещая этот трафарет по изображению, получают своеобразный отпечаток, в котором наиболее сильно проявляются те структуры и особенности, на которые нацелен именно этот трафарет. Таким образом, ядро свертки кодирует какой либо графический признак (например, можно выделять границы фрагментов, центральные области и так далее).

Ядро свертки представляется матрицей K размера $sh \times sw$. Обозначив один канал изображения (из трех каналов RGB) матрицей I размера $n \times m$, операцию свертки I и K можно представить выражением:

$$(K * I)_{xy} = \sum_{i=1}^{sh} \sum_{j=1}^{sw} K_{i,j} I_{x+i-1, y+j-1}$$

где x, y – текущие координаты, определяющие положение ядра свертки на изображении.

Рассматривая все три цветовых канала для одного изображения, свертка примет вид:

$$c = f(b + \sum_{i=1}^{sh} \sum_{j=1}^{sw} \sum_{k=1}^3 K_{i,j,k} I_{x+i-1, y+j-1, k}), \quad (1)$$

где f – функция активации, b – смещение ядра свертки.

В процессе работы CNN применяется несколько ядер свертки, поэтому, применяя (1) к каждому ядру, получаем, что каждое изображение требует формирования карты свертки: $C = \langle c_1, c_2, \dots, c_p \rangle$, где p – количество применяемых ядер свертки. Дальнейшая обработка карты свертки C проводится различными слоями CNN , количество и состав которых может изменяться. В основе архитектуры сети лежит набор из нескольких пар слоев

свертки (convolution layer) и пулинга (convolution layers, подвыборки или субдискретизации), в котором проводится нелинейное уплотнение карты признаков. Последним идет полносвязный слой который и осуществляет классификацию [6].

В основе работы программного комплекса лежит алгоритм бинарной классификации, при которой анализируемые объекты разделяются на два класса, которые условно будем называть «положительный» и «отрицательный».

Основными исходными данными для работы программы являются изображения, которые должны быть предварительно распределены по следующим папкам:

positiv – часть обучающей выборки изображений «положительных» объектов;

negativ – часть обучающей выборки изображений «отрицательных» объектов;

test_positiv – часть тестирующей выборки изображений «положительных» объектов;

test_negativ – часть тестирующей выборки изображений «отрицательных» объектов;

analiz – рабочая выборка обобщенных изображений объектов, подлежащих проверке.

В каждой папке должны располагаться файлы с расширением jpg и числовыми именами, начиная с нуля: 0.jpg, 1.jpg, 2.jpg и так далее. Количество файлов jpg программа автоматически определяет для каждой папки.

Алгоритм работы программы для одной *j*-й группы обобщенных изображений содержит следующие шаги:

Начало.

1. Задание (или изменение) исходных данных: количество распознаваемых классов *nb_classes*, размер минивыборки, по которой подстраиваются веса *batch_size*, количество эпох обучения *nb_epoch*, размера стандартизованного изображения *n*m*, признака *pr* сохранения пропорций изображения.

2. Считывание изображений для обучающей и тестирующей выборок.

3. Стандартизация изображений: если *pr=0*, то преобразуем исходное изображение к размеру *n*m* пикселей с сохранением пропорций, в противном случае – преобразуем исходное изображение к размеру *n*m* пикселей без сохранения пропорций.

4. Преобразование стандартизированных изображений в тензоры обучающей и тестирующей выборок размером $N \times n \times m \times 3$, где *N* – количество изображений в текущей папке.

5. Конструирование CNN_g для данной *g*-й группы обобщенных изображений ($g=1, \dots, gk$, где *gk* – количество групп изображений). Вначале сети располагаются два повторяющихся фрагмента по два слоя свертки и слоя подвыборки, а на выходе - классификатор из одного полносвязного слоя из 512 нейронов и выходной слой с количеством нейронов, соответствующих количеству классов *nb_classes*.

6. Обучение с CNN_g на основе обучающей выборки и проверка качества обучения на тестирующей выборке.

7. Ошибка CNN_g ниже допустимого уровня? Если да, то переход к п.8, если нет, то переход к п. 2.

8. Применение обученной CNN_g к набору изображений из папки *analiz* для *g*-й группы изображений и формирование вектора r_g размером $n_g \times 1$, где n_g – количество анализируемых объектов *g*-й группы изображений, содержащего результаты применения CNN_g к каждому изображению из этой папки.

9. Вывод результатов анализа изображений на экран и запись их в файл.

Конец.

Применение описанного алгоритма к каждой группе обобщенных изображений позволяет рассчитать матрицу-строку, каждый элемент которой представляет собой вектор $r_g: R = \{ r_g \}, g=1, \dots, gk$.

Далее проводится взвешивание элементов матрицы *R* с учетом коэффициентов важности соответствующей группы изображений: $R = \{ \{ r_g \} w_g \}$ и расчет вектора *Rs*, каждый элемент которого содержит бинаризованное значение по выбранной величине порога *bp* для среднего арифметического элементов соответствующей строки матрицы *R*:

$$Rs_i = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_{j=1}^{gk} R_{i,j} \geq bp, \\ 0, & \text{если } \sum_{j=1}^{gk} R_{i,j} < bp. \end{cases}$$

После проведения бинаризации вектор *Rs* будет содержать только единицы и нули: единицы – если соответствующий объект из папки *analiz* признан «положительным» по результатам работы совокупности *CNN* для данного объекта и нули в противном случае.

III. ОПИСАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Программная реализация предложенного алгоритма осуществлялась на языке *Python*, который относится к *open-source software* (открытое программное обеспечение), что особенно значимо при реализации образовательных программ, в том числе инженерных, так как не требует дополнительных денежных затрат на его приобретение и не влечет за собой проблем с его лицензированием.

Описание архитектуры следует начать с обоснования применяемой операционной системы, в которой реализуется программный комплекс. Принимая во внимание ориентацию на использование свободного программного обеспечения, был сделан выбор в пользу *Linux*, а именно, такого его дистрибутива, как *Linux Mint*, основанного на *Ubuntu* и *Debian*. *Linux Mint* имеет интерфейс, схожий с оконным интерфейсом *Windows*, поэтому переход на *Linux Mint* не вызывает больших затруднений у обучающихся. Другим обоснованием применения *Linux* служит то, что для этой операционной системы изначально разрабатывался *Python* и многие установки новых библиотек и задачи реализуются в ней

значительно проще, чем в *Windows* – одной строкой с соответствующей командой. Тем не менее, рассматриваемый программный комплекс можно запускать и в *Windows*, только в этом случае надо адаптировать ряд библиотек, так как даже одна и та же библиотека в *Windows* может содержать меньшее число компонент, чем для *Linux*.

Несмотря на преимущество синтаксиса языка (*Python* динамично развивается сообществом программистов, постоянно выходят новые релизы.), некоторые отличия присутствуют, поэтому конкретизируем применяемую версию – *Python 3.6*. Ядро языка содержит только базовый набор команд и возможностей, работа осуществляется через командную строку, что весьма неудобно. Поэтому, чтобы каждый раз не осуществлять поиск нужных базовых библиотек в Интернете и получить удобную графическую среду следует установить дистрибутив сборки программ *Python Anaconda*. В ней есть такие средства как *Spyder* и *Jupyter notebook*, в которых создаются и отлаживаются программы на языке *Python*.

Применение глубоких нейронных сетей требует дополнительной установки библиотеки машинного обучения *TensorFlow*. Она была выложена в открытый доступ в 2015 году командой *Google Brain*. Эта библиотека создавалась для решения множества задач, включая поиск изображений и улучшение алгоритмов распознавания речи [7].

Обучение *CNN* ресурсоемкий процесс, так как подстраиваются тысячи весов ее синапсов на тысячах изображений, поэтому использование центрального процессора (*CPU*) приводит к длительному процессу обучения. В этих условиях целесообразно переносить вычисления на графический процессор (*GPU*), содержащий тысячи микропроцессоров, что позволяет распараллеливать процесс настройки сети. Отметим, что перенаправление вычислений библиотеки *TensorFlow* на *GPU* пока возможна только для видеокарт компании *Nvidia* с поддержкой *CUDA* – программно-аппаратной архитектуры параллельных вычислений, которая позволяет существенно увеличить производительность благодаря использованию графических процессоров фирмы. После обновления драйвера видеокарты установка этой библиотеки осуществляется командой `conda install tensorflow-gpu`. В рассматриваемом комплексе использовался графический процессор *GeForce GTX 1060*, содержащий 1280 ядер *Maxwell/GP106*, выпущенный в 2016 году. Перенос, в дальнейшем, вычислений на ноутбуке *Asus FX502VM* с *CPU Intel Core i7 7700HQ* на *GPU GeForce GTX 1060* позволил сократить время обучений сети более чем в 20 раз – с 157 секунд на одну эпоху до 7 секунд.

После установки указанных компонентов архитектуры программного обеспечения проводится развертывание открытой нейросетевой библиотеки *Keras*, являющейся надстройкой над фреймворком *TensorFlow*, с помощью команды: `conda install keras`.

При обучении инженеров важно иметь возможность визуализации архитектуры сети, поэтому был подключен обеспечивающий это пакет *graphviz*, а также питоновский пакет *pydot*. Для корректной работы визуализации пакет *pydot* из репозитория не подходит, поэтому нужно взять его обновленную версию *pydot-ng* воспользовавшись командой: `conda install -c anaconda pydot`. После этого установку пакета *graphviz* выполнит команда: `apt install graphviz`.

Запуск среды выполнения программы осуществляется из командной строки последовательным выполнением команд: `cd anaconda3/bin; source activate; anaconda-navigator`. После ее загрузки запускается разработанный программный комплекс, который состоит из трех модулей: *creature_training_CNN.py* – создание сверточных сетей и их обучение; *my_sampl.py* – модуль подготовки исходных изображений для обеспечения процесса обучения и тестирования сети; *apply_CNN.py* – модуль применения обученных сетей для обобщенных изображений анализируемых объектов.

IV. ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Разработанный и представленный программный комплекс реализует один из популярных в настоящее время методов компьютерного зрения на основе сверточных нейронных сетей. Результатом работы программы является файл, содержащий бинарную классификацию объектов и характеристики процесса обучения нейронной сети. Применение комплекса позволяет обучающимся сразу перейти к практическому освоению методов распознавания изображений, не тратя время на кропотливую и многошаговую процедуру конфигурирования программного обеспечения. Позволяя вносить изменения, как в исходные данные параметров изображений, так и в архитектуру сети, комплекс предоставляет возможность наблюдать и анализировать результаты этих изменений получая практический опыт применения глубоких нейронных сетей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Hinton G., Deng L., Yu D., Dahl G., Mohamed A., Jaitly N., Senior A., Vanhoucke V., Nguyen P., Sainath T. and Kingsbury B. Deep Neural Networks for Acoustic Modeling in Speech Recognition, *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 29, No. 6, 2012, pp. 82 – 97.
- [2] Дли М.И., Какатунова Т.В. Особенности формирования саморазвивающейся виртуальной инфраструктуры поддержки инноваций в регионе./ Проблемы и перспективы развития промышленности России: сборник материалов Международной научно-практической конференции. – М.: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2017. – 352 с. – С. 273 – 277.
- [3] Хокинс Д., Блейкли С. Об интеллекте. / М.: Издательский дом «Вильямс», 2016. – 240 с.
- [4] Пучков А.Ю., Павлов Д.А. Алгоритмы поиска решения обратных задач при непрерывном и дискретном времени. *Научное обозрение*. 2013. № 1. С. 174 – 176.
- [5] Ciresan D., Meier U., Masci J and Schmidhuber J. Multi-column Deep Neural Network for Traffic Sign Classification. *Neural Networks*, Vol. 34, August 2012, pp. 333 – 338.
- [6] Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвиль А. Глубокое обучение / пер. с англ. А.А. Слинкина. – 2-е изд. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с.
- [7] Жерон О. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn и TensorFlow: концепции, инструменты и техники для создания интеллектуальных систем. / М.: «Диалектика», 2018. – 688 с.

Решение задач механики материалов и конструкций в системе MATLAB

В.П. Радин, Е.В. Позняк, О.В. Новикова, В.Е. Хроматов
Кафедра Робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
Москва

Аннотация — Работа посвящена использованию вычислительной системы Matlab для решения задач механики материалов и конструкций. Рассматриваются типичные задачи, встречающиеся в расчетных заданиях или в курсовых проектах по дисциплине «Механика материалов и конструкций» для студентов второго курса Института энергетического машиностроения и механики (ЭнМИ). Отмечается использование стандартных функций и процедур Matlab при решении задач, а также графическое представление результатов вычислений и численных исследований прочности различных элементов конструкций.

Ключевые слова — расчеты на прочность и жесткость, программное средство учебного назначения, вращающийся диск, кольцевая пластина, цилиндрическая оболочка, Matlab.

I. ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение механической надежности технических объектов современной техники требует проведения сложных расчетов на прочность, жесткость и устойчивость. Подобного рода расчеты обычно проводятся с использованием программных комплексов, в основу которых заложены современные вычислительные методы: ANSYS, COSMOS и т.д. В основном используется наиболее приспособленный для исследования систем сложной структуры метод конечных элементов. Для освоения и использования в дальнейшем подобного рода комплексов студенты должны овладеть навыками использования вычислительной техники в решении разнообразных инженерных задач. Одной из первых технических дисциплин, при изучении которых студенты второго курса начинают осваивать информационные технологии, является «Механика материалов и конструкций» [1–3]. Дальнейшее углубление навыков численного решения задач механики происходит на протяжении всего периода обучения (по направлению 15.03.03 «Прикладная механика») в курсах «Аналитическая механика», «Теория устойчивости», «Строительная механика», «Динамика машин», «Конструкционная прочность» и других. Эти дисциплины предполагают широкое использование методов вычислительной математики и механики, начиная с вычислений по готовым формулам, построения графиков и эпюр, поиска решений линейных и нелинейных уравнений, исследования колебаний механических систем, определением параметров напряженно-

деформированного состояния элементов конструкций и заканчивая полноценной работой с промышленными программными комплексами. На начальном этапе студентам предлагаются простые задачи, которые обязательно включают проведение прочностного анализа и исследование влияния различных факторов на напряженное состояние конструкции. В качестве вычислительной системы выбран программный комплекс Matlab [4–6]. Выбор этого комплекса среди большого количества аналогичного программного обеспечения определяется тем, что это мощный пакет прикладных программ с интерпретируемым языком программирования. Среда программирования Matlab предоставляет широкие возможности для решения учебных задач и их оформления в виде программных средств учебного назначения (ПСУН).

Примеры решения задач вместе с необходимым методическим материалом можно найти в учебном пособии [7]. Эти задачи включены в курсовое проектирование по дисциплине «Механика материалов и конструкций» в 4 семестре для студентов института Энергомашиностроения и механики по направлениям 13.03.03 Энергетическое машиностроение, 15.03.01 Машиностроение, 15.03.03 Прикладная механика, 15.03.06 Мехатроника и робототехника. Учебное пособие содержит 8 разделов, каждый раздел соответствует отдельной задаче по следующим темам: расчет на прочность статически-неопределимой балки методом начальных параметров; расчет статически-неопределимой рамы под действием силовых и температурных нагрузок методом сил; расчет осесимметрично нагруженных тонкостенных оболочек и толстостенных цилиндров под давлением; расчет вращающихся дисков, стержневых систем на устойчивость; вынужденные изгибные колебания валов. В начале каждого раздела приводится краткое теоретическое введение с основными теоретическими положениями и расчетными формулами. Программные коды решений даны в Приложениях, а также выложены на странице кафедры Робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин НИУ МЭИ в разделе «Учебная работа».

Ниже приведены примеры некоторых задач курса «Механика материалов и конструкций», предполагающие использование ПК Matlab.

II. РАСЧЕТ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ДИСКА

Диск постоянной толщины посажен на вал с натягом Δ (рис. 1). Требуется провести исследование прочности диска при его вращении с круговыми частотами от 0 до 600 c^{-1} .

Исходные данные: величина натяга $\Delta = 8 \cdot 10^{-5} \text{ м}$; диаметр вала $d = 0,2 \text{ м}$; диаметр диска $D = 0,8 \text{ м}$; модуль продольной упругости материала вала и диска $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$; коэффициент Пуассона материала вала и диска $\mu = 0,3$; плотность материала вала и диска $\rho = 7800 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

Сначала проведем расчет на прочность диска при прессовой посадке его на вал с натягом. Для характерных радиусов конструкции (рис.1):

$$r_0 = 0, \quad r_1 = d/2, \quad r_2 = D/2.$$

При посадке с натягом двух круговых цилиндрических тел между внешней поверхностью внутреннего цилиндра и внутренней поверхностью внешнего цилиндра возникает контактное давление p_k . Для определения напряжений в невращающемся диске, возникающих от контактного давления p_k воспользуемся формулами Ламе, положив в них внутреннее давление $p_1 = p_k$, а внешнее давление $p_2 = 0$:

$$\sigma_r(r) = \frac{p_k r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{p_k r_1^2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \frac{1}{r^2}, \quad \sigma_\theta(r) = \frac{p_k r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{p_k r_1^2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \frac{1}{r^2}.$$

Для вычисления этих напряжений составляется файл-функция. Далее строятся эпюры радиальных и окружных напряжений для невращающегося диска, которые дают возможность определения местоположения опасных точек и максимальных эквивалентных напряжений. По критерию прочности Сен-Венана максимальные эквивалентные напряжения при посадке диска на вал с

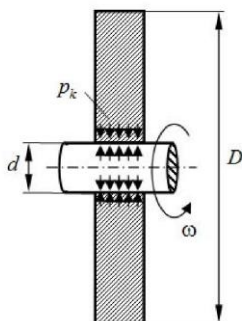


Рис. 1. Схема конструкции

указанным выше натягом составляют $\max \sigma_{\text{экр}} = \sigma_\theta(r_1) - \sigma_r(r_1) = 80 \text{ МПа}$.

Определим освобождающую частоту вращения $\omega_{\text{осв}}$, при которой радиальные перемещения точек на внутренней поверхности диска будут равны половине первоначального технологического натяга, а контактные напряжения равны нулю. Натяг имеет место при условии $\omega < \omega_{\text{осв}}$. Если $\omega > \omega_{\text{осв}}$ между поверхностью вала и внутренней поверхностью диска возникает зазор, а контактное давление при этом равно нулю. Построим эпюры, иллюстрирующие распределение радиальных σ_r и окружных напряжений σ_θ для случая скорости вращения $\omega = \omega_{\text{осв}}$ (рис. 2).

На рис. 3 представлен график зависимости максимальных эквивалентных напряжений от частоты вращения ω . При изменении частоты вращения от нуля до $\omega_{\text{осв}}$ максимальные $\sigma_{\text{экр}}(\omega)$ практически не изменяются: $\sigma_{\text{экр}}(0) = 80 \text{ МПа}$, а $\sigma_{\text{экр}}(\omega_{\text{осв}}) = 81,1 \text{ МПа}$.

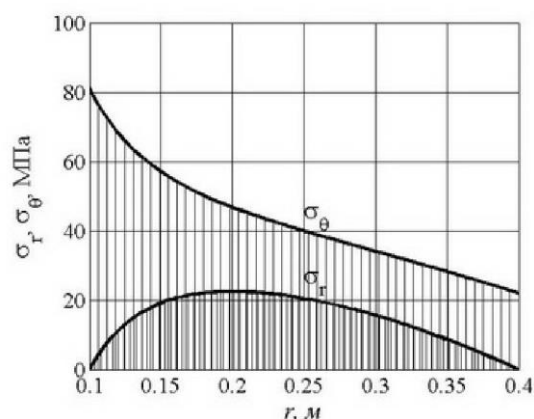


Рис. 2. Эпюры радиальных и окружных напряжений

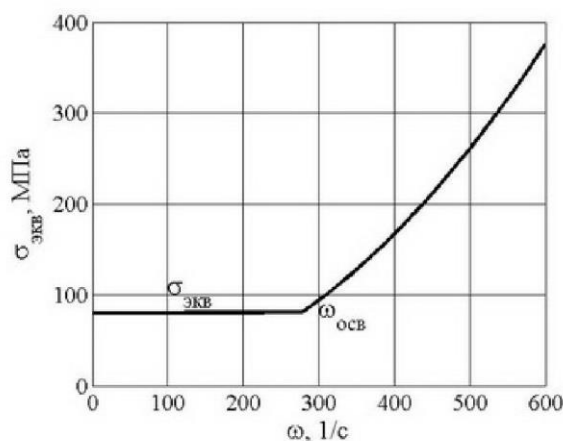


Рис. 3. Зависимость максимальных эквивалентных напряжений от частоты вращения

Если $\omega > \omega_{\text{осв}}$, то $\sigma_{\text{экв}}$ определяются только центробежными силами и величиной окружных напряжений при $r = r_1$, т.е. $\sigma_{\theta}(r_1, \omega)$ и при увеличении ω растут по квадратичному закону. По кривой можно определить допускаемую частоту вращения из условия прочности. Например, если на материал, из которого изготовлен диск, наложены ограничения по прочности $[\sigma] = 300$ МПа, то из рисунка следует $\omega_{\text{доп}} = 536$ 1/с или $n_{\text{доп}} = 5120$ об/мин.

III. ОСЕСИММЕТРИЧНЫЙ ИЗГИБ КОЛЬЦЕВОЙ ПЛАСТИНЫ

В качестве второго примера рассмотрим задачу о расчете на прочность кольцевой пластины. Кольцевая пластина (клапан) находится под действием равномерно распределенной нагрузки p_0 (рис. 4). Закрепление пластины таково, что можно считать внешний контур пластины при $r = r_2$ жестко защемленным, а внутренний при $r = r_1$ – шарнирно опертым. Требуется определить коэффициент запаса прочности и максимальный прогиб.

Исходные данные: толщина пластины $h = 0,001$ м; внутренний радиус $r_1 = 0,01$ м; внешний радиус $r_2 = 0,04$ м; модуль продольной упругости материала $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па; коэффициент Пуассона материала $\mu = 0,3$; предел текучести материала пластины $\sigma_T = 300$ МПа; давление на пластину составляет $p_0 = 0,25 \cdot 10^6$ Па.

Решение уравнения осесимметричного изгиба кольцевой пластины можно записать

$$w(r) = C_1 + C_2 r^2 + C_3 \ln(r) + C_4 r^2 \ln(r) - \frac{pr^4}{64D}, \quad (1)$$

где $\mathbf{C} = (C_1 \ C_2 \ C_3 \ C_4)^T$ – вектор неизвестных постоянных интегрирования, входящих в решение однородного уравнения изгиба, $-pr^4/64D$ – частное решение неоднородного уравнения, $D = Eh^3/12(1-\mu^2)$ – цилиндрическая жесткость пластины.

Постоянные интегрирования определяются из известных граничных условий.

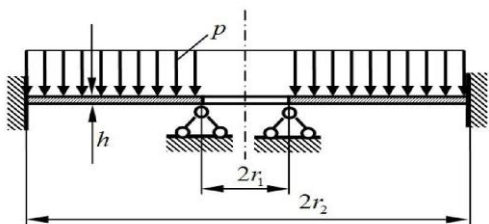


Рис.4. Кольцевая пластина при действии распределенной нагрузки

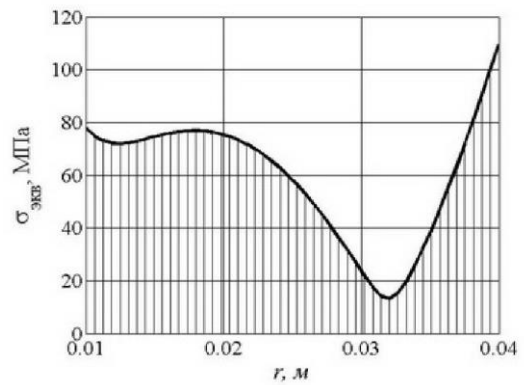


Рис. 5. Эпюра эквивалентных напряжений

Для рассматриваемой задачи граничные условия имеют вид

$$r = r_1, \quad w = M_r = 0, \quad r = r_2, \quad w = \frac{dw}{dr} = 0. \quad (2)$$

Выражения (1) и (2) дают возможность составить систему линейных алгебраических уравнений для определения вектора \mathbf{C}

$$\mathbf{A}\mathbf{C} = \mathbf{B}. \quad (3)$$

Программный код решения в Matlab реализован в виде m-файла. Для определения элементов матрицы \mathbf{A} , т.е. $A(j, k)$, ($j, k = 1 \div 4$) в программе предусмотрена файл-функция. Компоненты вектора \mathbf{B} , входящие в правую часть системы (3), также определяются файл-функцией Matlab. Указанные функции позволяют рассматривать большое разнообразие граничных условий. Напомним, что для рассматриваемой задачи обращаются в нуль: на внутреннем контуре прогиб и момент в радиальном направлении, а на внешнем контуре прогиб и угол поворота нормали. Система (3) решается функцией Matlab `linsolve`, т.е. $\mathbf{C} = \text{linsolve}(\mathbf{A}, \mathbf{B})$

Наибольшее значение прогибов достигается при $r = 0,022$ м и составляет $w_{\text{max}} = 0,0051$ мм. График распределения эквивалентных напряжений по радиусу пластины представлен на рис. 5, из которого следует, что наиболее нагруженные точки пластины расположены на внешнем контуре при $r = r_2$. Здесь максимальные эквивалентные напряжения равны $\max \sigma_{\text{экв}} = 109$ МПа. Следовательно, коэффициент запаса прочности будет равен $n = \sigma_T / \max \sigma_{\text{экв}} = 2,7$.

IV. РАСЧЕТ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Интерпретатор Matlab предусматривает интерактивный режим расчетов на прочность, корректируя некоторые данные в процессе вычислений. В качестве примера рассмотрим следующую задачу.

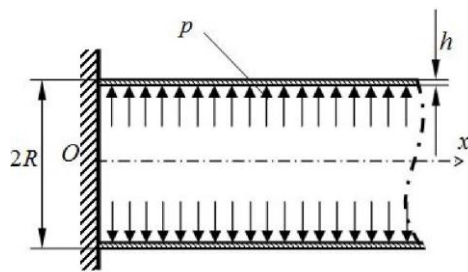


Рис. 6. Цилиндрическая оболочка при действии внутреннего давления

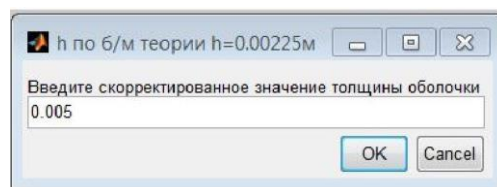


Рис. 7. Диалоговая панель для ввода толщины h

Таким образом, условие задачи выполняется и, следовательно, значение толщины оболочки 5 мм удовлетворяет требованию задачи.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Статические и динамические расчеты конструкций и деталей машин представляют собой некие математические задачи и, соответственно, предусматривают широкое использование разнообразных вычислительных методов. В связи с этим широкое применение вычислительной системы Matlab при изучении достаточно сложной для освоения технической дисциплины «Механика материалов и конструкций» решает ряд задач по формированию высококвалифицированных инженерных кадров. Приобретаются и закрепляются навыки работы с матричной системой, занимающей лидирующее место в области численных научно-технических вычислений. Использование этой системы при решении технических задач придает учебному процессу исследовательский характер, что повышает интерес к изучению дисциплины, способствует более глубокому усвоению учебного материала и выработке навыков решения сложных технических задач и наглядного графического представления полученных результатов. Большинство функций системы Matlab реализовано в виде текстовых файлов и доступны для модификации при решении специфических задач «Механики материалов и конструкций».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Феодосьев В.И. Сопротивление материалов Учеб. для вузов. - 10-е издание, перераб и доп. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1999. - 592 с.
- [2] Окопный Ю.А., Радин В.П., Чирков В.П. Механика материалов и конструкций. Учебник для вузов.-М.: Машиностроение, 2002,-436 с.
- [3] Окопный Ю.А., Радин В.П., Хроматов В.Е., Чирков В.П. Механика материалов и конструкций. Сборник задач. -М.: Машиностроение, 2004, -414 с.
- [4] Дьяконов В. П. MATLAB. Полный самоучитель. М.: ДМК Пресс, - 2012. - 768 с.: ил.
- [5] Потемкин В.Г. Система инженерных и научных расчетов, т. 1.2 М.: ДИАЛОГМИФИ, 1999. - 672 с.
- [6] Дьяконов В.П., Абраменкова И.В. MATLAB 5.0/5.3. Система символьной математики. М.: Нолидж.-1999. - 640 с.
Позняк Е.В., Радин В.П., Новикова О.В., Хроматов В.Е., и др. Статические и динамические расчеты элементов энергомашиностроительных конструкций в примерах. Учебное пособие. Под ред. В.П. Радина, В.Е. Хроматова. -М.: Издательство МЭИ. 2017.-108 с. ISBN 978-5-7046-1849.

Требуется подобрать толщину h цилиндрической оболочки, находящейся под действием внутреннего давления (рис. 6) так, чтобы фактический коэффициент запаса прочности находился в пределах от 1 до 1,4. Расчет нужно провести с учетом краевого эффекта в окрестности защемленного края оболочки.

Исходные данные: радиус цилиндрической оболочки $R = 0,12$ м; модуль продольной упругости материала вала и диска $E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па; коэффициент Пуассона материала вала и диска $\mu = 0,3$; допускаемые напряжения $[\sigma] = 160$ МПа; внутреннее давление $p = 3 \cdot 10^6$ Па.

Оценочный расчет проведем по безмоментной теории оболочек: напряжения в окружном направлении определяются по формуле $\sigma = \frac{pR}{h} \leq [\sigma]$. Отсюда следует, что толщина оболочки должна быть

$$h = \frac{pR}{[\sigma]} = 0,00225 \text{ м.}$$

Однако это значение толщины оболочки должно быть подкорректировано в сторону увеличения, так как более точный расчет с учетом краевого эффекта дает значительно большие значения напряжений. Программа выводит на экран диалоговую панель с указанием значением оценки толщины и с окном для ввода нового более высокого значения h (рис. 7). Примем $h = 0.005$ м. Дальнейшее решение показывает, что опасные точки для заданного случая нагружения и закрепления оболочки с учетом краевого эффекта находятся при $x = 0$. Максимальные напряжения здесь равны

$$\sigma_{\max} = \frac{6M_x}{h^2} = 131 \text{ МПа,}$$

при этом фактический коэффициент запаса прочности равен

$$n = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\max}} = 1,2 < 1,4.$$

Возможности MatLab по созданию и использованию функций с переменным количеством параметров

Ревинская О.Г.

Физический факультет

Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томск, Россия

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Томск, Россия
ogr@tpu.ru

Аннотация — MatLab, позиционируемый разработчиками как пакет прикладных программ, активно используется в различных научных и инженерно-технических разработках. Программные решения предлагаются потребителям в виде функций, многие из которых имеют большое количество параметров. Эффективность использования этих (стандартных) функций обеспечивается, в том числе, и гибкостью использования их параметров, которые могут быть как обязательными, так и необязательными. Автором рассмотрены методы разработки нестандартных функций MatLab, которые поддерживали бы такой же гибкий механизм использования параметров, как и стандартные функции, поставляемые разработчиками.

Ключевые слова — MatLab; стандартная функция; нестандартная функция; входные и выходные параметры; обязательные и необязательные параметры

I. ВВЕДЕНИЕ

Подпрограммы в программировании являются одним из ведущих средств не только структурирования кода, но и распространения наиболее удачных его реализаций. Именно благодаря наличию большого количества библиотек, объединявших различные подпрограммы, в свое время Фортран был очень популярен в физических исследованиях. В настоящее время тенденция использования готовых программных решений в прикладных исследованиях становится еще более эффективной благодаря появлению и активному развитию математических пакетов, таких как Mathematica, Mathcad, MatLab и т.д. Эти пакеты, как правило, сочетают в себе не только самостоятельный язык программирования, но и написанные на этом языке подпрограммы (процедуры, функции), воспроизводящие те или иные алгоритмы. Чем больше алгоритмов реализовано в виде хорошо отлаженных подпрограмм, тем реже при использовании математического пакета у пользователя будет возникать потребность в программировании как таковом. В этом случае решение большого количества прикладных задач, по сути, сводится к правильному использованию поставляемых разработчиком подпрограмм. Ярким

примером развития этой тенденции в настоящее время можно считать MatLab, который активно используется при решении задач радиолокации, проектирования освещения, безопасности космического аппарата в полете, управления водным транспортом, анализа инвестиций, движения грунтовых вод, теплообмена, моделирования плотности вещества экзопланет и многих других задач. Авторы этих и многих других исследований широко используют поставляемые разработчиками MatLab подпрограммы. Некоторые авторы, используя MatLab, прибегают не только к применению готовых подпрограмм, но и к созданию собственных. Большое количество публикаций, ссылающихся на использование MatLab в исследованиях различной направленности, свидетельствует о высоком качестве поставляемых разработчиком подпрограмм. Но эффективность применения этих подпрограмм может снижаться за счет некорректности их вызова. Анализируя публикации можно заметить, что многие поставляемые разработчиком подпрограммы MatLab в разных ситуациях можно вызывать по-разному – с разными и по содержанию и по количеству параметрами. Это существенно расширяет область применения таких подпрограмм.

При этом следует отметить, что, не смотря (а подчас и благодаря) обилию публикаций по применению MatLab, принципы написания и вызова подпрограмм (функций) излагаются в них достаточно редко и очень кратко. В результате возникает диссонанс между изложенными в справочниках [1] и учебниках [2–5] правилами, которых рекомендуется придерживаться программисту при разработке и вызове собственных (нестандартных) подпрограмм, и правилами вызова стандартных (поставляемых производителем) подпрограмм (функций), получивших широкое распространение. В частности анализируя правила вызова различных стандартных функций легко заметить, что не все параметры (как входные, так и выходные), используемые при вызове функций, являются обязательными. Однако информацию, как сделать необязательными параметры нестандартной функции, можно найти только в справочной системе MatLab [6]. Учитывая, что понимание принципов

```

function [<выходные параметры>] = <идентификатор функции> (<входные параметры>)
% комментарий
    <операторы - тело функции>
end

```

Рис. 1. Структура функции в MatLab

<p>Описание функции:</p> <pre> function [y1,y2] = f1(x1,x1) y1 = 2*x1-5*x2; y2 = 6*x1+3*x2; end </pre>	<p>Ее вызов:</p> <pre> [z1,z2] = f1(3,1) </pre>
---	---

Рис. 2. Традиционный пример описания и вызова функции в MatLab

разработки функций существенным образом сказывается на корректности их использования, рассмотрим несколько способов конструирования в MatLab таких функций с необязательными параметрами, выполнение которых не приводит к прерыванию программы и появлению сообщения об ошибке.

II. ОБЩИЕ ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ ФУНКЦИЙ В MATLAB

Обычно в MatLab под функцией понимают любую подпрограмму, не выделяя среди них процедуры. Каждую функцию, как правило, записывают в отдельном файле, а вызывают из другого файла (управляющей программы или функции) или из командного окна, если файл с функцией находится в папке, считающейся в MatLab текущей.

И старые, и новые версии MatLab накладывают много ограничений на структуру файла, в котором может храниться функция (рис. 1). В этой структуре обязательными являются только служебные слова `function`, `end` и идентификатор функции. Название файла (с расширением `m`) должно совпадать с идентификатором функции.

Входные и выходные параметры перечисляются через запятую без указания типов (в виде последовательности идентификаторов) по разные стороны от идентификатора функции. Их количество и взаимное расположение определяется программистом. То есть в MatLab можно написать функцию как с входными и (или) выходными параметрами, так и без них. Если при описании (написании) функции указаны несколько входных и несколько выходных параметров, обычно в справочниках и учебниках [1–5] говорится, что при вызове функции следует указать такое же количество параметров соответственно (рис. 2).

Расположение входных и выходных параметров по разные стороны от идентификатора функции при вызове этой функции (также как и при ее описании) является особенностью языка MatLab и существенно облегчает логическую читаемость вызывающего функцию программного кода. Но возникает вопрос, можно ли благополучно вызвать функцию, указав меньше (или больше) параметров, чем при ее описании (ведь именно

так часто и поступают при вызове стандартных функций); потребуется ли при этом каким-то специальным образом организовывать тело функции.

III. ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

При описании функции выходные параметры в MatLab можно записать двумя способами: 1) в виде последовательности идентификаторов фиксированной длины; 2) в виде массива ячеек переменной длины.

По умолчанию MatLab запрещает использование в качестве начальных данных незадаанные (а значит и не инициализированные) переменные. Поэтому при вызове функций (стандартных и нестандартных) он контролирует, чтобы всем фактически запрашиваемым выходным параметрам в теле функции были присвоены значения (хотя бы один раз).

Поэтому если в функции для описания выходных параметров используется последовательность идентификаторов конечной длины (например, `[z1, z2, z3, z4]`), то при вызове такой функции ошибка возникает только когда количество фактически запрашиваемых выходных параметров превосходит количество идентификаторов, указанных при описании (когда не всем запрашиваемым параметрам в функции будут присвоены значения). То есть такую функцию можно вызывать либо с меньшим количеством, либо с количеством выходных параметров, указанным при описании. При этом следует помнить, что если при вызове функции указано меньше выходных параметров, чем при ее описании, то функция возвращает не всю сгенерированную ею информацию, а только ту, которая присвоена идентификаторам, расположенным в начале последовательности, использованной для описания выходных параметров. Например, приведенную на рис. 2 функцию можно вызвать следующим образом: `z = f1(3,1)`; тогда она возвращает только первое из двух вычисленных ею значений.

При разработке функций для получения некоторых возвращаемых ею значений может потребоваться много времени. Чтобы избежать получения не востребуемых данных, в теле функции можно организовать проверку,

<p>Описание функции:</p> <pre>function [z1,z2,z3,z4] = f7 if nargin>0, z1 = randi(50); end if nargin>1, z2 = 50 + randi(50); end if nargin>2, z3 = 100 + randi(50); end if nargin>3, z4 = 150 + randi(50); end end</pre>	<p>Варианты вызова:</p> <pre>[v1,v2,v3,v4] = f7 [v1,v2,v3] = f7 [v1,v2] = f7 [v1] = f7</pre>
--	--

Рис. 3. Пример функции с переменным количеством выходных параметров

<p>Описание функции:</p> <pre>function y = f10(x,a,b) narginchk(1,3) % значения по умолчанию if nargin<2, a = 5; end if nargin<3, b = 10; end y = a*x + b; end</pre>	<p>Варианты вызова:</p> <pre>q = f10(1) z = f10(1,2,3)</pre>
--	--

Рис. 4. Пример функции с обязательными и необязательными позиционированными входными параметрами

сколько выходных параметров фактически запрашивается при вызове, и в зависимости от этого выполнять или не выполнять некоторые операторы. Для определения количества фактически запрашиваемых выходных параметров в теле функции можно использовать стандартную функцию `nargout`. Для разных значений, возвращаемых функцией `nargout`, можно написать разные варианты обработки или генерации информации (рис. 3). Тогда нестандартную функцию, в теле которой используется `nargout`, можно вызывать с меньшим, чем при описании, количеством выходных параметров без лишних затрат времени на получение неустраненной информации.

Но несложные нестандартные функции, выходные параметры которых описаны в виде последовательности идентификаторов фиксированной длины, и которые планируется вызывать с разным количеством фактически запрашиваемых выходных параметров, можно одинаково успешно писать как с использованием функции `nargout`, так и без нее. Это практически не сказывается на работоспособности таких функций. А вот нестандартные функции, выходные параметры которых описаны в виде одномерного массива ячеек переменной длины, написать, не определяя фактическое количество выходных параметров, практически невозможно.

Чтобы выходные параметры функции описать в виде одномерного массива ячеек переменной длины в MatLab используют зарезервированный идентификатор `varargout`. Описание такой функции может начинаться, например, следующим образом: `function varargout = f8...` Функцию, выходные параметры которой описаны с помощью `varargout`, можно вызывать с любым количеством выходных параметров. Так как `varargout` является массивом, то при необходимости в

теле функции для генерации всех запрашиваемых выходных параметров можно организовать цикл. Количество фактически запрашиваемых при вызове функции параметров в ее теле можно узнать либо с помощью `nargout`, либо с помощью функции `length(varargout)`, которая определяет количество элементов в массиве. Тем не менее, при вызове функции, выходные параметры которой описаны с помощью `varargout`, фактически запрашиваемые выходные параметры необходимо указывать в виде последовательности идентификаторов фиксированной длины. Например: `[y1,y2] = f8`.

Следует отметить, что независимо от способа описания выходные параметры функции в MatLab интерпретируются по их расположению в последовательности, указанной при вызове (являются позиционированными).

IV. ВХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Входные параметры функции в MatLab также можно описать двумя способами: 1) в виде последовательности идентификаторов фиксированной длины; 2) в виде массива ячеек переменной длины. Также как и для выходных параметров, если входные параметры в функции описаны в виде одномерного массива ячеек (с помощью зарезервированного идентификатора `varargin`; например: `function ... f9(varargin)...`), такую функцию можно вызывать с произвольным количеством входных параметров; если входные параметры описаны в виде последовательности идентификаторов фиксированной длины (например, `function ... f9(x, a, b, c)...`), то такую функцию можно вызывать только с входными параметрами, количество которых не превышает количество, указанное при описании. При

вызове функции входные параметры (не зависимо от способа их описания) необходимо задавать в виде последовательности значений и (или) идентификаторов переменных, которым эти значения были ранее присвоены.

Но входные параметры чаще всего в теле функции выступают в роли исходных данных. Поэтому если функцию планируется вызывать с разным количеством входных параметров, ее тело необходимо организовать так, чтобы при любом вызове не возникало обращение к неинициализированным переменным (значения которых не задано). Это требование можно осуществить двумя способами: либо для каждого количества входных параметров написать индивидуальный программный код, либо для отсутствующих параметров задать значения по умолчанию.

А. Обязательные и необязательные позиционированные параметры

Итак, технически MatLab позволяет вызывать функцию с иным количеством входных параметров, чем это указано при описании. Но алгоритм обработки данных, оформленный в виде функции, сам может накладывать ограничения на количество входных и (или) выходных параметров. Например, некоторые алгоритмы не могут быть реализованы, если не задано некоторое минимально необходимое количество входных параметров. Алгоритм также может предусматривать ограничения по максимальному количеству входных параметров. Следовательно, в теле функций, реализующих такие алгоритмы, необходимо проверять соответствие количества входных и выходных параметров, указанных при фактическом вызове таких функций, определенному диапазону значений.

Для этого в 2011 г. в MatLab появилась функция `narginchk` [6], прерывающая работу функции, если фактическое количество входных параметров находится вне указанного диапазона (меньше минимально допустимого или больше максимально допустимого). Если количество входных параметров соответствует указанному диапазону, функция `narginchk` ничего не делает. Функция `nargoutchk`, выполняющая аналогичную проверку для выходных параметров, существует в MatLab еще с 2006 г. И для той и для другой функции диапазон, которому должно соответствовать количество входных или выходных параметров, задается двумя целыми числами (сначала нижняя граница, затем верхняя). Если верхняя и нижняя границы – одинаковые числа, то функцию, в теле которой использована `narginchk` и (или) `nargoutchk`, можно успешно вызывать только с фиксированным количеством соответствующих параметров; если нижняя граница равна 0, то функцию можно вызывать как с параметрами, так и без параметров; если верхняя граница равна `inf` (бесконечность), то максимальное количество соответствующих параметров такой функции не регламентировано.

То есть использование в теле объявляемой нестандартной функции стандартной функции `narginchk` позволяет технически разделить входные

параметры на обязательные (без которых объявляемая функция не может быть вызвана) и необязательные (рис. 4). Будет ли тот или иной входной параметр для функции обязательным определяется его расположением (позицией) в последовательности идентификаторов, указанных при ее описании после идентификатора функции. Первые несколько параметров считаются обязательными, если их порядковый номер в последовательности входных параметров не превосходит нижнюю границу диапазона, заданного в теле функции с помощью `narginchk`.

Позиция параметра, как правило, предопределяет и его дальнейшее использование в теле функции. Параметры, обладающие такими свойствами, называются позиционированными.

В. Опции (непозиционированные параметры)

Во всех рассмотренных выше видах нестандартных функций с переменным и с постоянным количеством параметров фактические значения входных параметров интерпретировались каждой из функций в порядке их следования. Чаще всего информация, поступившая в функцию через первый входной параметр, преобразуется одним способом, информация, поступившая через второй параметр, – другим, информация, поступившая через третий параметр, – третьим способом и т.д. Благодаря такому механизму интерпретации данных, выполняемой слева направо, нет необходимости помимо значения передавать в функцию какой-либо идентификатор, указывающий на способ интерпретации поступившей информации. При работе с функциями это позволяет экономить память, но требует от программиста тщательного соблюдения порядка следования параметров при вызове функций (и стандартных, и нестандартных), ориентируясь на способ их использования в телах этих функций. Такие параметры, как отмечалось ранее, называются позиционированными. Именно поэтому незадаанными (т.е. необязательными) могут быть только входные позиционированные параметры, расположенные в конце последовательности их идентификаторов.

Опциями называются такие входные параметры функции (подпрограммы), для которых всегда существуют значения, заданные по умолчанию. Поэтому при вызове функции некоторые (или все) из этих параметров можно опустить (необязательные параметры). Если опций несколько, и для какой-то из них нужно задать значение, отличное от значения по умолчанию, то принцип последовательной интерпретации входных параметров требует, чтобы заданными явным образом (не по умолчанию) были последовательно все параметры, расположенные перед этой опцией. То есть для опций, расположенных в фактической последовательности входных параметров раньше, теряется смысл существования значения по умолчанию, если они позиционированы. Чтобы при вызове функции была возможность явным образом указывать только те значения опций, которые отличаются от заданных по умолчанию, необходимо чтобы значения опций при вызове функции можно было указывать в любом порядке (непозиционированные параметры). Но тогда для

<pre> Описание функции: function y = f13(x, varargin) narginchk(1,7) % значения опций по умолчанию a = 0; b = 1; c = 0; % присвоение фактически заданных % значений опций if nargin>1 for k = 1:2:(length(varargin)-1) if varargin{k}=='a', a = varargin{k+1}; end if varargin{k}=='b', b = varargin{k+1}; end if varargin{k}=='c', c = varargin{k+1}; end end end % получение возвращаемого значения y = a*x^2 + b*x + c; end </pre>	<pre> Варианты вызова: q = f13(5) q = f13(5,'a',1) q = f13(5,'b',2) q = f13(5,'c',3) q = f13(5,'a',1,'c',3) q = f13(5,'c',3,'a',1) q = f13(5,'c',3,'a',1,'b',2) </pre>
--	--

Рис. 5. Пример функции с опциями, в которой разбор параметров осуществляется без стандартных средств MatLab

<pre> Описание функции: function y = f13(x, varargin) narginchk(1,7) % создание структуры параметров ParametrStruct = inputParser; addRequired(ParametrStruct, 'x') % для версии MatLab 2013b и позднее addParameter(ParametrStruct, 'a', 0) addParameter(ParametrStruct, 'b', 1) addParameter(ParametrStruct, 'c', 0) % анализ и разбор параметров parse(ParametrStruct, x, varargin{:}) % получение возвращаемого значения y = ParametrStruct.Results.a* ParametrStruct.Results.x^2 + ... ParametrStruct.Results.b* ParametrStruct.Results.x + ... ParametrStruct.Results.c; end </pre>	<pre> Варианты вызова: q = f13(5) q = f13(5,'a',1) q = f13(5,'b',2) q = f13(5,'c',3) q = f13(5,'a',1,'c',3) q = f13(5,'c',3,'a',1) q = f13(5,'c',3,'a',1,'b',2) </pre>
--	--

Рис. 6. Пример функции с опциями, в которой разбор параметров осуществляется с помощью стандартных функций MatLab

правильной идентификации передаваемых в функцию данных необходимо каждое значение сопровождать информацией, к какой именно опции оно относится. Поэтому в MatLab при вызове стандартных и нестандартных функций опции задаются двумя параметрами: 1) уникальный для данной функции идентификатор опции в строковом формате; 2) значение опции. Например, при вызове широко используемой стандартной функции `plot(X,Y, 'Color', [1 0 0])` параметры X и Y интерпретируются по их положению (позиционированные параметры), а для опции с названием 'Color' указано значение [1 0 0], отличное от заданного по умолчанию. Остальные опции функции `plot` в этом примере остались заданными по умолчанию.

Чтобы реализовать непозиционированный подход к вызову функций с опциями, необходимо в теле функции не только задать значения всех опций по умолчанию, но и организовать среди фактически переданных функции параметров поиск названия каждой опции с последующим присвоением сопутствующего ему переданного значения.

При объявлении функций с опциями чаще всего для опций используют переменную `varargin`, а для остальных входных параметров – последовательность идентификаторов фиксированной длины, значения в которых интерпретируются по их расположению в этой последовательности – позиционированные параметры (рис. 5). Поэтому, чтобы интерпретация параметров была корректной, переменная `varargin` при описании функции всегда является последним входным параметром.

Объявление функций с опциями требует тщательной идентификации входных параметров (как позиционированных, так и непозиционированных). Для облегчения этого процесса в MatLab [6], начиная с версии 2007, появились функции `parse`, `inputParser`, `addRequired`, `addOptional`, `addParamValue` (начиная с версии 2013b, функция `addParamValue` была заменена функцией `addParameter` с тем же синтаксисом). Функция `parse` выполняет разбор и анализ некоторых данных в соответствии с заданной структурой. Остальные функции позволяют создать и детализировать

эту структуру: `inputParser` – создает пустую структуру параметров; `addRequired` добавляет один обязательный позиционированный, `addOptional` – необязательный позиционированный параметр, `addParameter` – опцию (необязательный непозиционированный параметр). Для каждого из элементов создаваемой структуры можно с помощью соответствующей функции (`addRequired`, `addOptional` или `addParameter`) указать идентификатор и значение по умолчанию (для необязательных параметров). Для каждого параметра в структуре создается поле (например: `ParameterStruct.Results.a`), в которое помещается его фактическое значение (или значение по умолчанию, если параметр при вызове функции не задан). Далее в теле объявляемой функции эти поля используются при получении возвращаемого значения (рис. 6).

Функция `parse` не только реализует корректный разбор входных параметров объявляемой функции, но и при наличии у функций `inputParser`, `addRequired`, `addOptional`, `addParameter` дополнительных параметров [7] проверяет, относятся ли передаваемые с их помощью значения к тому или иному типу данных (на рис. 6 не реализовано). Такая проверка позволяет избежать выполнения запрограммированного в функции алгоритма с некорректными исходными данными, повышая тем самым надежность дальнейшего использования такой функции.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ показал, что уже на уровне ядра (без подключения дополнительных библиотек) `MatLab` предоставляет программисту широкие возможности по разработке нестандартных функций, которые можно вызывать как с полным, так и с неполным списком входных и выходных параметров. Входные параметры функции могут быть позиционированными (т.е. интерпретироваться функцией по их расположению) или непозиционированными (интерпретироваться с помощью специальных строковых констант), выходные параметры могут быть только позиционированными.

Позиционированные входные параметры могут являться обязательными (их значения необходимо указывать при вызове функции всегда) и необязательными (такие параметры при вызове функции можно опустить). Все опции являются непозиционированными параметрами и всегда считаются необязательными.

Учитывая принятые способы интерпретации, всегда подразумевается, что входные параметры в заголовке функции располагаются в следующем порядке: обязательные позиционированные, необязательные позиционированные, опции. Но синтаксически ни одна из групп входных параметров никак не выделяется.

Возможность вызывать функции с полным или неполным списком входных и выходных параметров, а также с опциями, практически не сказывается на синтаксисе заголовка функции в `m`-файле. Но в теле функции возникает необходимость контролировать фактическое существование и соответствие определенному типу входных параметров. Начиная с версии 2007, в `MatLab` введены стандартные функции, помогающие программисту выполнять эти операции в теле объявляемой им нестандартной функции.

Стандартные функции, предоставляемые разработчиками `MatLab`, используются как обязательные, так и необязательные параметры и опции во всех возможных сочетаниях. Этим и объясняется многообразие вариантов вызова стандартных функций в зависимости от задачи, для решения которой они используются.

Анализ возможностей `MatLab` и приобретение личных навыков создания и использования нестандартных функций с переменным количеством параметров позволяет программисту увеличить гибкость и широту их применения. Приобретенный в результате этого опыт, в свою очередь, положительно отражается на корректности использования не только нестандартных, но и стандартных функций, предоставляемых разработчиками `MatLab`. Поэтому в преподавании `MatLab` студентам физико-математических и технических специальностей необходимо уделять внимание созданию и использованию функций, которые можно вызывать с переменным количеством параметров, например, на факультативных занятиях. Из приведенных выше примеров видно, что такое обучение может быть начато уже на младших курсах, так как изложение материала может опираться на несложные по содержанию алгоритмы, идеи которых могут быть предложены как преподавателями, так и самими студентами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Дьяконов В. П. `MATLAB`. Полный самоучитель. М.: ДМК Пресс, 2014. 768 с.
- [2] Ревинская О.Г. Основы программирования в `MatLab`: учеб. пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2016. 208 с.
- [3] Васильев А.Н. `MATLAB`. Самоучитель. Практический подход. 2-е издание. СПб.: Наука и техника, 2015. 448 с.
- [4] Амос, Г. `MATLAB`. Теория и практика. Москва : ДМК Пресс, 2016. 416 с.
- [5] Солонина А.И., Клионский Д.М., Меркучева Т.В., Петров С.Н. Цифровая обработка сигналов и `MATLAB`: учеб. пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 512 с.
- [6] Input and Output Arguments - `MATLAB` & `Simulink` [Электронный ресурс] URL: <http://www.mathworks.com/help/matlab/input-and-output-arguments.html> (дата доступа 27.02.2018)
- [7] Detect state - `MATLAB` `is*` [Электронный ресурс] URL: http://www.mathworks.com/help/matlab/ref/is.html?s_tid=doc_ta (дата доступа 27.02.2018)

Применение технологии дополненной реальности при изучении электротехники

Н.С. Рыженков, В.Н. Тульский, С.В. Борисова
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва

Аннотация — В статье рассматривается технология дополненной реальности применительно к процессу обучения студентов. На примере изучения работы трансформатора показано применение данного подхода при разработке учебных пособий и методических материалов. Разработано мобильное приложение для смартфона с операционной системой Android, которое с помощью дополненной реальности визуализирует работу трансформатора. С помощью анимации и 3D моделей показаны происходящие физические процессы.

Ключевые слова — дополненная реальность, трансформатор, электротехника, мобильное приложение, 3D модели.

I. ВВЕДЕНИЕ

Дополненная реальность — это технология, с помощью которой реальные объекты приобретают новые качества. [1]. Технологии дополненной реальности применяются в различных сферах нашей жизни, например, в медицине, военной технике, компьютерных играх, полиграфии, авиационной и автомобильной промышленности. Так при использовании смартфона и наведении его на здание на экран может выводиться стоимость съемного жилья. Существуют приложения, которые позволяют измерять размеры объектов. Возможно разнообразное применения дополненной реальности в дизайнерском деле и т.д.

Дополненная реальность является перспективным направлением в информационных технологиях, и в современных смартфонах она уже внедрена. Технология дополненной реальности постоянно совершенствуется, добавляя все больше возможностей для правдоподобного представления виртуальных объектов.

В настоящее время применение технологии дополненной реальности для изучения устройств и явлений является новым подходом в обучении. Использование дополненной реальности в учебном процессе повышает уровень восприятия и запоминания материала. В перспективе дополненная реальность может стать одним из эффективных способов быстрой и качественной подготовки профессиональных кадров.

Представленная работа является результатом сотрудничества кафедры Вычислительных машин, систем и сетей и кафедры Электроэнергетических систем

Национального исследовательского университета «МЭИ». Поставленная задача заключается в создании мобильного приложения с использованием дополненной реальностью для повышения наглядности при изучении работы трансформатора для студентов направления «Электроэнергетика и электротехника».

В электротехнике существует большое количество объектов, работу которых можно показать с помощью приложения с применением дополненной реальности. От простой цепи, содержащей источник тока и сопротивление, демонстрирующей закон Ома, до сложных устройств, таких как трансформатор.

Особенно актуально «оживлять» схемы в книгах и пособиях по электротехнике. Студент, ознакомившись с текстом в учебнике, наведя смартфон или планшет на схему в соответствующем параграфе, может наблюдать как изменяются направления и значение токов и напряжений. Таким образом, приложение дополняет учебник и помогает студенту глубже понять текущий процесс, более полно представить образ происходящего процесса и полностью выстроить модель текущего процесса в своём сознании.

На Рис. 1 представлена типовая схема трансформатора. Данная схема показывает только функциональные связи между составляющими. При наведении смартфона (планшета) на рисунок, который является меткой для программы, на экране устройства появляется 3D модель трансформатора (Рис. 2).

С помощью экранных кнопок можно менять параметры схемы и наблюдать на модели, происходящие в цепи изменения.

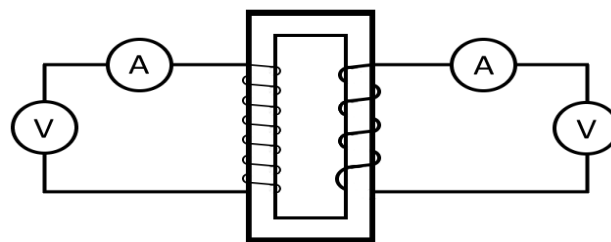


Рис. 1. Типовая схема трансформатора.

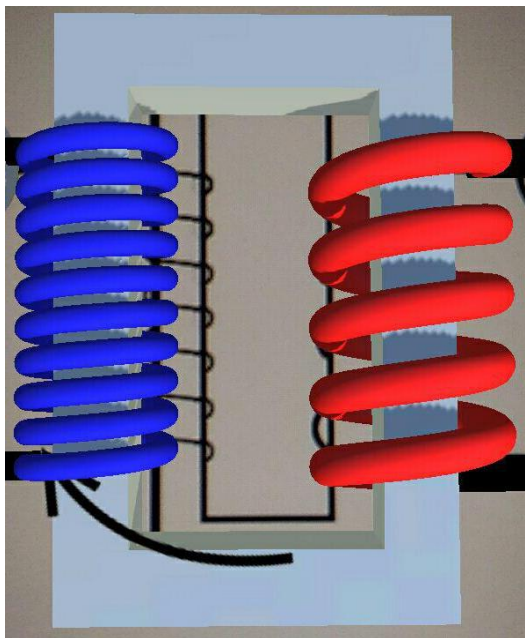


Рис. 2. 3D модель трансформатора

II. ВЫБОР ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ ПРИЛОЖЕНИЯ

На первом этапе работы необходимо было выбрать операционную систему и инструментарий для дополненной реальности.

На рынке мобильных операционных систем преобладают две системы: Android и iOS. Для этих операционных систем существуют инструментарий, который позволяет разрабатывать приложения с дополненной реальностью. По статистическим данным агентства Statcounter в России доля владельцев смартфонов с операционной системой Android составляет 70%. В результате была выбрана операционная система Android. В перспективе предполагается конвертировать данное приложение на iOS.

В настоящее время выбор инструментария для дополненной реальности большой (ARCore, ARToolKit, EasyAR, Kudan, Maxst, Vuforia, Xzing). Каждый из них отвечает своему назначению. Остановимся подробнее на двух технологиях: Vuforia и ARCore.

Vuforia (SDK AR Vuforia) служит «цифровым глазом» внутри приложения, которое обнаруживает метки. В качестве метки могут служить различные изображения, например, геометрические фигуры, QR — коды и т.п. Объекты дополненной реальности должны быть размещены таким образом, чтобы восприятие их было реалистичным для пользователя [2].

ARCore может отслеживать движение, распознавать окружающую среду и оценивать освещение, но эта платформа подходит для ограниченного количества смартфонов.

Для разработки приложения было выбрано SDK Vuforia, т.к. его функционал достаточен для реализации приложения. Кроме того, Vuforia поддерживается большим количеством мобильных устройств.

При выборе среды разработки сравнивались Unity и Unreal Engine.

Unity — это инструмент для разработки двух- и трёхмерных приложений и игр, работающий под операционными системами Windows, Linux и OS X. Созданные с помощью Unity приложения работают под операционными системами Windows, OS X, Windows Phone, Android, Apple iOS, Linux [3]. Редактор Unity имеет простой Drag&Drop интерфейс, который легко настраивать. Он состоит из различных окон, благодаря чему можно производить отладку приложения прямо в редакторе. Движок поддерживает два скриптовых языка: C#, JavaScript [4].

Unreal Engine — игровой движок, разрабатываемый и поддерживаемый компанией Epic Games. Написанный на языке C++, движок позволяет создавать игры для большинства операционных систем и платформ.

Определяющим фактором выбора среды разработки являлось то, какие инструменты разработки поддерживает каждая из рассматриваемых сред.

Unity поддерживает SDK Vuforia и ARcore, а Unreal Engine поддерживает ARkit и ARcore. В связи с тем, что используется Vuforia выбор сделан в пользу Unity [5].

Для построения 3D модели трансформатора использовалась программа Blender. Blender является мощной и многофункциональной программой для создания трехмерной компьютерной графики, которая распространяется бесплатно [6].

Характерной особенностью пакета Blender является его небольшой размер по сравнению с другими популярными пакетами для 3D моделирования. Основные функции пакета включают в себя поддержку разнообразных геометрических примитивов, универсальные встроенные механизмы рендеринга, инструменты анимации, базовые функции нелинейного редактирования и комбинирования видео и другие.

Для создания 3D модели обмотки трансформатора (катушки индуктивности) используется примитив «круг». Далее с помощью встроенного модификатора Screw, прокручивается круг вокруг точки — получается тор. После этого поле screw превращает тор в один сегмент катушки (Рис. 3).

Для создания полноценной катушки, используется поле Iterations. Она повторяет сегмент и ставит его сразу после предыдущего. Окончательный результат показан на Рис. 4. 3D модель сердечника трансформатора показана на Рис. 5.

Разработанное приложение тестировалось на смартфоне с операционной системой Android.

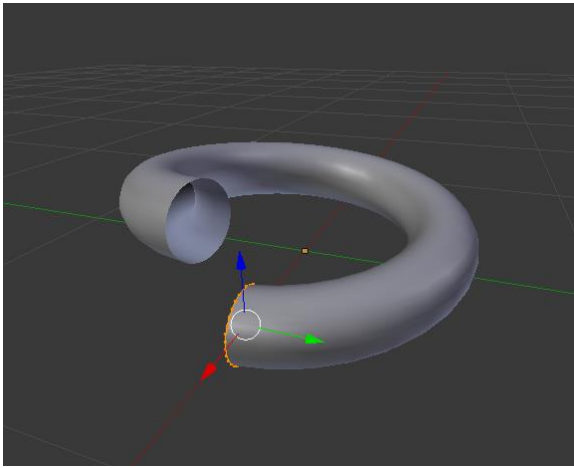


Рис. 3. Один сегмент катушки

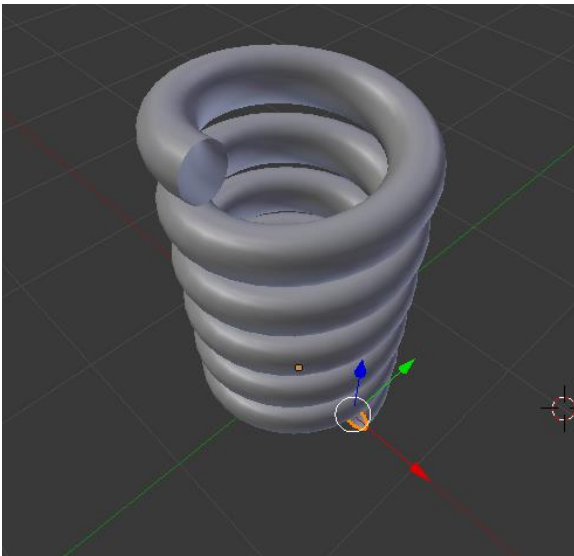


Рис. 4. 3D модель обмотки трансформатора

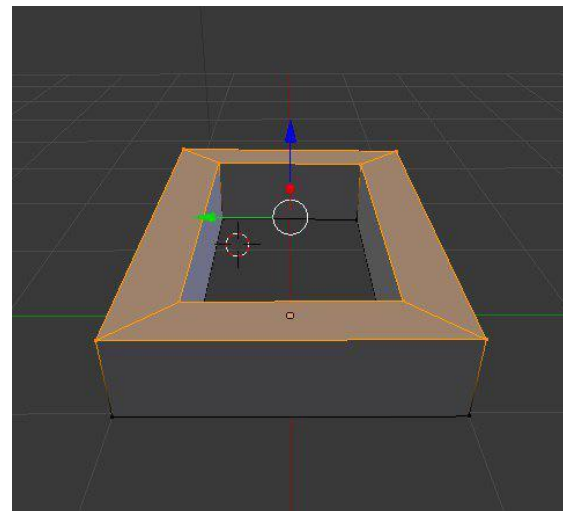


Рис. 5. 3D модель сердечника трансформатора.

III. ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ПРИЛОЖЕНИЯ

Известно, что трансформатор — это статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно-связанные обмотки и предназначенное для преобразования переменного тока посредством электромагнитной индукции [7].

Преобразование зависит от отношения количества витков в первичной и вторичной обмотках. Например, если количество витков у вторичной обмотки больше, то выше будет напряжение, наведенное в ней, но при этом ток будет меньше во столько же раз. Поэтому мощность в первичной обмотке равна мощности во вторичной обмотке. В итоге затраты передачи напряжения уменьшаются [8].

Электромагнитная схема однофазного трансформатора состоит из двух обмоток, размещенных на замкнутом магнитопроводе, который выполнен из ферромагнитного материала (Рис. 2).

При подключении к сети в первичной обмотке возникает переменный ток, который создаёт переменный магнитный поток, замыкающийся по магнитопроводу. Поток индуцирует в обеих обмотках переменные ЭДС.

При первом наведении на метку (схема трансформатора, Рис. 1) на экране мобильного устройства появляется 3D модель трансформатора.

В центре расположен четырехугольный сердечник. На сердечник намотаны две обмотки, одна из которых плотная и из тонкого провода, а другая неплотная и из провода большего сечения. Для большей наглядности первичная обмотка выделена синим цветом, а вторичная красным,

Над сердечником расположена стрелка, показывающая в каждый отдельный момент времени направления силовых линий магнитного поля, зависящих от направления тока в первичной обмотке. К обмотке подключены приборы, которые показывают направление тока и напряжение в цепи.

На лицевой стороне прибора в верхней части находится буква А или V, идентифицирующая прибор. В нижней части с помощью вытянутого красного прямоугольника показывается направления тока. Если он находится в правой части, то ток течет направо. К первичной обмотке с левой стороны подключен генератор тока. На рисунке генератор представлен кнопкой в виде куба со стрелкой.

Приложение позволяет рассмотреть подробно отдельные части схемы. Если в цепи течет переменный ток, то в другой рядом лежащей изолированной цепи наводится напряжение со сдвигом фаз.

В первоначальном состоянии ток в первичной обмотке течет слева направо, а во вторичной справа налево. Стрелка, изображающая направления силовых линий магнитного поля, движется при этом по часовой стрелке.

При нажатии на кнопку, условно имитирующую генератор тока, изменяется направление тока в первичной обмотке на противоположное, при этом стрелка на

изображении генератора также меняет свое направление. Новое направление тока во вторичной обмотке является противоположным направлению в первичной.

С помощью анимации на экране отображаются изменения показаний амперметра и вольтметра (красный прямоугольник перемещается из одной части в другую). А стрелка, изображающая направления силовых линий магнитного поля в обмотках, начинает двигаться против часовой стрелки (Рис. 6).

Показания приборов при направлении магнитных линий против часовой стрелки показаны на Рис. 7.

Логика программы заключается в том, что когда определяется метка, наступает событие распознавание метки. Результатом обработки является отображение 3D модели на схеме.

Для кнопки генератора разработан скрипт, который обрабатывает событие «нажатие на кнопку». В обработчике проверяется, в каком направлении движется стрелка, изображающая поток силовых линий магнитного поля. Для каждого направления выполняется свой алгоритм, запускающий соответствующую анимацию. На Рис. 8 приведен фрагмент кода алгоритма, запускающего соответствующую анимацию.

```

if (spriteRight.activeSelf) {
    arrowTransform.Rotate(0,180,0,Space.World);
    spriteRight.SetActive(false);
    spriteLeft.SetActive(true);

    leftIminObj.SetActive(false);
    leftUminObj.SetActive(false);
    rightImaxObj.SetActive(false);
    rightUmaxObj.SetActive(false);

    leftImaxObj.SetActive(true);
    leftUmaxObj.SetActive(true);
    rightIminObj.SetActive(true);
    rightUminObj.SetActive(true);

    moveLeftU = leftUmaxObj.GetComponent<Animation>();
    moveLeftI = leftImaxObj.GetComponent<Animation>();
    moveRightI = rightIminObj.GetComponent<Animation>();
    moveRightU = rightUminObj.GetComponent<Animation>();

    moveRightU.Play();
    moveRightI.Play();
    moveLeftU.Play();
    moveLeftI.Play();
}
else {

```

Рис. 8. Фрагмент кода алгоритма, запускающего анимацию

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанное мобильное приложение с использованием современной технологии дополненной реальности наглядно и просто демонстрирует работу трансформатора. Проведенное тестирование приложения на смартфоне с ОС Android показало четкую работу, быстрое обнаружение метки (схемы) и появление модели трансформатора на экране мобильного устройства. Основное влияние на качество распознавание метки оказывает освещение и характеристики камеры.

Приложение может использоваться при изучении курса по электротехнике. Визуализация изучаемых схем (объектов), приводит к более эффективной подаче материала и способствует лучшему пониманию студентами принципа работы устройств. В дальнейшем планируется провести разработку визуализации всех рисунков литературного источника по курсу электротехники.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Д.Ю. Калугин, Разработка элективного курса «Дополненная реальность», Новосибирск, 2014, с. 3
- [2] Vuforia: лидер на рынке дополненной реальности объявил о новой версии платформы [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL <https://vrgeek.ru/vuforia/>
- [3] Unity 3D. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL <https://unity3d.com/ru/>.
- [4] Хокинг Дж., «Unity в действии. Мультиплатформенная разработка на C#», СПб, Питер, 2017, с. 20
- [5] Eight best augmented reality SDK for AR development for iOS and Android in 2017. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL <https://thinkmobiles.com/blog/best-ar-sdk-review/>.
- [6] Blender. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.blender.org/>
- [7] Трансформаторы. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <http://model.exponenta.ru/electro/0070.htm>
- [8] Халас И. «Принципикон» Популярная электротехника. Будапешт, Терра, 1958, с. 44

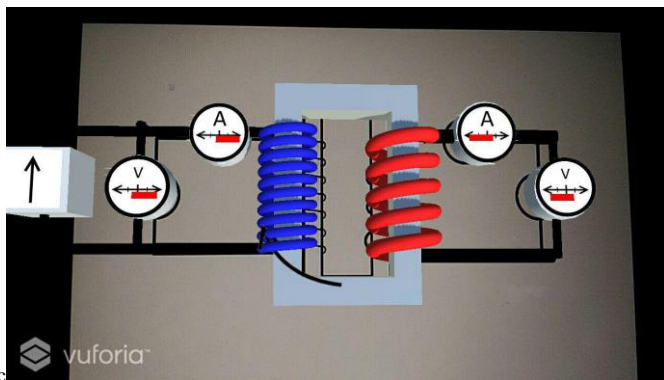


Рис. 6. Показания приборов при направлении магнитных линий по часовой стрелке

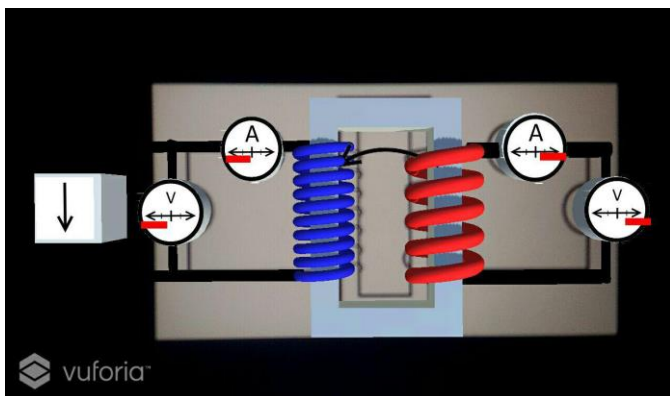


Рис. 7. Показания приборов при направлении магнитных линий против часовой стрелки

Оценка квалификации выпускников ВУЗов на основе нечетких графовых подходов

Николай Сергеев
Кафедра вычислительной техники
Южный федеральный университет, ЮФУ
Таганрог, Россия
e-mail nesergeev@sfedu.ru

Анна Колоденкова
Кафедра информационных технологий
Самарский государственный технический университет,
Самара, Россия
e-mail anna82_42@mail.ru

Евгения Мунтян
Кафедра вычислительной техники
Южный федеральный университет, ЮФУ
Таганрог, Россия
e-mail ermuntyan@sfedu.ru

Аннотация — В статье рассмотрена комплексная оценка квалификации выпускников высших учебных заведений на примере Самарского государственного технического университета (СамГТУ). Используется модель нечеткого гиперграфа, которая учитывает около 50 параметров, влияющих на оценку квалификации выпускника. Модель может рассматриваться с различной степенью подробности. Для изменения масштаба модели применяется алгоритм поглощения гиперграфа с целью сокращения количества параметров (вершин), который работает в режиме реального времени. При этом отмечается обратимость операции поглощения. Выполнен переход от масштабируемой модели к нечеткой когнитивной модели, которая реализована в виде орграфа оценки факторов повышения квалификации выпускника. Рассчитаны системные показатели нечеткой когнитивной модели, позволяющие выявлять, какие из факторов оказывают наибольшее влияние на получение квалификации выпускника, а также оценить степень влияния одного фактора на другой.

Ключевые слова — нечеткая когнитивная модель; алгоритм поглощения; квалификация выпускника; системные показатели модели; нечеткий гиперграф

I. ВВЕДЕНИЕ

Актуальность представленной работы обоснована модернизацией высшего профессионального образования, которая направлена на подготовку квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентирующегося в смежных областях деятельности, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности [1, 2].

Поэтому ВУЗам целесообразно разрабатывать и применять инновационные технологии с тем, чтобы выпускники уже в процессе обучения формировались как высококвалифицированные, интеллектуальные, профессионально грамотные, успешные специалисты, обладающие мобильностью и способностью освоить новые знания, овладеть новыми умениями в короткие сроки. Это в свою очередь приводит к тому, что необходимо постоянно отслеживать качество образовательных услуг, оценки конкурентоспособности на рынке труда, а также квалификации выпускников ВУЗов. Данная работа выполнена по заказу Института автоматизации и информационных технологий СамГТУ.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исследованию вопросов оценки квалификации выпускников ВУЗов посвящены научные работы многих отечественных и зарубежных авторов. Однако, несмотря на значительное число работ, данная проблема до сих пор остается открытой. Во-первых, в разработанных методиках недостаточно внимания уделяется практической составляющей обучения для приобретения опыта будущего выпускника в реальных условиях; во-вторых, в некоторых моделях рассматриваются лишь отдельные знания по той или иной дисциплине; в-третьих, во многих моделях используются показатели потенциала и результативности выпускника, при этом не учитываются личные его качества [3-5]. В результате существующие модели недостаточно эффективны и не вызывают доверия со стороны работодателей, поскольку в них учитываются не все факторы, влияющие на формирование готовности выпускников к будущей профессиональной деятельности. Это приводит в большинстве случаев к не соответствию квалификациям, действующим на рынке труда.

Проблема оценки квалификации выпускников обуславливает необходимость разработки такой модели, которая учитывала бы максимальное количество факторов (например, личностный, экономический, информационный), влияющих на объективную оценку профессиональной подготовки и уровня квалификации выпускников, потребности и возможности конкретного выпускника.

Анализ существующих моделей показал, что чаще всего используются графовые подходы. В связи с этим в настоящей работе для оценки квалификации выпускников ВУЗов предлагается использовать графово-гиперграфовые подходы и аппарат нечеткого когнитивного моделирования в условиях неопределенности.

III. ФОРМАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ ГИПЕРГРАФА

Для оценки квалификации выпускника удобно использовать нечеткие гиперграфовые модели. Всего авторами выделено 48 параметров, которые оказывают влияние на формирование квалификации выпускника. Такой гиперграф будет содержать около 50 вершин по количеству параметров. Однако при работе с ним возникает проблема наглядности модели, поэтому целесообразно сократить количество вершин модели до 10-15 без потери информации. Для этого необходимо выделить в общем количестве параметров группы факторов, каждый из которых может объединять ряд подфакторов.

Из общего количества параметров выделено 9 групп факторов, влияющих на формирование готовности выпускников к будущей профессиональной деятельности в процессе обучения: 1 – организационный (определяет уровень организации всех видов деятельности обучающихся в образовательном учреждении); 2 – личностный (определяет наличие личностных качеств и особенностей обучающихся, направленных на успешность в профессии); 3 – социальный (отображает уровень социального положения студента); 4 – экономический (определяет соответствие экономического уровня развития региона с учетом востребованности специалистов); 5 – качественный (оценка качества всех видов деятельности студента в ВУЗе); 6 – коммуникативный (отражает коммуникативные возможности обучающегося); 7 – информационный (демонстрирует возможности студента в получении современной IT-информации); 8 – материально-технический (определяет уровень материально-технического обеспечения образовательной программы или учреждения); 9 – профессионально-педагогический (отражает уровень профессиональных и педагогических качеств научно-педагогических кадров ВУЗа).

Следует отметить, что факторы, подфакторы и связи выделены авторами для демонстрации предложенного инструментария и не являются точными с точки зрения смежных наук (социологии, психологии и т.д.).

На первоначальном этапе моделирования все вершины-подфакторы гиперграфа оказывают влияние на

модель. Для минимизации вершин гиперграфа предлагается использование алгоритма поглощения (свертки) графа [6].

Таким образом, будем использовать нечеткий гиперграф $H = (Hv, He)$, где $Hv = \{<i, s, \eta_{i,s}>\}$ – множество вершин гиперграфа с их весами, $i = 1, h$, h – количество вершин-факторов, $s = 1, n$, n – количество вершин-подфакторов, $\eta_{i,s}$ – вес вершины; $He = \{<e, \mu_e>\}$ – множество связей графа, также с их весами, $e = 1, m$, m – количество связей подграфа, μ_e – вес связи.

Механизм поглощения с возможностью восстановления (разворачивания) гиперграфа заключается в последовательном сворачивании вершин с сохранением его свернутой части. Ниже приведен сам алгоритм поглощения графа и рассмотрен пример его использования для трех факторов.

IV. АЛГОРИТМ ПОГЛОЩЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ГИПЕРГРАФА H'

Суть алгоритма поглощения графа заключается в разделении графа на кластеры разных уровней определенным способом, представлении каждого кластера графа в виде списков ребер и поглощении текущего кластера кластером следующего уровня. Алгоритм поглощения графа состоит из ряда последовательных шагов и представлен ниже.

Введем обозначения: $Nodes = \{Nodes_i | i = 1 \dots (n - 1)\}$ – множество всех доступных вершин графа; i – номер вершины графа; $cNode$ – исходная вершина графа; $Cluster_k$ – кластер k -го уровня; $Neighbors$ – множество соседних вершин для $cNode$; C – количество соседних вершин; $Cons(x)$ – функция объединения или составления списка x ; $hd(x)$ – оператор, обозначающий начало (заголовок) списка x ; $tl(x)$ – оператор, обозначающий хвост списка x .

Алгоритм поглощения графа состоит из восьми шагов:

Шаг 1. Задается уровень кластера ($k = 0$);

Шаг 2. Определяется исходная вершина графа для свертки ($cNode = Nodes_i$);

Шаг 3. Выполняется функция поиска соседних вершин $Neighbors$ для вершины $cNode$ ($C = getNeighbors(cNode)$);

Шаг 4. Проверяется условие:

Если $C \neq 0$, то $k = k + 1$ – переход к шагу 5;

Если $C = 0$, то переход к шагу 8;

Шаг 5. Определяется кластер k -го уровня как совокупность исходной вершины $cNode$ и ее соседей $Neighbors(cNode)$, при этом кластер является списком $Cluster_k = cons(cNode, Neighbors(cNode))$,

где $hd(Cluster_k) = cNode$, $tl(Cluster_k) = Neighbors(cNode)$;

Шаг 6. Объединяются вершины кластера k -го уровня в вершину $cNode$ ($cNode = Cluster_k$), получая тем самым новую исходную вершину $cNode$;

Шаг 7. Возврат к шагу 4;

Шаг 8. Завершение работы алгоритма.

Отметим, что работа алгоритма происходит в режиме реального времени. Для демонстрации работы алгоритма рассмотрим пример нечеткого гиперграфа H , объединяющего факторы 2, 3 и 6 (рис. 1). Пусть в качестве вершин H выступают подфакторы 2.1 – активность студента, 2.2 – его вовлеченность и 2.3 – целенаправленность; 3.1 – социальное положение родителей, 3.2 – уровень образования родителей; 6.1 – отношения между обучающимися, 6.2 – владение коммуникативными навыками, 6.3 – навыки работы в коллективе.

В нашем случае нечеткий гиперграф $H = (Hv, He)$ задан:

- множеством вершин гиперграфа $Hv = \{Gv_2, Gv_3, Gv_6\}$, где $Gv_2 = \{<2.1, \eta_{2.1}>, <2.2, \eta_{2.2}>, <2.3, \eta_{2.3}>\}$, $Gv_3 = \{<3.1, \eta_{3.1}>, <3.2, \eta_{3.2}>\}$, $Gv_6 = \{<6.1, \eta_{6.1}>, <6.2, \eta_{6.2}>, <6.3, \eta_{6.3}>\}$ – подмножества вершин гиперграфа, объединенных ребрами из He ;
- множеством связей гиперграфа $He = \{Ge_2, Ge_3, Ge_6, Ge^*, He^*\}$, где $Ge_3 = \{<9, \mu_9>\}$, $Ge_2 = \{<1, \mu_1>, <12, \mu_{12}>, <13, \mu_{13}>\}$, $Ge_6 = \{<5, \mu_5>, <7, \mu_7>, <8, \mu_8>, <14, \mu_{14}>\}$ – подмножества внутренних связей между вершинами, объединенных одинаковыми ребрами гиперграфа; $Ge^* = \{<4^*, \mu_{4^*}>, <10^*, \mu_{10^*}>, <11^*, \mu_{11^*}>\}$ – подмножества внешних связей между вершинами, объединенных разными ребрами гиперграфа; $He^* = \{2, 3, 6, 15, 16\}$ – подмножество ребер гиперграфа и связей между ними.

В отдельное подмножество Ge^* выделены связи, соединяющие вершины из разных подмножеств. Это обусловлено необходимостью сохранения связей между подмножествами в процессе работы алгоритма поглощения.

К атрибутам вершины могут относиться значения: номер вершины, ее тип (фактор или подфактор), весовой коэффициент и др. Под атрибутами связи следует рассматривать параметры: номер, ориентация, вес и тип связи (исходная связь или измененная в процессе поглощения вершин) и т.д. О типах связи подробнее будет сказано ниже.

Весовым коэффициентам вершин и связей ($\eta_{i.s}$ и μ_e) придается смысл достоверности или степени принадлежности нечеткому множеству. Степени принадлежности присутствуют в матрице инцидентности, либо в списках, задающих гиперграф [7-9]. Они могут быть постоянными либо вычисляемыми по функциям принадлежности нечетких, либо лингвистических переменных. В качестве веса вершины гиперграфа $\eta_{i.s}$ может выступать мера точности субъективного представления о подфакторе. В тоже время вес связи μ_e может означать степень достоверность (уверенности) влияния одного подфактора (состояния) на другой. Значения обоих весовых коэффициентов находятся в заданных пределах $\eta_{i.s} \in [0; 1]$ и $\mu_e \in [0; 1]$.

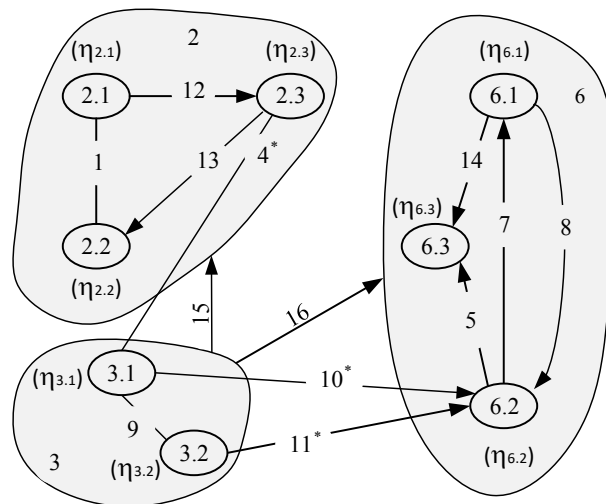


Рис. 1. Пример гиперграфа H , раскрывающего факторы 2, 3 и 6

В гиперграфе H имеет место сочетание ориентированных и неориентированных связей между вершинами. Рассмотрим смысловое значение таких связей. Например, сочетание двух ориентированных связей между парой соседних вершин. Будем считать, что владение коммуникативными навыками (вершина 6.2) влияет на отношения между обучающимися (вершина 6.1) со степенью достоверности μ_7 , в тоже время имеет место обратная связь (отношения между обучающимися развивают его коммуникативные навыки с показателем μ_8). В тоже время неориентированной связи 1 придается смысл взаимного влияния подфакторов активности и вовлеченности студента (вершины 2.1 и 2.2) со степенью достоверностью μ_1 .

Гиперграф H может быть представлен списком ребер:

$X_p(H) = (2.1: 2.2, [1]), (2.1: 2.3, [12]), (2.2: 2.1, [1]), (2.3: 2.2, [13]), (3.1: 3.2, [9]), (3.2: 3.1, [9]), (6.1: 6.3, [14]), (6.1: 6.2, [8]), (6.2: 6.1, [7]), (6.2: 6.3, [5]), (2.3: 3.1, [4^*]), (3.1: 2.3, [4^*]), (3.1: 6.2, [10^*]), (3.2: 6.2, [11^*]), ([2]: 2.1, 2.2, 2.3), ([3]: 3.1, 3.2), ([6]: 6.1, 6.2, 6.3), ([3]: [2], [15]), ([3]: [6], [16]),$

где используются элементы разного вида, например,

- запись элемента списка графа $(2.1: 2.3, [12])$ означает, что связь 12 со степенью достоверности μ_{12} соединяет вершину 2.1 с весом $\eta_{2.1}$ и вершину 2.3 с весом $\eta_{2.3}$;
- запись элемента списка гиперграфа $([6]: 6.1, 6.2, 6.3)$ означает, что ребро гиперграфа 6 соединяет вершины 6.1, 6.2, 6.3;
- запись элемента списка гиперграфа $([3]: [6], [16])$ демонстрирует связь 16 между ребрами гиперграфа 3 и 6.

При этом, следует отметить, что в записи элементов списка информация, относящаяся к связям между вершинами графа или ребрам гиперграфа, взята в квадратные скобки, а информация о вершинах – без скобок.

Поглощение гиперграфа H будет выполняться внутри подмножеств вершин, объединенных ребрами гиперграфа 2, 3 и 6. Опишем этапы поглощения.

1 этап. Поглощение вершин и связей фактора 6. Кластер 1-го уровня ($k=1$).

Для исходной вершины $cNode = 6.2$ определяется множество соседних вершин $Neighbors = \{6.1, 6.3\}$. Вершины 6.1-6.3 относятся к одному фактору, поэтому поглощаются в вершину 6.

При этом свернутые вершины и связи будут храниться в виде списков ребер:

$X_p^6 = (6.1: 6.3, [14]), (6.1: 6.2, [8]), (6.2: 6.1, [7]), (6.2: 6.3, [5])$.

Связи 4^* , 10^* и 11^* являются внешними связями между факторами и не должны быть поглощены. Но, при этом смысловое значение таких связей меняется в результате операции поглощения инцидентных ей вершин. Например, связь 10^* между вершинами 3.1 и 6.2 может означать, что социальное положение родителей субъекта способствует развитию его коммуникативных навыков с достоверностью μ_{10} . В результате поглощения вершины 6.2 в вершину 6, новая связь может означать влияние вершины 3.1 на один из подфакторов вершины 6.

2 этап. Поглощение вершин и связей фактора 3. Кластер 2-го уровня ($k=2$).

Если $cNode = 3.1$, то $Neighbor = \{6, 3.2, 2.3\}$. Вершины 6 и 2.3 не относятся к фактору 3, поэтому они и связи с ними не могут быть поглощены в вершину 3. Результат поглощения в виде списков:

$X_p^3 = (3.2: 3.1, [9]), (3.1: 3.2, [9])$.

3 этап. Поглощение вершин и связей фактора 2. Кластер 3-го уровня ($k=3$).

Для $cNode = 2.1$ $Neighbors = \{2.2, 2.3\}$. Результат поглощения в виде списков:

$X_p^2 = (2.1: 2.2, [1]), (2.1: 2.3, [12]), (2.2: 2.1, [1]), (2.3: 2.2, [13])$.

На рис. 2а изображен гиперграф H после 3-х этапов поглощения. В результате поглощения могут иметь место множественные связи между вершинами, например, 10^* и 11^* . В этом случае предлагается выполнить замену множественных связей на одну « 10^* , 11^* » с сохранением информации о них. Аналогично выполнив замену всех остальных множественных связей, получим граф, изображенный на рис. 2б. В нашем случае связи, полученные объединением множественных связей, например, 3-2 и 3-6, в дальнейшем будем называть причинно-следственными связями.

В нашем случае процесс поглощения обратим, поскольку для хранения свернутых вершин и связей используются списки. Это дает возможность сворачивать и разворачивать вершины внутри подмножеств в зависимости от требования масштабируемости модели.

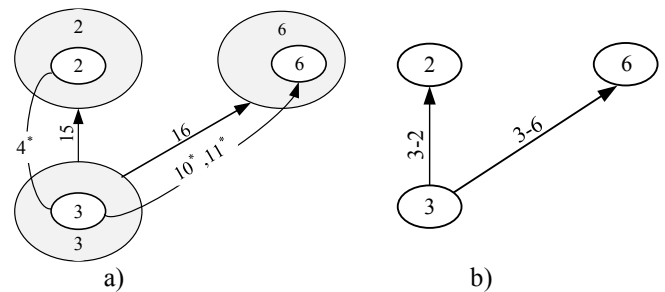


Рис. 2. Гиперграф H после поглощения

Таким образом, в результате поглощения вершин может быть получена модель, где в качестве вершин используются факторы, рассмотренные выше, а в качестве переходов между вершинами – причинно-следственные связи.

Отметим, что модель оценки квалификации выпускников, полученная в результате поглощения вершин, в дальнейшем может быть реализована с помощью графово-гиперграфовый подхода или нечеткого когнитивного моделирования.

В настоящей работе в качестве примера для оценки квалификации выпускников применяется нечеткое когнитивное моделирование, которое дает возможность построения нечетких когнитивных моделей (НКМ), учитывающих такие особенности как: условия неполноты информации, наличие качественной информации, влияние человеческого фактора, что позволит определять всевозможные пути управления ситуацией с целью достижения высокой квалификации выпускников.

V. ПОСТРОЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ КОГНИТИВНОЙ МОДЕЛИ

Под нечеткой когнитивной моделью понимается нечеткая когнитивная карта, в которой вершины представляют факторы, а переходы между вершинами – нечеткие причинно-следственные связи между факторами $G_{неч} = \langle V, W \rangle$, где $V = \{v_i\}$ – множество вершин, $v_i \in V$, $j = 1, h$, h – количество вершин; W – нечеткие причинно-следственные связи между вершинами (w_{ij} элементы характеризуют направление и силу влияния между вершинами v_i и v_j ($w_{ij} \in W$, $j = 1, h$) [10, 11].

Отметим, что значения связей между вершинами назначаются экспертами на основе предыдущего опыта, что диктуется предметной областью и обусловлено отсутствием точных количественных исходных данных и каких-либо других способов получения информации.

Сбор и анализ информации из открытых источников привел к определению факторов модели, с помощью экспертов разработана НКМ оценки факторов повышения квалификации выпускника рис. 3.

Из рис. 3 видно, что к 9 вершинам, соответствующих группам факторов, добавлены еще три дополнительные вершины: v_{10} – квалификация выпускника; v_{11} – трудоустройство выпускника; v_{12} – успешность выпускника в профессии.

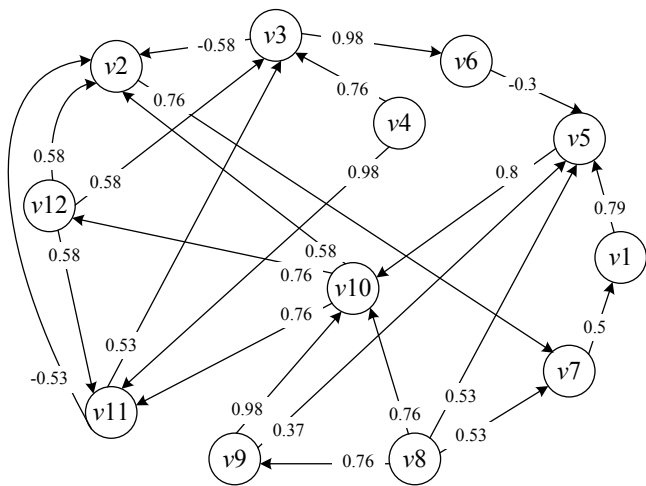


Рис. 3. Нечеткая когнитивная модель оценки факторов повышения квалификации выпускника

Заметим, что пока работа не ведется с НКМ как с математической моделью, оперируем понятием «факторы», «концепты». Как только началась работа с НКМ, оперируем понятием «вершина».

Для установления причинно-следственных связей была определена шкала оценки характера связей и силы связей между вершинами, где вербальному описанию связи присваивается число в интервале от $[-1; 1]$, которая описана в работе [12].

VI. АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ НЕЧЕТКОЙ КОГНИТИВНОЙ МОДЕЛИ

Расчет основных системных показателей НКМ [12, 13] производился с использованием программной системы [14], результаты которых представлены в табл. 1.

Таблица 1. СИСТЕМНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ ВЕРШИН И СИСТЕМЫ

	Консонанс влияния вершины на систему	Консонанс влияния системы на вершины	Диссонанс влияния вершины на систему	Диссонанс влияния системы на вершины	Влияние вершины на систему	Влияние системы на вершины
v_1	0.68	0.45	0.32	0.55	0.33	0.12
v_2	0.79	0.33	0.21	0.67	0.21	0.13
v_3	0.82	0.81	0.18	0.19	-0.11	0.31
v_4	0.82	0.74	0.18	0.26	0.06	0.17
v_5	0.63	0.6	0.37	0.4	0.36	0.16
v_6	0.68	0.81	0.32	0.19	-0.12	0.4
v_7	0.74	0.41	0.26	0.59	0.21	0.17
v_8	0.7	1	0.3	0	0.46	0
v_9	0.66	1	0.34	0	0.45	0.06
v_{10}	0.57	0.69	0.43	0.31	0.37	0.27
v_{11}	0.84	0.8	0.16	0.2	-0.05	0.39
v_{12}	0.43	0.75	0.57	0.25	0.29	0.27

Из табл. 1 видно, что наибольшее положительное влияние на систему оказывают $v_8(0.46)$, $v_9(0.45)$, при этом они практически не испытывают сильного влияния со стороны системы. Чуть меньше положительное влияние на систему оказывают $v_{10}(0.37)$, $v_5(0.36)$, $v_1(0.33)$. Влияя на вышеперечисленные вершины, можно «повернуть» всю систему в положительную сторону.

Наибольшему влиянию со стороны системы подвержены $v_{11}(0.39)$ и $v_6(0.4)$. Высока вероятность того, что влияние системы на эти вершины способно погасить любое отрицательное воздействие извне.

Консонанс влияния вершины v_{12} на НКМ низкий (0.43), а диссонанс влияния вершины v_{12} на НКМ достаточно высокий (0.75), например, из-за несоответствия прошлого опыта настоящей ситуации. Это говорит о том, что эксперту необходимо рассмотреть все возможные связи данной вершины с другими вершинами.

Также исследования показали, что консонанс большинства влияний вершин высокий, поскольку близок 1 и позволяет сделать вывод о достоверности итоговых влияний вершин друг на друга. Уровень доверия к полученному значению итогового влияния вершины v_{12} на v_4 , v_5 , v_{10} низкий, на что и указывает малое значение консонанса (0.01). Эксперту рекомендуется согласовать присутствие вершины v_{12} в моделируемой НКМ.

Наибольшее положительное влияние на вершину v_{10} оказывают вершины $v_9(0.98)$, $v_5(0.8)$, $v_8(0.76)$ и $v_1(0.63)$. Наибольшее положительное влияние на вершину v_{11} оказывают вершины $v_4(0.98)$, $v_{10}(0.76)$, $v_9(0.74)$ и $v_5(0.61)$. Таким образом, если уделять особое внимание вершинам v_5 и v_9 , то можно повысить квалификацию выпускника в условиях высокой неопределенности.

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка квалификации выпускников СамГТУ была проведена на базе НКМ, полученной в результате перехода, в основе которого лежит алгоритм поглощения гиперграфа с целью сокращения количества вершин в модели. Новизна предложенного алгоритма заключается в возможности его использования при планировании и управлении как одиночными объектами, так и группой объектов. В случае наличия группы управляемых объектов задача построения графа (гиперграфа) может быть распределена между ними с представлением поглощенных вершин в виде списков.

Для получения информации о неявных взаимных влияниях между факторами был проведен анализ структуры НКМ с помощью расчета системных показателей модели, который позволил выявить, какие из факторов оказывают наибольшее влияние на получение квалификации выпускника, а также оценить степень влияния одного фактора на другой. Полученная информация позволит эксперту улучшить процесс качества подготовки студентов, с возможностью их дальнейшего гарантированного трудоустройства.

Результат анализа структуры НКМ показал, что на квалификацию выпускника очень сильное влияние оказывают факторы: профессионально-педагогический, качественный, материально-технический и организационный. Таким образом, если уделять особое внимание перечисленным факторам, можно повысить квалификацию выпускника в условиях высокой неопределенности.

В тоже время на трудоустройство выпускника влияют: экономический уровень развития региона, квалификация выпускника, уровень профессиональных и педагогических качеств научно-педагогических кадров ВУЗа качественный фактор деятельности студента в ВУЗе. Апробация данной модели предполагается для оценки квалификации студентов выпускного курса программ подготовки бакалавриата Института автоматки и информационных технологий Самарского государственного технического университета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] "Национальная доктрина образования в Российской Федерации," Высшее образование сегодня, 2001, № 2, С. 2-4.
- [2] О.М. Барбаков, "Постановка задач контроля на виртуальном пространстве результативности инновационных технологий в системе высшего образования Тюменской области," Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика, 2007, № 2, С. 48-50.
- [3] Б.Ч. Месхи, Н.Ф. Ефремова, "Оценивание квалификаций выпускников в сфере безопасности жизнедеятельности," Современные проблемы науки и образования, 2016, № 5, С. 275-283.
- [4] Ю.С. Ризен, А.А. Захарова и М.Г. Минин "Математическое моделирование образовательного процесса в оценке качества деятельности ВУЗа," Информационное общество, 2014, № 3, С. 25-33.
- [5] М.А. Тарасова, "Модель процессов практической подготовки студента в учреждениях ВПО," Инженерное образование, 2015, №17, С. 21-27.
- [6] Н.Е. Сергеев, Е.Р. Мунтян, А.А. Целых и А.Н. Самойлов, "Обобщение графов ситуаций на основе спискового алгоритма свертки для задач ситуационного управления," Известия ЮФУ. Технические науки, 2017, № 3, С. 111-121.
- [7] T. Cormen, Ch. Leiserson and R. Rivest, "Introduction to Algorithms," 1st., MIT Press and McGraw-Hill, 1990.
- [8] J.M. Foster, "List processing," Macdonald: London, 1968, 54 p.
- [9] C. Berge, "Hypergraphs: combinatorics of finite sets," North-Holland, 1989, pp. 255.
- [10] J. Dickerson, B. Kosko, "Virtual worlds as fuzzy cognitive maps," Virtual reality annual international symposium, 1993, pp. 471-477.
- [11] V.B. Silov, "Strategic decision making in fuzzy environment," Moscow: INPRO-RES, 1995, 228 p.
- [12] A.E. Kolodenkova, "The process modeling of project feasibility for information management systems using the fuzzy cognitive models," Herald of computer and information technologies, 2016, № 6, pp. 10-17.
- [13] V.V. Borisov, V.V. Kruglov и A.S. Fedulov, "Fuzzy models and networks," Moscow: Telecom, 2007, 284 p.
- [14] А.Е. Колоденкова, Е.А. Халикова, Свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 2016619666, "Анализ структуры нечеткой когнитивной модели в условиях нечетких исходных данных," Зарег. 25.08.2016, М.: Роспатент, 2016.

Информационные технологии в геометро-графическом образовании инженерных кадров

Столбова Ирина Дмитриевна

Шахова Алевтина Бруновна

Ширинкина Мария Алексеевна

Кафедра дизайна, графики и начертательной геометрии
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
г. Пермь, Россия

Аннотация — Подчеркивается необходимость поиска новых технологий обучения, соответствующих уровню развития информационно-коммуникационных технологий и отвечающих требованиям современных проектных и производственных технологий. Проведен анализ функциональных возможностей информационных технологий при формировании геометро-графических компетенций, происходящем в ходе базовой графической подготовки студентов технического университета. Описано системное использование комплекса информационных технологий при различных формах учебных занятий. Показаны варианты интеграции этих технологий в содержании разделов графической подготовки студентов и обоснована эффективность их использования.

Ключевые слова — *информационные технологии; геометро-графическая компетентность; компьютерная графика; технологии обучения и контроля, информационная среда обучения.*

I. ВВЕДЕНИЕ

В инженерном образовании необходимой составляющей является базовая геометро-графическая подготовка студентов технических университетов, формирующая геометро-графическую компетентность будущих выпускников. Такая подготовка предполагает уровень осознанного применения графических знаний и умений, практический опыт изучения функциональных и конструктивных особенностей технических объектов и практику их конструирования, а также свободное владение навыками работы в современных графических средах проектирования и разработки технической документации [1,2]. В настоящее время в высшем техническом профессиональном образовании реализуется инновационная стратегия комплексной информатизации геометро-графической подготовки, направленной на развитие у студентов актуальных навыков проектирования и конструирования с получением электронных 2-х или 3-х мерных изображений объекта, а также их преобразования (при необходимости) друг в друга [3]. На современном этапе проектирования предпочтение отдается объемному моделированию, так как 3d-модель значительно повышает производительность и качество результатов моделирования, его вариативность и наглядность.

Информационные модели, в том числе 3d геометрические модели, присутствуют практически на всех стадиях создания изделия, но именно электронная модель играет роль первоисточника для его полного жизненного цикла. Такая модель хранится в базе данных проекта и обеспечивает решение инженерных задач при проектировании, производстве, эксплуатации и модернизации объекта.

В связи с этим существенно меняется и роль компьютерной графики в процессе геометро-графического образования студентов [4]. Она становится не только предметом изучения как основного инструмента разработки конструкторской документации, но и средством базового образования, ядром геометро-графической подготовки студентов, позволяющим при дефиците учебного времени интенсифицировать процесс обучения, а также учесть индивидуальные особенности студентов для понимания сложной к усвоению графической информации.

II. МОДЕЛЬ ГЕОМЕТРО-ГРАФИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Основная цель базовой геометро-графической подготовки студентов технических вузов – формирование способностей осуществлять проектно-конструкторскую деятельность в соответствии с запросами сегодняшнего дня. В организации учебной деятельности студентов основной акцент необходимо сделать на использование потенциала современных информационно-коммуникационных технологий, на основе которых должна быть разработана информационная среда обучения для поддержки и контроля качества учебного процесса. Особого внимания требует инструментальная подготовка обучаемых, направленная на широкое использование САД-систем при решении учебных задач и выполнении проектных заданий [5].

На Рис.1 представлена инновационная модель формирования геометро-графической компетентности будущего инженера и актуализирующая роль информационных технологий в обучении.

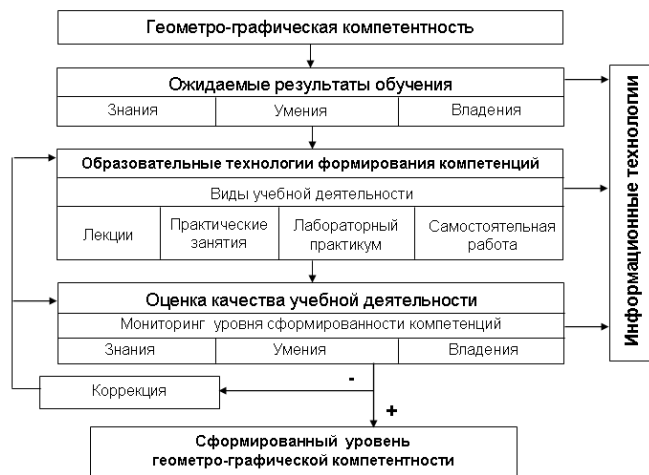


Рис. 1. Модель формирования геометрической компетентности

На уровне целеполагания необходимо ясно сформулировать группу требований к результатам обучения, касающихся инструментальной подготовки обучаемых в области владения САД-системами. Какие знания необходимо довести до понимания студентов в ходе освоения данного раздела? Какие ожидаемые инструментальные умения студенты должны получить в ходе практических занятий и лабораторного практикума? Чем овладеть в ходе выполнения самостоятельных заданий? Какие практико-ориентированные задания помогут оценить уровень сформированности геометрических компетенций у студентов в конце курса обучения?

Как видно из схемы, при реализации разработанной модели практически на всех его этапах обучения используются различные возможности компьютерных технологий. В табл. 1 приведены основные функции информационных технологий, используемых в образовательном процессе.

Таблица 1. Функционал ИТ в процессе обучения

Функция	Назначение в учебном процессе
Познавательная	Инструментальная составляющая геометрической подготовки
Иллюстративная	Наглядное представление графического материала для всех видов учебных занятий
Учебно-эвристическая	Реализация творческих подходов при разработке алгоритмов решения с использованием геометрических задач возможностей компьютерных технологий
Анимационно-технологическая	Помощь в восприятии сложных алгоритмов решения геометрических задач при их динамическом представлении
Контролирующая	Автоматизация контроля результатов обучения на всех этапах учебного процесса
Проектно-конструкторская	Приобретение студентами навыков работы в графических системах САД при выполнении учебных проектов
Справочно-информационная	Работа с электронными библиотеками справочных материалов
Практико-направленная	Использование современных компьютерных технологий проектирования и 3D-моделирование реальных изделий

В соответствии с разработанной моделью геометрической подготовки и определенному функционалу информационных технологий в процессе обучения разработан учебно-методический комплекс, обеспечивающий все формы и виды учебной деятельности при обучении графическим дисциплинам [6]. Данный комплекс представляет собой совокупность отдельных программных разработок для методической поддержки образовательного процесса и функционирования предметно-ориентированной среды формирования геометрической компетентности студентов.

III. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ГЕОМЕТРО-ГРАФИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ СТУДЕНТОВ

Применение информационных технологий в учебном процессе реализуется на всех видах занятий. Основные инструментальные компетенции студенты получают на занятиях по компьютерной графике при выполнении лабораторных работ. По заданному алгоритму студенты строят 3d-модели типовых деталей с набором основных конструктивных элементов (отверстия, пазы, фаски, ребра жесткости, скругления и т. д.), с дальнейшим получением и оформлением ассоциативного чертежа. При изучении темы «Сборочный чертеж» происходит работа с библиотеками стандартных элементов и крепежных изделий. В ходе освоения графического редактора большое внимание уделяется изучению функций редактирования и параметризации, как инструментов, позволяющих оптимизировать процесс проектирования, видоизменять и дорабатывать изделие, а в дальнейшем с целью усовершенствования использовать его в качестве прототипа.

Для углубления приобретенных навыков работы с графическим пакетом самостоятельная работа по выполнению индивидуальных заданий предполагает активное использование полученных инструментальных компетенций. Варианты заданий учебно-методического комплекса по всем изучаемым темам содержат изображение 3d-модели объекта проектирования и дополнительную информацию, необходимую для решения поставленной задачи (Рис.2).

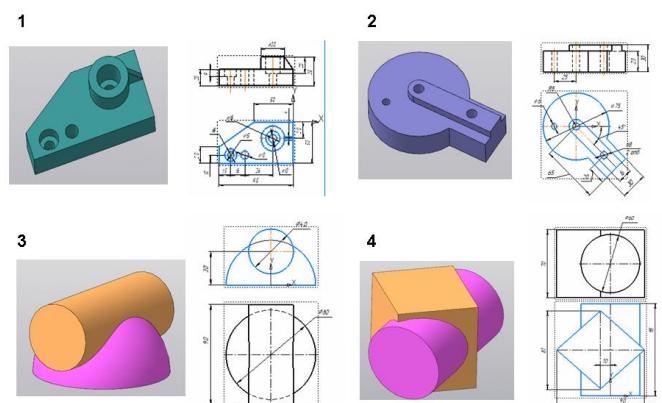


Рис. 2. Примеры вариантов заданий для самостоятельной работы (1, 2 – по теме «Сложные разрезы»; 3,4 – по теме «Пересечение поверхностей»)

Для студентов направлений, осуществляющих подготовку выпускников к проектно-конструкторской деятельности, в рамках геометро-графического образования предусмотрено выполнение курсового проекта. Курсовой проект предполагает разработку в технологии 3d комплекта проектно-конструкторской документации на изделие, соответствующее профилю образовательной программы. Так для химических и горных специальностей студенты выполняют проектирование изделий из ряда трубопроводной арматуры, которая широко используется в данных отраслях промышленности [8].

При выполнении проекта студент проявляет весь набор проектно-конструкторских компетенций, сформированный в процессе прохождения курса геометро-графической подготовки. Целью выполнения курсового проекта является углубление, закрепление и обобщение дисциплинарных знаний, умений, навыков и одновременно приобретение опыта разработки проекта реального изделия из сферы будущей профессиональной деятельности выпускника. При этом ставится задача в процессе проектирования ориентироваться на использование современной технологии 3d-моделирования [7].

Отметим следующие этапы работы над курсовым проектом:

- Знакомство с содержанием технического задания, его анализ, составление алгоритма работы.
- Информационный поиск материала по теме, знакомство с видами трубопроводной арматуры, их назначением и устройством; ознакомление с принципом работы выбранного изделия.
- Выявление структурных аналогов сборочной единицы по назначению и конструктивным особенностям.
- Проработка возможности конструктивных усовершенствований аналога-прототипа и его изменений (например, видоизменение конструкции корпуса, крепление золотника к шпинделю или крышки к корпусу, и т.д.).
- Аналитическое обоснование предполагаемых усовершенствований (например, удешевление изготовления или увеличение ресурса эксплуатации изделия и т.д.).
- Выполнение комплекта проектно-конструкторской документации на сборочную единицу с использованием пакета САПР.
- Создание параметрических 3d-моделей всех оригинальных деталей, входящих в сборочную единицу изделия.
- Создание 3d-модели сборочной единицы в целом, с подбором стандартных деталей из специализированных библиотек и банка имеющихся прототипов.

- Выполнение ассоциативных рабочих чертежей деталей и сборочного чертежа со спецификацией.
- Оформление пояснительной записки с указанием области применения, назначения и принципа действия разрабатываемой сборочной единицы, ее технических характеристик.
- Защита курсового проекта (презентация, доклад).

На начальном этапе студентам предлагается взять в качестве прототипа сборочной единицы любой из объектов запорной арматуры: вентиль, кран, задвижку и т.п., и в соответствии с приведенными этапами разработать комплект конструкторских документов.

Заключительным этапом является защита проекта, в ходе которой идет представление электронной документации на разработанное или модернизированное изделие в виде 3d моделей изделия в целом и его составных частей, а также их ассоциативных чертежей. При защите курсового проекта студент должен продемонстрировать знание конструкции изделия, показать понимание и широкую эрудицию по ряду технических вопросов, касающихся его разработки [8]:

- Технические характеристики изделия.
- Конструктивные особенности.
- Возможности использования разработанного изделия.
- Подбор материалов.
- Последовательность сборки.
- Знание стандартов отрасли и ЕСКД.
- Особенности использованных в процессе проектирования компьютерных технологий.

На Рис. 3 продемонстрирован пример выполненного студентом проекта вентилля – 3d-модель сборки в целом и модели его составных частей.

Приобретение студентами опыта курсового проектирования в системе САПР и реальной проектно-конструкторской деятельности на начальном этапе обучения в рамках базовой геометро-графической подготовки позволит более успешно в дальнейшем, на старших курсах, выполнять курсовые и дипломные проекты, а также участвовать в проектно-конструкторских и исследовательских работах по заказу предприятий.

Кроме контроля практических навыков проектной деятельности, осуществляемой в ходе защиты выполненного проекта проводится также автоматизированный контроль теоретических знаний студентов по ключевым моментам изучаемого материала и практических навыков работы с конструкторской документацией. С этой целью разработана автоматизированная система контроля качества графической подготовки студентов (АСК КГП) [9].

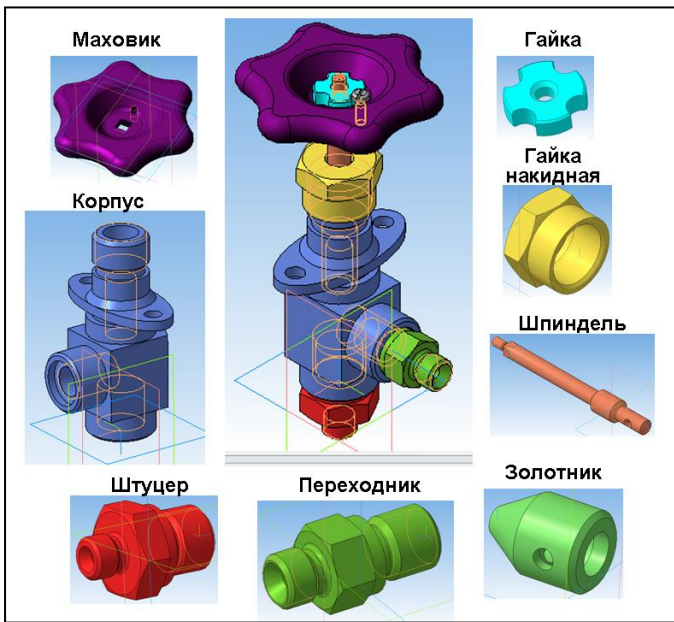


Рис. 3. Пример выполненного проекта: 3d-моделирование вентиля в целом и его составных частей

На Рис. 4 приведен фрагмент автоматизированного контроля по теме «Сборочный чертёж», где студенты должны провести анализ приведенной конструкции по сборочному чертежу изделия и ответить на ряд прилагаемых вопросов.

Ответьте на вопросы по сборочному чертежу "Прижим гидравлический"

Определите общее количество деталей, входящих в подвижный узел

Определите количество резьбовых поверхностей в детали поз. 2

Определите общее количество стандартных крепежных изделий

Изображение какой детали, помимо поз.1, присутствует на всех изображениях конструкции? Укажите номер позиции

Определите количество установочных размеров

Укажите номер позиции деталей, условно не показанных на виде сверху

Определите количество деталей, присутствующих на изображении "А"

Укажите номер позиции нестандартной детали, на которой отсутствует резьба

Определите, видна ли деталь поз. 3 на виде сверху

Рис. 4. Автоматизированный контроль знаний по теме «Анализ конструкции по сборочному чертежу»

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе приведена общая модель геометро-графической подготовки студентов инновационной направленности, ядром которой является использование широкого спектра возможностей компьютерных технологий. Реализация данной модели и учет функциональных особенностей применяемых технологий позволили повысить эффективность образовательного процесса на пути обеспечения качества обучения студентов.

Непрерывное информационное развитие современных технологий проектирования требует своевременного обновления образовательных программ и совершенствования технологий обучения. Безусловно, созданная интегрированная информационная обучающая система, направленная на формирование геометро-графической компетентности будущих специалистов в области техники и технологии, требует новых исследований и дальнейшей адаптации к изменяющимся условиям функционирования проектно-конструкторской деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Амирджанова И.Ю., Виткалов В.Г. Современное состояние развития геометро-графической культуры и компетентности будущих специалистов // Вектор науки ТГУ. 2015. №2-2. С.26-31.
- [2] Тихонов-Бугров Д.Е., Абросимов С.Н. Проектно-конструкторское обучение инженерной графике: вчера, сегодня, завтра // Геометрия и графика. 2015. Т. 3. № 3. С. 47-57.
- [3] Гузнецов В.Н. Преподавание информационных технологий в графических дисциплинах технического университета // Открытое образование. 2013. № 1. С. 4-7.
- [4] Столбова И.Д. Компьютерная графика - основа графической подготовки студентов // В сборнике: ГРАФИКОН'2016 Труды 26-й Международной научной конференции. 2016. С.342-346.
- [5] Столбова И.Д., Александрова Е.П., Носов К.Г. Функционал информационных технологий в геометро-графической подготовке инженера // Открытое образование. 2017. №1. С.59-67.
- [6] Столбова И.Д., Александрова Е.П., Крайнова М.Н., Кочурова Л.В. О создании учебно-методического комплекса для сопровождения графической подготовки студентов // Геометрия и графика. 2015. Т. 3. № 2. С. 29-37.
- [7] Столбова И.Д., Александрова Е.П., Носов К.Г. Графическое образование как составляющая проектно-конструкторской подготовки специалиста // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2017. №3 (240). С.40-46.
- [8] Корнилова Е. В., Шахова А. Б. Курсовое проектирование в курсе «Инженерная графика» // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: традиции и инновации: материалы V Междунар. науч.-практ. интернет-конф. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2015. - С.268-279.
- [9] Кочурова Л.В., Кузнецова Л.А., Столбов О.В., Столбова И.Д. Мониторинг качества графической подготовки на основе системы автоматизированного контроля // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: традиции и инновации. 2017. Т. 1. С. 304-320

Реализация цифровой системы обеспечения учебного процесса вуза на базе электронного кампуса

Султанов М.М., Болдырев И.А., Смирнов А.А.

Филиал НИУ МЭИ в г. Волжском

Волжский, Российская федерация

a.smirnov@vfmei.ru

Аннотация — В статье описывается реализация цифровой информационной системы обеспечения учебного процесса вуза на примере филиала МЭИ в г. Волжском. Показаны аспекты формирования базы данных, описаны интерфейсы автоматизированных рабочих мест преподавателей, сотрудников деканата, учебного отдела, заместителя директора, студентов и др. Указаны функции и последовательности работы с информационной системой.

Ключевые слова — электронная образовательная система; автоматизированные рабочие места; интерфейс преподавателя; электронный кампус; учебный процесс;

I. ВВЕДЕНИЕ

Говоря об информационных образовательных системах, подразумевают целый класс ресурсов, таких как электронные библиотечные системы, приложения для дистанционного обучения, для контроля успеваемости и посещаемости студентов и пр.

С целью обеспечения требований федеральных государственных образовательных стандартов в части наличия электронной информационно-образовательной среды [1], а также при переходе филиала МЭИ в г. Волжском на модульную систему обучения [2], когда один предмет изучается в рамках четырехнедельного модуля, остро встал вопрос повышения эффективности коммуникации студентов и преподавателей, а также активизации и вовлечения студентов в образовательный процесс.

Одним из решений данных проблем является разработка электронной среды, цели которой:

- обеспечить своевременный контроль за успеваемостью студентов, как со стороны ВУЗа так и со стороны студента;
- обеспечить прозрачность образовательного процесса;
- обеспечить качественную коммуникацию студентов и преподавателей в рамках модуля: загрузка методической информации, оповещение студентов о ходе модуля, в виде новостей.

Исходя из целей, были поставлены задачи:

- Разработка единой информационной среды, доступ к которой возможен, как через локальную сеть ВУЗа, так и через сеть Интернет.
- В рамках среды разработать автоматизированные рабочие места (АРМ) преподавателя, студента, работников деканата и учебного отдела, с возможностью входа в систему с помощью персонального логина и пароля.
- Одна из главных задач, стоящая перед разработчиками системы – создание удобных и понятных интерфейсов, чтобы любой пользователь системы, независимо от его технической грамотности, мог легко и безопасно пользоваться ей.

II. СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ

A. Серверная часть

В качестве основного средства разработки серверной части приложения был выбран язык программирования PHP и система управления базой данных на основе MySQL. Данные технологии являются широкодоступными в виду их распространённости и отвечают всем техническим требованиям системы.

В качестве среды для работы приложения был арендован виртуальный сервер с операционной системой CentOS 6.

В качестве веб сервера был выбран nginx для статического контента и apache для динамического.

B. Клиентская часть

Клиентская часть реализована с помощью стандартного стека технологий – html5, css3, javascript. При разработке клиентской части упор был сделан на асинхронное взаимодействие с сервером – все данные, вводимые в АРМ, будь то оценка или пропуск, автоматически передаются на сервер, без перезагрузки страницы. Такой подход позволяет упростить взаимодействие пользователя с системой и приближает его к опыту взаимодействия с бумажными носителями.

Также одной из основных задач перед разработчиками клиенткой части было обеспечение адаптивности верстки к мобильным устройствам.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ

Исходя из поставленных целей и задач командой филиала МЭИ в г. Волжском был разработан электронный кампус (Ecampus), представляющий собой веб-приложение, доступное из локальной сети и сети Интернет. Вход в веб-приложение осуществляется по персональным логинам и паролям. В зависимости от роли пользователя в системе (один пользователь может иметь разные роли), после входа ему становятся доступны интерфейсы АРМ.

A. АРМ преподавателя

АРМ преподавателя выполняет следующие функции:

- Простановка текущей успеваемости и пропусков занятий студентами в рамках модуля.
- Загрузка учебно-методической документации в модуль.
- Информирование студентов в виде сообщений группе, изучающей модуль (новости модуля).
- Задание контрольных точек по видам контроля и привязка их к датам.
- Простановка оценок за экзамен, зачетов, допусков.
- Просмотр и редактирование рабочих программ дисциплин.

Главная страница АРМ Преподавателя, представляет собой интерфейс, который делится на две части – основное окно (Dashboard) и боковое меню. С главной страницы преподаватель может ознакомиться с модулями, которые он ведет в текущем цикле, группами со списком студентов и краткой сводкой их успеваемости и посещаемости. Также с главной страницы АРМ можно отправить сообщение группе и загрузить файлы в модуль. На рисунке 1 отображена часть главной страницы АРМ преподавателя.

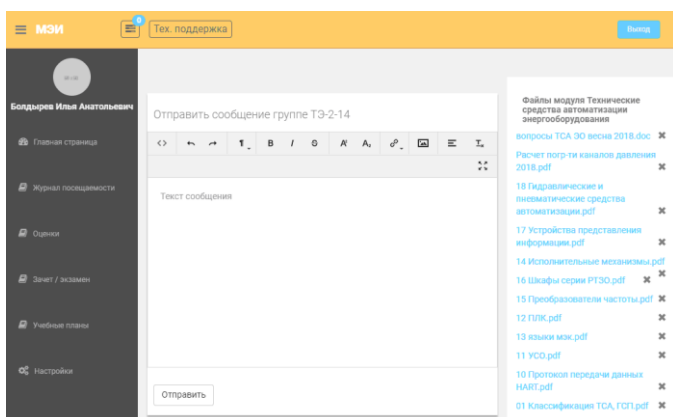


Рис. 1. Главная страница АРМ преподавателя.

Для доступа к другим интерфейсам АРМ преподавателя используется боковое меню. Для простановки пропуска преподавателю достаточно кликнуть в ячейку соответствующего студента и занятия. Никаких дополнительных действий не требуется. На рисунке 2 представлен интерфейс простановки посещаемости.

2018-04-25 | Автоматизация технологических процессов | Группа ТЭ-4-16

#	Имя студента	1	2	3	4
1	Бекметов И.И.	Н	Н	Н	Н
2	Данилова А.А.				
3	Закиров Р.В.	Н	Н	Н	Н
4	Карпенко И.А.				
5	Каталевский Д.М.				
6	Ковтуненко Д.А.				
7	Кузьмин Я.А.				
8	Кулашкин Г.Е.	Н	Н		
9	Латышов К.В.				

Рис. 2. Интерфейс простановки оценок.

Любое действие преподавателя, к примеру простановка пропусков, оценок, зачетов, допусков, фиксируется в базе данных (БД) и подписывается электронной цифровой подписью. Принцип формирования подписи основан на криптографическом алгоритме RSA [3]. При создании нового пользователя формируются два ключа – приватный и публичный. Публичный ключ хранится в базе данных в открытом виде, а приватный шифруется с помощью пароля пользователя. При авторизации пароль пользователя передается в виде sha256 хеша на сервер, и записывается во временную переменную javascript в открытом виде. При удачной авторизации сервер отдает пользователю его приватный ключ в зашифрованном виде. Клиент расшифровывает ключ своим паролем из переменной, удаляет переменную с паролем и записывает ключ в localStorage браузера. При выставлении оценки или пропуска на стороне клиента вычисляется хеш из уникального идентификатора пользователя, величины балла, предмета, даты, идентификатора студента, подписывается приватным ключом и отправляется на сервер. Подлинность подписи проверяется на сервере с помощью вычисления хеша из тех же данных и публичного ключа.

Для защиты от XSS атак, используется двухфакторная система защиты [4]:

1. Все запросы и ответы от базы данных фильтруются на наличие скриптов.

2. Для защиты файлов приложения используется скрипт, сравнивающий хеш приложения в Git репозитории с хешем приложения на сервере. Скрипт установлен на cron и выполняется каждые 30 секунд. При несовпадении хешей скрипт блокирует работу сервиса и рассылает уведомления на электронную почту разработчикам. Изменение работы этого скрипта возможно только при root-доступах к серверу. При авторизации на

сервере под root администраторы системы получают уведомления.

Таким образом, даже при доступе к файловой системе сервера и базе данных, подделать или изменить значения баллов является сложной задачей.

На рисунке 3 представлен интерфейс простановки баллов.

Тестовый модуль | Группа ТЕСТ-4-16

Имя студента	1	2	3	4	5	6	7
1 Бекметов И.И.	1	2	1	1	2	4	-
2 Данилова А.А.	1	2	3	4	5	2	-
3 Закиров Р.В.	-	-	2	-	2	-	-
4 Карпенко И.А.	-	-	-	-	-	-	-

Рис.3. Интерфейс простановки баллов в АРМ преподавателя.

Для простановки успеваемости преподавателю доступен интерфейс, представляющий собой таблицу, в заголовке которой указаны дни цикла модуля (21 день), и в первом столбце список группы. Чтобы проставить балл студенту, необходимо просто ввести количество баллов в соответствующей ячейке. Дополнительных действий не требуется. Точно так же можно поменять количество баллов, просто отредактировав содержимое ячейки. В правой колонке выводятся итоговые значения по каждому студенту.

Подобным образом преподаватель может выставить оценки за экзамен или зачет в отдельном интерфейсе. Также преподавателю доступна информация по рабочим программам дисциплин и учебным планам. Преподаватель может вносить изменения в рабочие программы модулей, которые потом должны быть согласованы по цепочке «преподаватель – заведующий кафедрой – заместитель директора по учебной деятельности».

Преподаватель в системе может расставить контрольные точки в определённые даты, чтобы студенты были информированы о предстоящих видах контроля (рисунок 4).

Технические средства автоматизации

Дата	Название	Описание
2018-04-04	Контрольная номер 1	Основные г
2018-04-05	Лабораторная 1	Настройка
2018-04-07	Лабораторная 2	Работа сет
2018-04-13	Тест номер 1	Тест по тем
2018-04-16	Лабораторная 3	Датчики да
2018-04-18	Лабораторная 4	Измерение
2018-04-19	Контрольная 2	Контрольн
2018-04-23	Защита расчетных заданий	

[1] 2018-04-02

Название контрольной точки

Рис. 4. привязка видов контроля к датам.

В. АРМ студента

На главной странице АРМ студента доступна информация по модулям текущего цикла – новости, файлы модуля, количество пропусков по каждому модулю. На рисунке 5 представлена главная страница АРМ студента. Также студенту доступна вся информация о прохождении модуля – баллы, итоговые оценки за зачет/экзамен, предстоящие виды контроля. Для этого создан отдельный интерфейс, представленный на рисунке 6. Студент всегда может контролировать успешность прохождения модуля, что позволяет больше вовлечь его в образовательный процесс.

Новости

Технические средства автоматизации

Смирнов А.А. в 2018-05-04 09:40:30

Расчетные задания прикреплены к модулю, просьба обратиться на свой вариант. Максимальный балл за расчетное задание - 20, минимальный 14. Расчетное задание надо защитить. На защите я задаю 5 вопроса по вашей расчетке. За каждый ответный вопрос - 2 балла. Общая сумма баллов считается как 10 + баллы за вопросы.

Смирнов А.А. в 2018-05-04 09:37:21

Всем приветствую на нашем модуле, по плану у нас 5 лабораторных работ, и одно расчетное задание.

Файлы модуля
Технические средства автоматизации
annotation_1 (3).docx

Рис. 5. Главная страница АРМ студента.

Технические средства автоматизации | Преподаватель: Смирнов Алексей Алексеевич

День	Дата	Баллы	Контрольные точки	Описание
1	2018-04-02	1		
2	2018-04-03	2		
3	2018-04-04	5	Контрольная номер 1	Основные понятия TAU
4	2018-04-05	5	Лабораторная 1	Настройка модулей элеме
5	2018-04-06	0		
6	2018-04-07	5	Лабораторная 2	Работа сети MODBUS.
7	2018-04-09	1		
8	2018-04-10	1		
9	2018-04-11	2		
10	2018-04-12	0		
11	2018-04-13	4	Тест номер 1	Тест по темам: пром. интерфейсы и протоколы, передача данных в пром. сетях.
12	2018-04-15	0		

Рис. 6. Успеваемость в АРМ студента.

В правой части экрана выводится сводная информация по текущему модулю и ссылки на предыдущие модули (рисунок 7).

Технические средства автоматизации

Допуск на экзамен / зачет: **Да**

Баллы полученные на занятиях: **61**

Баллы за экзамен: 25

Итого баллов: **86**

Модули

[Теория вероятностей и математическая статистика](#)

[Электрические машины](#)

[Электрические машины](#)

[Прикладная механика](#)

Рис. 7. Сводная информация по модулю.

С. АРМ работника деканата

АРМ работника деканата имеет следующий функционал:

- Контроль за успеваемостью и посещаемостью студентов всех групп. Система автоматически выделяет злостных прогульщиков или студентов, не получающих баллов.
- Контроль за заполнением таблицы посещаемости. Работники деканата могут дополнительно проводить проверки посещаемости, посещая уроки, и проставляя отсутствующих студентов в свою таблицу деканата.
- Редактирование списка групп, добавление новых студентов, выдача логинов и паролей.

Главная страница АРМ работника деканата, представлена на рисунке 8.

Группы		Текущий контроль	
Название			
МТЭ-1-15	Просмотр успеваемости	Редактирование состава группы	
МТЭ-1-16	Просмотр успеваемости	Редактирование состава группы	Научно-исследовательская работа Преддипломная практика
МТЭ-1-17	Просмотр успеваемости	Редактирование состава группы	Современное энергетическое оборудование Научно-исследовательская работа
МТЭ-17э	Просмотр успеваемости	Редактирование состава группы	
МТЭ-2-15	Просмотр успеваемости	Редактирование состава группы	

Рису. 8. Главная страница АРМ работника деканата.

АРМ деканата может быть доступен не только работникам деканата, но и директору, заместителю директора ВУЗа. В АРМ доступна информация о каждом студенте - его баллах и датах их получения, пропуски в конкретные дни. Все это повышает прозрачность образовательного процесса, позволяет контролировать и вовремя реагировать на девиантное поведение студентов или преподавателей.

При переходе к просмотру успеваемости по конкретной группе, выводится сводная таблица из студентов с информацией об их баллах и пропусках по каждому модулю (рисунок 9).

id	ФИО	Энергосбережение и возобновляемая энергетика	Элективные курсы по физической культуре	Технологические процессы и производства-1	Элективные курсы по физической культуре
364	Беокаш А А	0 балл (Проп: 0)	0 балл (Проп: 0)	0 балл (Проп: 0)	0 балл (Проп: 0)
360	Гуломиддинов А С	0 балл (Проп: 0)	0 балл (Проп: 0)	0 балл (Проп: 1)	0 балл (Проп: 0)
379	Двинянинов Р С	0 балл (Проп: 0)	0 балл (Проп: 0)	0 балл (Проп: 9)	0 балл (Проп: 0)
368	Земляков В С	0 балл (Проп: 0)	0 балл (Проп: 0)	0 балл (Проп: 1)	0 балл (Проп: 0)

Рис. 9. Просмотр успеваемости.

При переходе в ячейку с количеством баллов и модуля, видна информация по всем оценкам, полученным при изучении модуля. (Рисунок 10)

Оценки			
Балл	Дата	Преподаватель	Электронная подпись
3	2018-02-06	Болдырев И А	fe25dc9e7b227e3485e663f242cece18
4	2018-02-07	Болдырев И А	ff397e0958978d1d1b9b17d7a04a909d
3	2018-02-08	Болдырев И А	4be27a741173f9abf8a28fb85f326fc4
0	2018-02-10	Болдырев И А	ab29996194ded907e6eccc76d0c8efd2
5	2018-02-15	Болдырев И А	77eafc325367296b31daf46b2d69bec9
6	2018-02-17	Болдырев И А	b9d761576d250117e8cbdab02036ef1c
0	2018-02-20	Болдырев И А	3f0d0a255bedc8cae40076860d1c1df2
0	2018-02-22	Болдырев И А	f084477847b08c443a393e4ac7c7fc4a
6	2018-02-14	Болдырев И А	b01594cb25d2157177c3787adde99251
5	2018-02-16	Болдырев И А	e89d12931fdf2bb2a761f3f10dbf6a7b
5	2018-02-19	Болдырев И А	a3c5bb81eed2c7f4b796c8d7d16701b9
12		Болдырев И А	f1fa9d1c8a73ef3bb6872af1c6c124ff
4	2018-02-05	Болдырев И А	37dae073b1d713722c07b97fa4735145

Пропуски	
Дата	Кол-во пропусков
2018-02-08	4
Всего	4

Рис. 10. Подробная информация о студенте в АРМ деканата.

D. Работа с учебными планами и рабочими программами.

Для контроля за заполнением рабочих программ дисциплин и их соответствия учебным планами, был создан АРМ работника учебного отдела. В его функционал входит:

- Расстановка модулей и расписания. Добавление новых модулей.
- Проверка и заполнение учебных планов.
- Автоматизированный модуль создания и редактирования учебных планов.

Работники учебного отдела отвечают за проверку корректности заполнения рабочих программ дисциплин. Алгоритм работы при заполнении рабочих программ следующий:

- В своем АРМ работник учебного отдела может расставить компетенции дисциплинам из учебного плана, закрепить дисциплины за кафедрами.
- Заведующие кафедрами распределяют между преподавателями дисциплины.
- Преподаватели в своем АРМ заполняют рабочую программу дисциплины (РПД), после чего она автоматически попадает на проверку заведующему кафедрой и в библиотеку для проверки соответствия наличия мелодической литературы, указанной в программе. Работник библиотеки и заведующий кафедрой могут вернуть на доработку РПД
- После согласования с заведующими кафедрами и библиотекой, РПД передается обратно работнику учебного отдела и если доработок больше не будет, РПД отправляется на распечатывание и утверждение.

На рисунке 11 показан один из интерфейсов АРМ работника учебного отдела. В нем можно видеть распределение предметов по кафедрам и преподавателям, дорожную карту РПД, а также ссылки на скачивание аннотации, РПД, и карточки обеспеченности литературой.

ID	Код предмета	Предмет	Статусы	Кафедра	Преподаватель
1	Б1.Б.1	Иностранный язык(немец.) Загрузить аннотацию Загрузить РПД Загрузить карточку обеспеченности	Заполнение компетенций ЗУВ на согласовании ЗУВ согласован РПД ч.1 на согласовании РПД ч.1 на доработке Выбраны опорные предметы. РПД ч.2 на согласовании РПД ч.1 согласован РПД ч.2 согласован Литература согласована Заполнение компетенций	СГН	Якимович Е.В
1	Б1.Б.1	Иностранный язык(немец.) Загрузить аннотацию Загрузить РПД Загрузить карточку обеспеченности	Заполнение компетенций ЗУВ на согласовании ЗУВ согласован РПД ч.1 на согласовании РПД ч.1 на доработке Выбраны опорные предметы. РПД ч.2 на согласовании РПД ч.1 согласован РПД ч.2 согласован	СГН	Якимович Е.В

Рис. 11. – АРМ работника учебного отдела.

Сам процесс формирования РПД состоит из 5 частей, и выполняется преподавателем:

1. По каждой компетенции, привязанной к предмету, указываются знания, навыки, умения (ЗУВ).
2. Выбираются опорные предметы и их ЗУВ.
3. Заполняется первая часть РПД, в которую входят цели и задачи освоения дисциплины/модуля, краткое содержание разделов, основная и дополнительная литература, электронные ресурсы.
4. Во второй части РПД заполняются темы лекций, лабораторных работ и практик в количестве согласно учебному плану. К каждой теме привязывается литература (заполненная в предыдущем разделе) с указанием страниц и разделов дисциплины.
5. В третьей части, на основе двух предыдущих частей заполняются: часы самостоятельной работы, виды контроля, соответствие видов контроля компетенциям и формируется календарный график модуля.

Каждый этап проходит через согласование с заведующим кафедрой.

IV. Выводы

- Реализованный подход к формированию базы данных с учетом шифрования и электронных подписей обеспечивает высокую надежность и защищенность от подмены значений. В тоже время данный алгоритм работает незаметно для пользователя, не требует usb-ключей, специальных плагинов для браузера и поддерживается всеми современными браузерами и устройствами.
- Простой и отзывчивый интерфейс, позволяет пользоваться системой, практически без дополнительного обучения персонала.

- Адаптивность интерфейса обеспечивает доступность контента на устройствах всех типов: ноутбуки, планшеты, мобильные устройства, и на всех ОС, браузерах.
- Модульность интерфейса и структуры кода позволяет дополнять системы по мере необходимости дополнительными модулями, например, графических информаториев, элементов геймификации.

С точки зрения учебного процесса, внедрение информационной образовательной среды несет ряд положительных качеств:

1. В комплексе со всеми разработанными инструментами, образовательный процесс становится прозрачным для всех его участников, это в свою очередь резко снижает коррупционные риски.
2. Возможность контролировать качество образовательного процесса в режиме реального времени, и быстро реагировать на возможные отклонения от него.
3. Автоматизация многих процессов, происходящих в учебном заведении, позволяет снизить нагрузку на преподавателей и административных работников.

4. За счет эффективной коммуникации между участниками образовательного процесса повышается его качество.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Развитие цифровой среды в образовании [Электронный ресурс] // Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования. URL: <http://psystudy.ru/index.php/forauthors/gost2008.html> (дата обращения: 05.06.2018).
- [2] Агринская С. А., Болдырев И. А., Рекаева Л. А. Результаты использования балльно-рейтинговой системы оценивания учебных достижений студентов в рамках реализации модульно-циклового системы обучения в филиале ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском // Современные аспекты и актуальные вопросы разработки и применения профессиональных, образовательных и технических стандартов : Международная научно-методическая конференция, г. Волжский, 17–18 мая 2017 г. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2017. – ISBN 978-5-94721-124-5. - с. 101-104
- [3] Y. y. Cao and C. Fu, "An Efficient Implementation of RSA Digital Signature Algorithm," *2008 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA)*, Hunan, 2008, pp. 100-103. doi: 10.1109/ICICTA.2008.398
- [4] Weinberger J., Saxena P., Akhawe D., Finifter M., Shin R., Song D. (2011) A Systematic Analysis of XSS Sanitization in Web Application Frameworks. In: Atluri V., Diaz C. (eds) *Computer Security – ESORICS 2011*. ESORICS 2011. Lecture Notes in Computer Science, vol 6879. Springer, Berlin, Heidelberg

Учебный программный комплекс по планированию режима работы гидроэлектростанции

Сысоев Александр Анатольевич, Зотов Сергей Сергеевич, Васьков Алексей Геннадьевич

Кафедра гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии

Национальный исследовательский институт «МЭИ»

Москва, Россия

sasha_sysoev@mail.ru, alvetan@mail.ru, init696@mail.ru

Аннотация — В данной работе представлен учебно-программный комплекс, реализующий возможность планирования долгосрочного режима работы Воткинской ГЭС с учетом ее диспетчерского графика и требований водопользователей. Комплекс разработан с учетом актуальных требований, указанных в правилах использования водных ресурсов Воткинского водохранилища. Учебный комплекс планируется использовать для проверки хода и типовых работ по планированию режима не только Воткинской ГЭС, но и других ГЭС России.

Ключевые слова — гидроэлектростанция; режим работы; учебный комплекс; водно-энергетический расчёт

I. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОБУЧЕНИЮ

В соответствии с действующим федеральным образовательным стандартом образовательный процесс в ВУЗе строится на компетентностном подходе [2, 3]. В современных условиях особое значение в профессиональном техническом образовании приобрело обучение инновационной деятельности и умению работать в команде.

К инновационным технологиям обучения относят [1 с 3]:

- интерактивные технологии обучения;
- технологии проектного обучения;
- компьютерные технологии.

В интерактивных технологиях претерпевают изменение роли обучающего и обучаемых (вместо объекта воздействия - субъект взаимодействия), а также роль информации: информация становится не целью процесса образования, а средством для освоения действий и операций [1, с 3].

Практическая научно-исследовательская деятельность студентов позволяет обеспечить выполнение три важных требований к современному процессу обучения:

1. Обеспечение пространства самостоятельного и свободного действия.
2. Работа в команде, в условиях, близких к реальным.

3. Пройти самостоятельный путь от получения знаний к их применению и развитию способностей.

Проблемная ситуация, возникающая в рамках реализации подобных активных методов обучения и при постановке открытых задач, создает своего рода интеллектуально-творческую задачу для личности обучающегося, когда он не может понять какие-либо явления, что побуждает его искать новые способы объяснения или действия, самостоятельного критического анализа, формулировки проблем, вариантов их решения (обоснование гипотезы и логики ее доказательства, проверки правильности пути решения и т.д.). В условиях ВУЗа проблемные ситуации возникают при условиях, если студенты:

- не знают, как решить поставленную задачу, объяснить явления, факты, не могут дать ответ на проблемный вопрос;
- видят противоречие между достигнутым на практике результатом выполнения задания и отсутствием знаний для теоретического обоснования того результата;
- обнаруживают противоречие между теоретической возможностью дать ответ на проблемный вопрос и неэффективностью выбранного способа его решения;
- сталкиваются с необходимостью использовать полученные ранее знания в новых условиях;
- Кроме всего прочего, подобные образовательные методы способствуют формированию критического мышления у обучающихся.

Среди методов и средств повышения эффективности образовательного процесса в современной литературе большое внимание уделяется использованию различных технических средств обучения. Внедрение компьютерных технологий в научные исследования и учебный процесс, а также насыщение ВУЗов компьютерной техникой, значительно ослабило интерес к техническим средствам других видов.

Действующий профессиональный стандарт 20.007 «Работник по планированию режимов гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих

электростанций» формулирует основную цель вида профессиональной деятельности следующим образом: планирование водно-энергетических, электроэнергетических и гидрологических режимов работы гидроэнергетических объектов (ГЭС/ГАЭС), обеспечивающее надежную, бесперебойную и безаварийную работу оборудования и производство электроэнергии.

Данная работа посвящена решению некоторых проблем обучения студентов трудовой функции по проведению расчетов водно-энергетического режима работы ГЭС/ГАЭС, включающей в себя следующие знания, умения и навыки:

- Расчет оптимального водно-энергетического режима станции/каскада станций;
- Выполнять расчеты водохозяйственных и водно-энергетических режимов гидроэнергетических установок с водохранилищами разного вида регулирования речного стока;
- Учитывать изменения состояния оборудования при расчете водно-энергетического режима работы гидроэнергетических объектов;
- Осуществлять проверку правильности выполненных расчетов, достоверность итоговых и промежуточных результатов, обеспечивать в случае необходимости выполнение повторных (проверочных) расчетов;
- Использовать в работе нормативную и техническую документацию, анализировать научно-техническую информацию.

В работе предлагается решение проблемы отработки практических навыков выполнения планирования водно-энергетического режима работы ГЭС/ГАЭС с помощью программного учебного комплекса, реализованного в среде программирования VBA.

При выполнении работы создан программный комплекс для решения задач проектирования долгосрочного режима работы Воткинской ГЭС. В программе наглядно представлен процесс планирования длительного режима работы ГЭС с учётом требований по эксплуатации гидротехнических сооружений и требования водопользователей и водопотребителей Воткинского водохранилища [4, с. 17-18].

II. МЕТОДИКА ПЛАНИРОВАНИЯ ДОЛГОСРОЧНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ГЭС

Для планирования долгосрочного режима работы в качестве основного документа используются правила использования водных ресурсов водохранилища. На долгосрочный режим работы гидроэлектростанции накладываются ограничения, связанные с требованиями, выдвигаемыми водопользователями в качестве примера ниже приведены ограничения, установленные федеральным агентством водных ресурсов для Воткинской ГЭС [4, с. 17-18]:

- С 10.04.2018 до 10.06.2018 по требованиям рыбного хозяйства необходимо обеспечивать плавное повышение уровня водохранилища, а затем стабильность уровня воды в водохранилище;
- С 01.12.2018 до 28.02.2019 по требованиям рыбного хозяйства, по возможности, производить сработку водохранилища плавно;
- С 01.04.2018 сработка водохранилища запрещена по требованиям рыбного хозяйства;
- До 31.03.2018 и после 11.11.2018 сбросы через водосливную плотину запрещены;
- С 01.04.2018 до 10.11.2018 при условии достижения отметки НПУ возможно открывать затворы на водосливной плотине и совершать холостые сбросы;
- На 21.04.2018 отметка гидроузла не должна превышать уровня принудительной предполоводной сработки $\nabla_{УПС} = 85$ м;
- С 01.05.2018 до 10.11.2018 – в период навигации минимальная отметка на период навигации составляет 86 м, в течение всего периода навигации она не должна быть ниже $\nabla_{МНУ} = 87$ м;
- Максимальная суточная амплитуда колебаний уровня воды в нижнем бьефе гидроузла в летний период не должна превышать 3,5 м, а в зимний период 5,0 м.

• Максимальный напор составляет 23 м;

• Минимальный напор составляет 12,25 м;

• С 01.05.2018 до 10.11.2018 – в период навигации минимальный расход в НБ должен быть не ниже

$$Q_{\text{баз}} = 1300 \text{ м}^3/\text{с};$$

• Санитарный расход в нижний бьеф составляет

$$Q_{\text{сан}} = 400 \text{ м}^3/\text{с}.$$

С учётом этих ограничений необходимо определить режим работы гидроэлектростанции на последующий год. Получив режим работы, можно будет определить годовую выработку электроэнергии, определить зону работы станции в годовом графике нагрузки энергосистемы, составить график ремонтов и оценить прибыль, которую может получить станция за последующий год.

В качестве исходной информации потребуется:

- Расход приточности для каждого расчётного периода: $Q_{\text{пр}}(t), \text{ м}^3/\text{с};$
- Кривые связи верхнего и нижнего бьефов как для зимы, так и для лета: $Z_{\text{вб}}(V_{\text{вдхр}}), \text{ м}; Z_{\text{нб}}(Q_{\text{нб}}), \text{ м};$
- Потери напора на водоподводящих сооружения: $\Delta h, \text{ м};$
- Потери расхода в верхнем бьефе: $\Delta Q, \text{ м}^3/\text{с};$
- Эксплуатационные характеристики гидроагрегатов;

- Отметка на начало расчёта, определяется заданием на расчёт: $Z_{вб}$, м;
- Диспетчерский график водохранилища.

По имеющейся исходной информации и заданной исходной отметке на начало расчетного периода, определяется зона работы в поле диспетчерского графика и средний расход этой зоны.

Задаётся сбросной расход в нижний бьеф (включает в себя расход через плотину и холостые сбросы) равный среднему расходу рабочей зоны диспетчерского графика¹:

$$Q_{сбр}(t) = Q_{нб}(t) + Q_{хх}(t)$$

По алгоритму расчёта, представленному в [5, с 31], определяем отметку верхнего бьефа на конец расчетного периода, мощность и выработку электроэнергии за рассматриваемый расчетный период.

Полученная отметка в верхнем бьефе наносится на диспетчерский график, если конечная отметка не выходит за границы рабочей зоны и не нарушены ограничения, накладываемые другими водопользователями, то данный сбросной расход принимается в качестве основного для данного расчетного интервала полученная отметка верхнего бьефа становится начальной отметкой для следующего расчетного периода.

Если полученная отметка на конец расчетного периода выходит за границы зоны, то необходимо скорректировать средний сбросной расход, чтобы конечная отметка попала на границу зон диспетчерского графика. При попадании конечной отметки на границу зон диспетчерского графика, средний сбросной расход может быть задан в пределах от минимального расхода нижележащей зоны до максимального расхода вышележащей зоны.

Пересечение зоны в течение расчетного интервала не допускается. Однако в периоды половодья, при невозможности попадания на границу зон диспетчерского графика, допускается уменьшения расчетного интервала до сроков, указанных в правилах использования водных ресурсов.

III. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Форма обработки данных, с которой работает пользователь, представлена на рисунке 1.

Поля управления имеют следующее назначение:

1. Поле ввода расхода или отметки – основной элемент управления, предназначен для ввода значений расхода для проведения расчета конечной отметки по модулю «ВЭР прямой»; или для ввода значений конечной отметки для проведения расчета расхода по модулю «ВЭР обратный»;
2. Информационное поле ограничений – основной элемент для общения ПО с пользователем, задействует

¹ Сбросной расход может отличаться на величину допустимого отклонения для данной зоны

выводит информацию в это поле для информирования пользователя о состоянии расчёта для рассчитываемого периода;

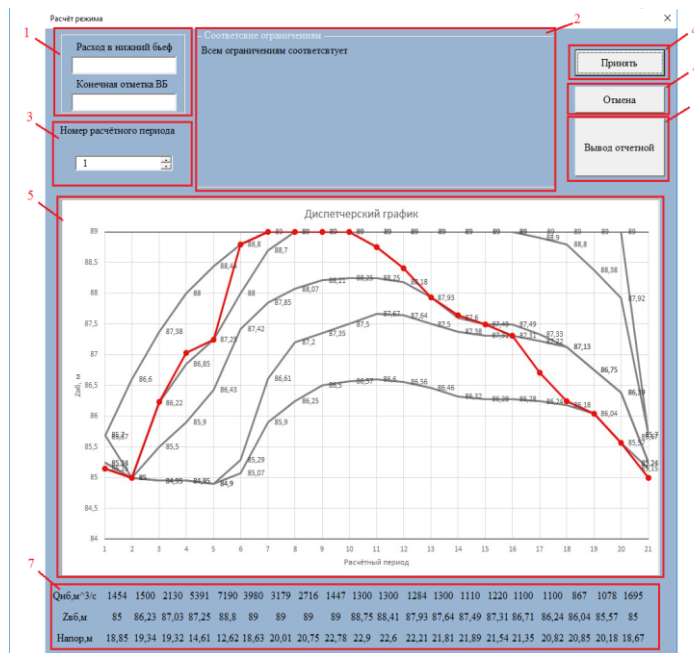


Рис. 1. Графическое изображение формы обработки

3. Выбор номера расчетного периода – элемент управления, позволяющий перейти к ранее просчитанному расчетному периоду;
4. Кнопки «Принять» и «Отмена» - позволяет принять значение рассчитываемого периода или отменить расчёт с выходом из программы;
5. Диспетчерский график – изображение диспетчерского графика с выбранным режимом;
6. Информационная панель – панель, содержащая информацию об основных значениях в рассчитываемом периоде;
- 7 Кнопка «Вывод отчётной» - Служит для вывода отчётной таблицы с параметрами станции, описанными в п. III.

A. Исходные данные

Исходными данными в подпрограмму является:

- $Q_{пр}(N_{рп})$ – ряд значений расхода на планируемый долгосрочный период. Ряд сформирован как двумерный массив значений расхода, расположенные во 2 столбце и соответствующие им значения номера ($N_{рп}$) расчетного периода в 1 столбце;
- Значение начальной отметки.

Исходные данные расположены на листе «Исходные данные»;

В. Алгоритм

В представленном алгоритме используются следующие модули подпрограмм:

- «Получение исходных данных». Входными данными является диапазон данных с листа «Исходные данные». Выходными данными является двухмерный массив в программной среде VBA;
- «Построение диспетчерского графика» – Исходными данными является зависимость отметки верхнего бьефа от номера расчётного периода. Подпрограмма строит диспетчерский график при помощи стандартной функции построения в Excel и преобразует полученный график в рисунок под названием «Graph» с расширением jpg;
- «ВЭР прямой». Входными данными является значение расхода ($Q_{нб}(Nrp)$). Подпрограмма реализует метод водноэнергетического расчета в соответствии с методикой, представленной в пункте II.;
- «ВЭР обратный». Входными данными является значение конечной отметки ($Z_{вб}^k(Nrp)$). Подпрограмма реализует метод водноэнергетического расчета в соответствии с методикой, представленной в пункте II.;
- «Соответствие ограничениям». Входными данными служат начальная ($Z_{вб}^h(Nrp)$) и конечная ($Z_{вб}^k(Nrp)$) отметки рассматриваемого периода; начальный ($W_{в}^h(Nrp)$) и конечный ($W_{в}^k(Nrp)$) объем; номер расчётного периода (Nrp). Подпрограмма выводит в отдельный массив информацию по нарушению ограничений для рассматриваемого расчётного периода. Выходными данными служит массив с размерностью до 4х значений, содержащий информацию относительно несоответствия конечной отметки или расхода ограничениям, заложенным в расчёт.

1. Исходные данные с значениями расхода с листа «Исходные данные» преобразуются в двухмерный массив в программной среде VBA;
2. Константе присваивается значение начальной отметки;
3. На скрытом листе по значениям диспетчерского графика в табличном виде строится диспетчерский график;
4. На диспетчерском графике откладывается начальная отметка ($Z_{вб}^h(Nrp)$);
5. Диспетчерский график преобразуется в рисунок под названием «Graph» с расширением jpg, для вывода на форму;
6. Пользователь выбирает метод расчёта, по которому будут рассчитываться параметры ГЭС:

- Водноэнергетический расчёт с вводом расхода в нижний бьеф ($Q_{нб}(Nrp)$);
- Водноэнергетический расчёт с вводом конечной отметки в ВБ ($Z_{вб}^k(Nrp)$).

7. На форму в поле «Соответствие ограничениям» выводится информация по несоответствию контрольных параметров ГЭС определенным ограничениям в расчётном периоде. В расчёте учитываются следующие ограничения:

- Во 2-м расчётном периоде конечная отметка не должна превышать Уровень Предполоводной Сработки;
- С 15-го до 20-й расчётный период запрещены сбросы через водосливную плотину;
- С 5-го до 14-го расчётного периода отметка не должна быть ниже межнавигационного уровня и расход не должен быть ниже базового;
- В 4-м расчётном периоде отметка не должна быть ниже предмежнавигационного уровня;
- Во всех расчётных периодах напор не должен быть ниже минимального;
- Во всех расчётных периодах напор не должен быть выше максимального
- С 4-го до 14-й расчётный период запрещено срабатывать;
- Ограничения относительно перехода через 2 зоны с нарушением допустимого изменения отметок.

8. Если же контрольные параметры ГЭС будут удовлетворять всем ограничениям, то поле «Соответствие ограничениям» выводится информация, что все ограничения выполняются;

9. Переход к следующему расчётному периоду происходит, только когда пользователь подберет значения расхода или отметки, удовлетворяющие всем ограничениям;

10. При невозможности подбора отметки или расхода, чтобы удовлетворить все ограничения в расчётном периоде, необходимо перейти к ранее просчитанному расчётному периоду через «Номер расчётного периода» и провести расчёт заново.

С. Результирующие данные

После составления режима и соответствия всем ограничениям, то появится кнопка «Вывод отчетной» при нажатии которой в отдельную книгу выведется график с отображением режима и отчётная таблица с параметрами ГЭС по расчётным периодам;

Параметры ГЭС, используемые в отчётной таблице:

- Номер расчётного периода;
- $Q_{пр}(t)$ – расход притока (источник: «Исходные данные»);

- $Q_{\text{нб}}(t)$ – расход в нижний бьеф (источник: ВЭР или пользовательский);
- $Z_{\text{вб}}^{\text{н}}$ – начальная отметка верхнего бьефа (источник: конечная отметка предыдущего расчётного периода);
- $Z_{\text{вб}}^{\text{к}}$ – конечная отметка верхнего бьефа (источник: ВЭР или пользовательский);
- $\bar{Z}_{\text{вб}}$ – средняя отметка верхнего бьефа (источник: ВЭР);
- ΔQ – изменение расхода водохранилища (источник: ВЭР);
- $\Delta W_{\text{в}}$ – изменение объема водохранилища (источник: ВЭР);
- $W_{\text{в}}^{\text{н}}$ – начальный объем водохранилища (источник: ВЭР);
- $W_{\text{в}}^{\text{к}}$ – конечный объем водохранилища (источник: ВЭР);
- $Q_{\text{гэс}}(t)$ – расход через турбины ГЭС (источник: ВЭР);
- $Q_{\text{хх}}$ – сбросной расход через водосливную плотину (источник: ВЭР);
- $Z_{\text{нб}}$ – средняя отметка нижнего бьефа (источник: ВЭР);
- \bar{H} – средний напор в расчётном периоде (источник: ВЭР);
- \bar{N} – средняя мощность в расчётном периоде (источник: ВЭР);
- \bar{E} – средняя энергия в расчётном периоде (источник: ВЭР).

IV. Вывод

При отработке практических навыков выполнения планирования водно-энергетического режима работы ГЭС/ГАЭС, студенты очень много времени теряют на выстраивание однотипного алгоритма планирования режима работы ГЭС/ГАЭС. Ради экономии времени, некоторые характеристики снимаются упрощённо, принимаются допущения, упрощающие расчёт. Зачастую написанный алгоритм хорошо работает лишь при определённых начальных условиях, которые показывают лишь часть возможных режимов работы станции.

Для сокращения времени на подготовку к решению поставленной задачи, в том числе снятие сложных

характеристик бьефов и эксплуатационных характеристик оборудования, был разработан данный учебный комплекс. Учебный комплекс был реализован в среде программирования VBA как приложение Microsoft Excel.

Учебный комплекс позволяет быстро проводить планирование долгосрочного режима работы ГЭС с учётом требований водопользователей и водопотребителей Воткинского водохранилища с нанесением полученного режима работы на диспетчерский график водохранилища. Данный комплекс предназначен для отработки практических навыков выполнения планирования водно-энергетического режима работы ГЭС/ГАЭС, с его помощью можно быстро проверить полученный ранее долгосрочный режим работы станции на предмет нарушения требований водопользователей или зон диспетчерского графика. Так же студент сможет быстро сделать иной режим работы станции и сравнить его с режимом, полученным ранее.

Так как данный комплекс разработан на примере действующего документа, то имея опыт работы в таком комплексе и понимая особенности планирования режимов реальных станций, студенту будет проще при работе с программными комплексами, которые используются для планирования режимов ГЭС/ГАЭС.

В перспективе данный программный комплекс планируется развивать до полноценной программы, позволяющей рассчитать долгосрочные, среднесрочные и краткосрочные режимы работы не только Воткинского гидроузла, но других гидростанций России для заданной обеспеченности притока.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Фишер Н. В. Инновационные технологии в профессиональном образовании // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 3: Педагогика и психология. 2010. №1. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-tehnologii-v-professionalnom-obrazovanii> (дата обращения: 04.12.2015).
- [2] Приказ Минобрнауки России от 21.11.2014 г. N 1500 "Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 13.04.02 электроэнергетика и электротехника (уровень магистратуры)".
- [3] Приказ Минобрнауки России от 03.09.2015 N 955 "Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (уровень бакалавриата)".
- [4] Приказ Федерального агентства водных ресурсов от 07.11.2015 N 225 "Об утверждении Правил использования водных ресурсов Камского и Воткинского водохранилищ на р.Кама"
- [5] Водно-энергетические и водохозяйственные расчёты. Учебное пособие по курсу «Теоретические основы энергетики и возобновляемых источников энергии» под редакцией В.И. Виссарионова. Издательство МЭИ, Москва, 2001

Комплекс информационных технологий для разработки и оптимизации мероприятий снижения шума

Системное использование информационных технологий в образовании

Тараторин Андрей Андреевич
кафедра Тепловых электрических станций
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
Москва, Россия
TaratorinAA@mpei.ru

Аннотация — В статье рассматриваются проблемы современного инженерного образования на фоне неизбежной информатизации. Предлагается системный подход к внедрению информационных технологий в образовательный процесс. Приводится пример использования системы информационных технологий для стимулирования творческого подхода и развития у обучающегося способности к решению задач инженерной практики. Показана возможность применения информационных технологий для выполнения научно-исследовательских работ в области повышения энергоэффективности.

Ключевые слова — инженерное образование; акустический расчёт; глушитель шума; энергоэффективность; аэродинамическое сопротивление.

I. О ЦЕЛЯХ И ПРОБЛЕМАХ СОВРЕМЕННОГО ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Целью высшего образования вообще и инженерного в частности является развитие способности у обучающегося видеть проблему целиком, в комплексе, декомпозировать её на отдельные взаимосвязанные друг с другом части и выбирать инструменты для эффективного решения задач на каждом из этапов.

При подготовке инженерных кадров, наряду с развитием общепрофессиональных компетенций, учитывая особенности проблем, которые сегодня ставятся перед специалистами, особое внимание следует уделять развитию навыков использования современных технологий (производственных, информационных и др.) для решения практических задач. В настоящее время от специалистов не требуется умение пользования многотомными справочниками, поскольку большая часть их доступна в электронном и интерактивном виде, но должны развиваться способности извлечения смысла из контекста задачи, а также выявления коренных противоречий для формулирования базовой проблемы. Указанные навыки являлись обязательными для инженерной работы во все времена, но теперь их формирование затрудняется переинформатизацией и простотой использования программных продуктов для моделирования сложных физических явлений, вследствие

чего у обучающегося часто возникает лишь поверхностное понимание без осознания фундаментальных законов, что является обязательным для критической оценки полученных результатов.

Важной составляющей информатизации образования является умение выбирать инструмент решения, но в то же время остаются требования к владению методиками, которые использует этот инструмент. Практика показывает, что студенты легко обучаются использовать программное обеспечение, но затрудняются в критическом осмыслении полученных результатов, поскольку не владеют методологической, теоретической базой и не имеют достаточного практического опыта для оценки корректности полученных результатов.

Обозначенные проблемы должны решаться системным использованием информационных технологий с обоснованием их места и рамок применимости в образовательном процессе. Вместе с тем обучающихся необходимо стимулировать к аналитической оценке полученных результатов.

II. СИСТЕМНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Разработка инженерных решений обычно осуществляется в несколько этапов, на каждом из которых могут использоваться различные программные продукты. Освоению программных продуктов, являющихся универсальными для общепрофессиональной практики (например, программные комплексы САПР для 3D моделирования, системы компьютерной алгебры и др.), необходимо уделять внимание на первых курсах, чтобы при изучении специальных дисциплин студенты могли сосредоточиться на освоении соответствующих узких инструментов.

Под системным использованием информационных технологий в инженерной практике понимается умение находить лучшие информационные инструменты для решения отдельных декомпозированных подзадач общей задачи. Аналогичный подход системного использования

информационных технологий следует применять и в процессе образования.

А. Исходные данные примера и выбор программного обеспечения

В качестве примера рассматривается вопрос снижения шума газовоздушных трактов котлов или других промышленных установок. Похожие задачи ставятся перед студентами при подготовке квалификационных работ по направлению «Теплоэнергетика и теплотехника»: 13.03.01 (уровень бакалавриата) и 13.04.01 (уровень магистратуры) [1,2], решение которых обучает студентов выполнению оценки экологического воздействия тепловых электрических станций (ТЭС) по фактору шума и разработке природоохранных мероприятий.

В рассматриваемом примере исходными данными являются характеристики оборудования, для которого разрабатываются мероприятия по снижению шума и задаются научным руководителем или обучающимся самостоятельно (тип тягодутьевых машин, марка котла, мощность блока, результаты измерений уровней звукового давления в непосредственной близости от среза дымовой трубы и др.). На следующем шаге обучающийся должен разложить поставленную задачу на подзадачи и определить последовательность их решения:

- 1) *Определение исходных данных и характеристик источников шума.*
- 2) *Выполнение акустического расчёта с определением требуемого снижения шума.*
- 3) *Разработка глушителя и оптимизация его конструкции.*
- 4) *Выполнение поверочного акустического расчёта.*

После определения приведённой последовательности перед студентом встаёт выбор инструментов решения на каждом из этапов. Так, например, имеется множество программных комплексов, которые позволяют выполнять акустические расчёты по утверждённому методикам: Predictor, АРМ «Акустика», Эколог-Шум и др., а при разработке глушителя и оптимизации его конструкции возможно использовать программные комплексы, такие как AutoCAD, Inventor, SolidWorks, Ansys и др.

Как видно, при решении задачи студент должен уметь применять уже полученные знания, находить данные в традиционных источниках и совместно с этим уметь выбирать подходящие современные информационные инструменты.

В. Результаты расчётов и их анализ

Для иллюстрации применения информационных технологий при выполнении акустического расчёта используется программа Predictor, в которой существует возможность представления результатов расчёта в виде изолиний на карте, уровней звука и уровней звукового давления в октавном и третьоктавном спектрах частот в расчётных точках, а также поддерживается построение 3D модели с отображением результатов расчёта на выбранных вертикальных или горизонтальных плоскостях. Predictor

выполняет акустический расчёт в соответствии с [3], модификацией которого является [4]. В программе Predictor построена 3D модель, учитывающая дифракцию, наличие звукоотражающих зданий и сооружений, взаимодействие шума при распространении с поверхностью земли, затухание в атмосфере и затухание из-за геометрической дивергенции. На рис. 1 и рис. 2 показаны результаты акустического расчёта шума дымососов, распространяющегося через устья дымовых труб на карте в виде изолиний, а также на вертикальных плоскостях в 3D модели, построенных по периметру первого ряда домов.

Важным этапом решения задачи является критическая оценка студентом полученных результатов. Максимальное значение уровня звука 64 дБА было получено для расчётной точки, находящейся на расстоянии 595 м от геометрического центра источника шума. Для определения корректности расчётной модели проводится оценочный расчёт уровня звука по [4], в котором учитывается только основная составляющая затухания — затухание за счёт геометрической дивергенции. По результатам контрольного расчёта уровень звука в той же точке составил 63 дБА.

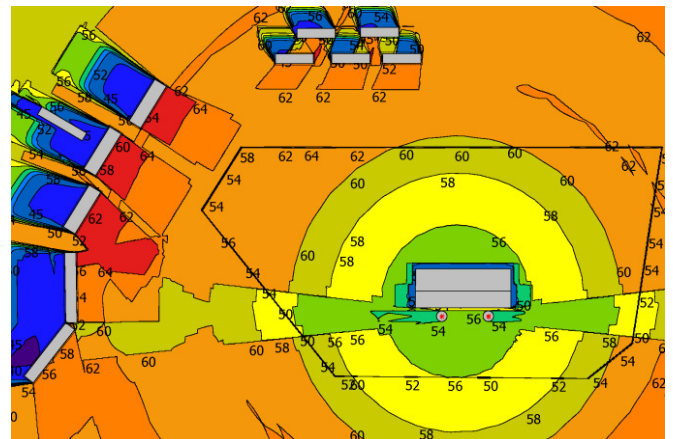


Рис. 1. Распространение шума в окружающем районе

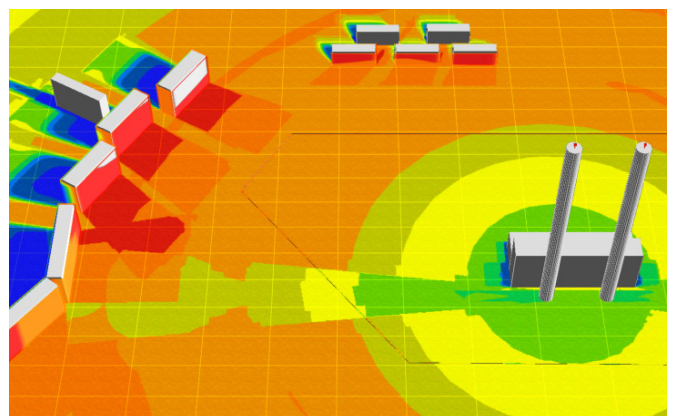


Рис. 2. 3D карта распространения шума

Дополнительно анализируются результаты расчёта для других точек: минимальный уровень звука составил 45 дБА в точках, находящихся в акустической тени первого ряда домов. Отмечается существенное изменение уровней звука по высоте домов — на 18 дБА. Анализ результатов расчёта позволяет сделать вывод, что расчётная модель составлена корректно, а полученные результаты следует считать достоверными.

После выполнения акустических расчётов определяется требуемое снижение шума и по [5,6] предлагается конструкция диссипативного пластинчатого глушителя, который позволяет снизить шум до значений, установленных санитарными нормами.

В качестве примера использования инженерного программного обеспечения, позволяющего разрабатывать конструкции глушителей и проводить исследование их прочностных и аэродинамических характеристик, выбрана программа SolidWorks, в которой построена 3D модель глушителя и проведено математическое моделирование течения потока дымовых газов с целью определения аэродинамического сопротивления. Математическое моделирование в пакете SolidWorks Flow Simulation осуществляется с помощью метода конечно-элементного анализа, при котором происходит разбиение расчётной области на отдельные элементы, и для них решается система дифференциальных уравнений Навье-Стокса путём приведения к системе линейных алгебраических уравнений. Результаты моделирования поля скоростей представлены на рис. 3. Расчётное аэродинамическое сопротивление собственно глушителя (без участков короба дымовых газов) составило 44 Па.

Для верификации модели SolidWorks осуществляется расчёт аэродинамического сопротивления по известным зависимостям [7], которое составило 43 Па. Как видно, результаты математического моделирования сходятся с результатами расчёта по проверенным эмпирическим методикам.

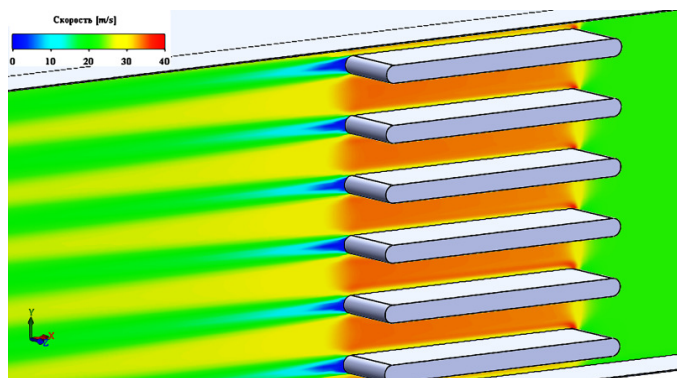


Рис. 3. Поле скоростей в газовом тракте при установке глушителя с цилиндрическими обтекателями

С. Оптимизация конструкции глушителя

Постановка задачи предполагает свободное поле для творчества и раскрытия научного потенциала обучающегося. На первых этапах решения студент

выбирает информационные инструменты для выполнения акустических расчётов и моделирования конструкции глушителя. После выполнения расчётов появляется возможность исследования ситуации путём внесения изменений в исходную модель, например, могут быть рассмотрены ситуации расширения производства с появлением новых источников шума, строительство новых жилых домов, сокращение санитарно-защитной зоны и др. Аналогичные варианты научно-исследовательской работы имеются и для оптимизации конструкции глушителя.

Анализ полученных результатов моделирования течения потоков газа в каналах глушителя показывает, что за выходной кромкой пластин, несмотря на установку цилиндрических обтекателей, возникает зона застоя, приводя к образованию вихрей за ней и увеличению аэродинамического сопротивления. В целях повышения энергоэффективности использования первичных и вторичных энергетических ресурсов вследствие снижения расхода электроэнергии на собственные нужды (привод тягодутьевых механизмов) предлагается клиновидная форма обтекателей на выходной кромке (рис. 4), установка которой, как показали расчёты, позволяет добиться снижения сопротивления глушителя на 23% (до 33 Па).

Расчёт аэродинамического сопротивления глушителя с цилиндрическими обтекателями возможно выполнить по известным зависимостям, не прибегая к математическому моделированию течения. При оптимизации конструкции глушителя с применением обтекателей сложных форм справочные данные для расчёта сопротивления отсутствуют, поэтому математическое моделирование в этом случае является неизбежностью.

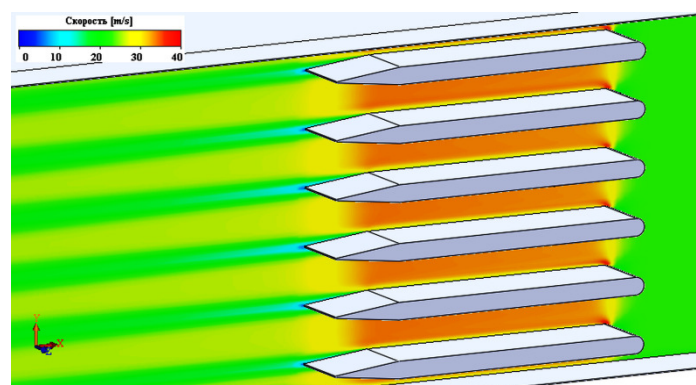


Рис. 4. Поле скоростей в газовом тракте при установке клиновидных обтекателей на выходных кромках

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из изложенного видно, что, используя информационные технологии, совместно с традиционными образовательными методами обучающийся, при выполнении выпускной квалификационной работы, осваивает следующие компетенции (на примере требований к результатам освоения программы магистратуры [2]):

- способность к абстрактному мышлению, обобщению, анализу, систематизации и прогнозированию (ОК-1);
- способность действовать в нестандартных ситуациях, нести ответственность за принятые решения (ОК-2);
- способность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала (ОК-3);
- способность формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки (ОПК-1);
- способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы (ОПК-2);
- способность формулировать задания на разработку проектных решений, связанных с модернизацией технологического оборудования, мероприятиями по повышению экологической безопасности, экономии ресурсов (ПК-1);
- способность к проведению технических расчётов с использованием прикладного программного обеспечения (ПК-2);
- способность к разработке мероприятий по совершенствованию технологии производства (ПК-3);
- готовность к обеспечению модернизации оборудования, воздухопроводов и газопроводов (ПК-4);
- способность к обоснованию мероприятий по экономии энергоресурсов (ПК-5);
- способность планировать и ставить задачи исследования, выбирать методы экспериментальной работы, интерпретировать и представлять результаты научных исследований (ПК-7);
- готовность к руководству коллективом исполнителей, принятию решений, определению порядка выполнения работ (ПК-8);
- способность к разработке мероприятий по предотвращению экологических нарушений (ПК-9).

Кроме того, информационные технологии являются гибким инструментом для осуществления самостоятельной научно-исследовательской работы учащимися.

IV. Выводы

В современном инженерном образовании рекомендуется системный подход при использовании информационных технологий, который заключается в сопровождении ими всего процесса обучения для решения отдельных составляющих глобальной задачи. Такой подход способствует формированию у обучающихся целостного понимания физических, технологических и других процессов вкупе с развитием навыков пользования информационными инструментами современной инженерной практики. При этом особенно важно уделять внимание анализу полученных результатов расчёта и обоснованию их достоверности.

БЛАГОДАРНОСТИ

Представленные исследования по теме публикации выполнены при поддержке стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам № СП-3372.2018.1.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Приказ Министерства образования и науки РФ от 21 ноября 2014 г. N 1499 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника (уровень магистратуры)» // Российская газета от 4 февраля 2015 г. N 21.
- [2] Приказ Министерства образования и науки РФ от 1 октября 2015 г. N 1081 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника (уровень бакалавриата)» // Официальный интернет-портал правовой информации (www.pravo.gov.ru), 3 ноября 2015 г.
- [3] ISO 9613-1:1993. Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere – Geneva: International Organization for Standardization, 1993. – 26 p.
- [4] ГОСТ 31295.1-2005. Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 1. Расчет поглощения звука атмосферой – М.: Стандартинформ, 2006. – 34 с.
- [5] Тупов В.Б. Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. М.: МЭИ, 2012. – 284 с.
- [6] Григорьян Ф.Е., Перцовский Е.А. Расчет и проектирование глушителей шума энергоустановок. Л.: Энергия, 1980. – 120 с.
- [7] Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.

Комплексное применение различных типов программ в конкурсах по компьютерной графике

Владимир Адольфович Токарев

Кафедра графики

ФГБОУ ВО "Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева"

г. Рыбинск, Россия

tokarev@rsatu.ru

Аннотация — Рассмотрено применение в конкурсах по компьютерной графике различных графических программ для оптимизации самостоятельного интенсивного обучения учащейся молодёжи.

Ключевые слова — комплекс графических программ, профессиональная подготовка, компьютерная графика, формы самостоятельного образования

I. ВВЕДЕНИЕ

Формирование графической информации на производстве и в научных исследованиях очень часто требует комплексного применения различных способов создания и представления этой информации. Базовая графическая подготовка в системе профессионального образования осуществляется в формах, близких к реальной профессиональной деятельности [1].

II. РАЗНООБРАЗИЕ МЕТОДОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИН ГРАФИЧЕСКОГО ЦИКЛА

На кафедре графики Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П.А. Соловьева (РГАТУ) для оптимизации графической подготовки и получения необходимых профессиональных компетенций студенты используют разнообразные методы работы с графикой во время аудиторных и внеаудиторных занятий [2 – 4].

Изучение студентами графических дисциплин сопровождается самостоятельной работой с индивидуальными творческими разработками, выполнением курсовой работы, сертификацией, участием в конкурсах.

III. КОНКУРСЫ С НЕОБХОДИМОСТЬЮ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА РАЗЛИЧНЫХ ГРАФИЧЕСКИХ ПРОГРАММ

На кафедре графики РГАТУ ежегодно проводятся олимпиады и конкурсы по компьютерной графике различного уровня. В данной публикации на примере двух последних Всероссийских конкурсов рассмотрены задания, для своего выполнения требующие использование различных методов компьютерной графики. В марте 2016 года и в апреле 2017 года организованы и проведёны Всероссийские конкурсы

студенческой и учащейся молодежи. В конкурсах принимали участие команды, состоящие из 3-х участников (1-го учащегося учреждения среднего образования и 2-х студентов учреждения высшего образования). Автору в данных конкурсах была поручена номинация «Современные информационные технологии в архитектуре». Необходимо было разработать для данной номинации положение, задание, критерии оценки, подготовить исходные данные, привлечь заинтересованные организации.

Комплексное задание выдавалось единое на команду и предполагало необходимость использования нескольких видов программ компьютерной графики. На выполнение комплексного задания отводилось два дня. Предварительно до конкурса было опубликовано и разослано положение с заданием без приведения фотографий и детальной информации о конкретном объекте для проектирования. Поэтому предварительно осуществлялся подбор состава команды, выбор и настройка необходимых нескольких программных продуктов и аппаратного обеспечения.

Ниже приведены с небольшими сокращениями разработанные исходные данные и задания.

Исходные данные номинации «Современные информационные технологии в архитектуре» Всероссийского конкурса 2016 года:

- исходные изображения объекта архитектуры (далее объекта) представлены в виде 33 фотографий исходного объекта. Исходным объектом является разрушаемый от времени подлежащий реставрации объект культурного наследия города Рыбинск «Дом жилой Филиппова, построенный в 1880 г.г.»;
- габаритные размеры объекта: длина – 21 м, ширина – 13,4 м (по уровню окон - представлен файл с планом наружных стен первого этажа), высота – 12,45 м (по верхней точке трубы). На четырех фотографиях указаны точки, обозначенные кругами и цифрами от 1 до 17 на поверхности объекта, для которых в скобках указаны уровни в сантиметрах относительно точки 1 (нулевая отметка). Размеры получены электронным обмером. Погрешности измерений и

проставки точек составляют 5 см. В данной статье на рис. 1 для примера приведена одна из этих четырёх заданных фотографий;

- размеры проёмов окон в плоскости наружных поверхностей рам на первом этаже – 1 м х 1,7 м, на втором этаже – 1 м х 2 м. Глубина расположения плоскости наружных поверхностей рам от стены – 16 см. Двери – двухстворчатые филенчатые, размер проёма дверей – 1,5 м х 2,6 м;
- цвета рам окон, откосов окон, откосов дверей, лепнины, выступающих элементов – белые. Поверх кирпичной кладки необходимо восстановить штукатурный слой с охристым колером. Цвета окраски других элементов объекта выбираются на основе имеющихся фотографий и исходя из эстетических соображений с преобладанием охристого колера. Сливы крыши и окон, козырьки, конёк крыши, угловые сливные трубы – оцинкованное железо. Крыша покрыта листами материала «под шифер».

Задание:

- в растровом редакторе преобразовать четыре фотографии объекта к изображениям, близким к ортогональным проекциям объекта, представляемым на чертеже фасада – исправить перспективу. На исправленных фотографиях размеры должны соответствовать исходным данным. Вертикальные линии здания должны быть вертикальны. На двух фотографиях горизонтальные линии здания должны быть горизонтальны, на двух других фотографиях с угла здания горизонтальные линии здания должны быть параллельны. Результат данного раздела задания – четыре статические растровые изображения в формате .jpeg размерами в пикселях 3200х2400. Габаритные размеры в миллиметрах соответствующего изображения здания должны с точностью до 0,2 м соответствовать исходным данным габаритных размеров объекта;

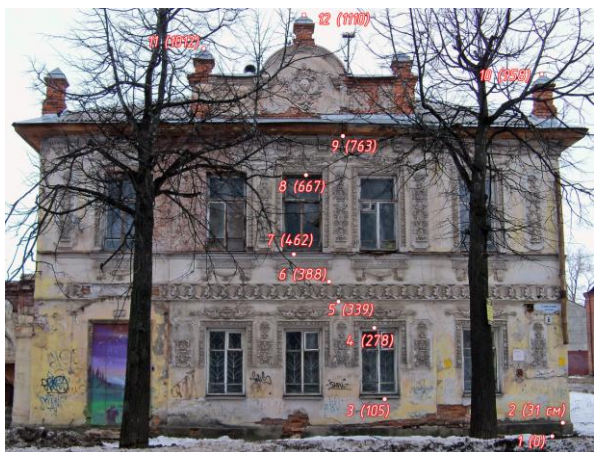


Рис. 1. Одна из исходных фотографий конкурса

- на основе исходных данных и преобразованных фотографий разработать трёхмерную электронную геометрическую модель объекта. Должна быть смоделирована геометрия наружной «отреставрированной» поверхности объекта. Геометрия модели должна отображать внешний вид, который должен принять, по мнению конкурсантов, объект после возможной реставрации. Элементы лепнины выполнить на двух фасадах. Предусмотреть разрушаемые от времени архитектурные элементы. Форму и размеры геометрических элементов объекта необходимо оставить без изменений. Над дверями предусмотреть козырёк с витыми кованными боковыми упорами. Предусмотреть под крышей сливы и по углам сливные трубы. Нанести текстуру на отдельные поверхности в соответствии с исходными данными;
- разработать фотореалистичные статические и одно анимационное изображения полученной трёхмерной электронной модели объекта. Предусмотреть источники света, камеру и полый прямоугольный параллелепипед, внутри которого должны располагаться разработанная геометрическая модель объекта и камера. Результат задания – 5 фотореалистичных статических изображений размером 3200х2400 пикселей в формате .jpeg и одно анимационное размером 640х480 пикселей в формате .avi. Допускается снижение размеров 5 фотореалистичных статических изображений до размером 1024х768 пикселей и одного анимационного до размера 320х240 пикселей с учётом небольшого снижения общей оценки. Четыре статические изображения необходимо получить при расположении камеры на высоте 1,5 метра со всех четырёх углов объекта, чтобы просматривались все разработанные элементы. Пятое статическое изображение предназначено для детального просмотра лепнины и других мелких элементов геометрии. Пятисекундная анимация с частотой 25 кадрами в секунду (125 кадров в файле .avi) должна включать облет по замкнутой траектории камерой объекта с материалами и тенями. Замкнутая траектория должна проходить выше уровня конька крыши, и в анимации должны максимально просматриваться геометрические элементы здания;
- разработать изображение одного фасада в соответствии с ГОСТ 21.501-93 «Система проектной документации для строительства. Правила выполнения архитектурно-строительных рабочих чертежей» без основной надписи, дополнительных граф и рамки чертежа. На изображении необходимо показать элементы геометрии (лепнина и др.) с окраской. Результат задания – статическое в виде файла размерами не менее 3200х2400 пикселей в формате .jpeg

изображение фасада с отображением геометрии и окраски элементов.

Ответы принимались в виде двух файлов: первый файл объемом до 20 Мб для десяти статических изображений, второй файл объемом до 20 Мб для одного анимационного изображения.

В заданиях предполагалось использование основных методов компьютерной графики - растровой графики для преобразования фотографий и формирования итоговых файлов визуализации, векторной двумерной графики для разработки изображения фасада и заготовок элементов поверхностей здания, векторной трехмерной графики - для разработки модели здания, формирования его окружения, разработки фотореалистичных статических и анимационного изображений.

На рис. 2 и 3 представлены элементы работ, выполненных совместной командой РГАТУ и Рыбинского полиграфического колледжа (РПК) по номинации «Современные информационные технологии в архитектуре» конкурса 2016 года.

В конкурсе 2017 года введено дополнительное задание на рисование и проектирование. При работе в растровом редакторе, кроме задания по исправлению перспективы, необходимо было преобразовать фотографию существующего здания (рис. 4), сформировав справа на растровом изображении несуществующую в настоящее время двухэтажную пристройку с учётом возможной реставрации. Допускалось копировать и преобразовывать элементы изображений с других фотографий здания, а также выполнять дорисовку в растровом редакторе, оставляя реалистичность фотографии. На рис. 5 представлен результат данного задания, выполненного командой РГАТУ и РПК.

Необходимо было разработать изображение фасада с возможной двухэтажной пристройкой в соответствии с ГОСТ 21.501-93.

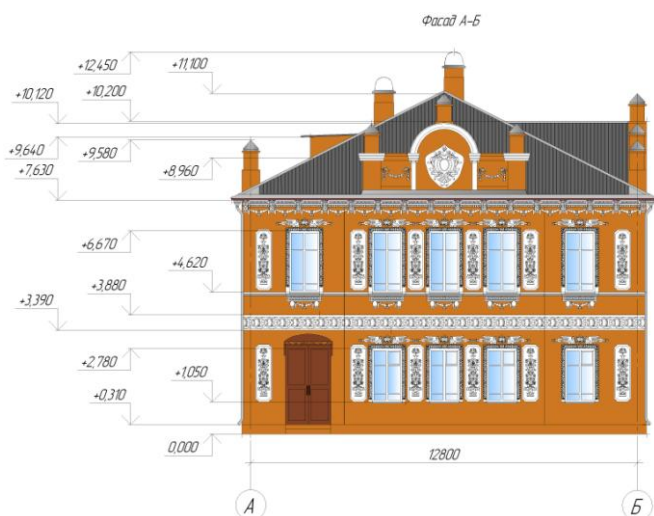


Рис. 2. Элемент выполненного задания "Изображение фасада"



Рис. 3. Элемент выполненного задания «Изображение трёхмерной электронной геометрической модели объекта»

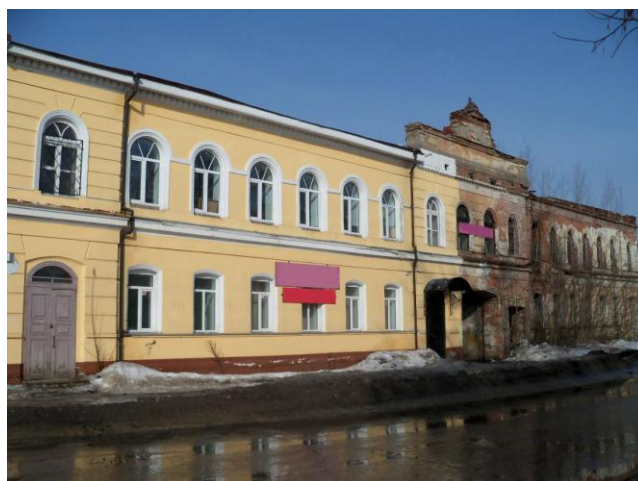


Рис. 4. Исходная фотография для дорисовки пристройки



Рис. 5. Результат задания по дорисовке изображения на фотографии

Следовало также разработать электронную геометрическую модель объекта, смоделировав геометрию наружной «отреставрированной» поверхности фасада объекта с пристройкой (часть результатов показаны на рис. 6 – 8).



Рис. 6. Одно из изображений геометрической модели объекта, выполненной командой РГАТУ и РПК



Рис. 7. Изображение геометрической модели объекта, выполненной командой Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета, занявшей первое место



Рис. 8. Изображение геометрической модели объекта, выполненной командой Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, занявшей третье место

В номинации «Современные информационные технологии в архитектуре» Всероссийского конкурса 2017 года применены следующие критерии оценки работ:

- степень исправления перспективы на фотографии (максимальный балл – 30);
- степень «реставрации» поверхности объекта и доработки фотографии с формированием изображения пристройки с применением существующих фотографий (70);

- соблюдение требований ГОСТ 21.501–93 и полнота моделирования геометрии, цвета и соблюдения размеров элементов объекта на изображении фасада с пристройкой (80);
- полнота моделирования геометрии и соблюдения размеров элементов наружной «отреставрированной» поверхности полученной трёхмерной электронной модели объекта, включающая окна, двери, арочный проём, сливные трубы и сливы крыши, центральный выступ крыши, выступы, пазы поверхности, козырьки дверей и витые кованые упоры козырьков дверей, накладки дверей и другие необходимые элементы здания с пристройкой и элементы украшения (230);
- правильный выбор текстур и окраски элементов наружной поверхности объекта (20);
- соблюдение требований по формированию фотореалистичных изображений и степень фотореалистичности изображений (40);
- соблюдение размеров изображений (30).

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Необходимость комплексного применения различных графических компьютерных методов и программ предъявляла к конкурсному требованию, соответствующие требованиям к разностороннему специалисту в области компьютерной графики.

Использование различных форм дополнительного образования, в том числе участие в конкурсах, способствует оптимизации самостоятельного обучения и выбору учащимися необходимого информационного обеспечения для выполнения графических работ в учебном заведении и в своей дальнейшей производственной деятельности.

Библиографический список

- [1] Столбова И. Д., Носов К. Г. САПР - основа графической подготовки студентов // Труды Международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования» — ИНФОРИНО-2016 (Москва, 12—13 апреля 2016 г.). — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. С. 218 – 221.
- [2] Шевелев Ю. П., Токарев В. А. Эффективность комплексного применения в профессиональной подготовке специалистов различных типов графических программ при разработке геометрических моделей // Геометрия и графика. – 2013. – Vol. 1. Iss. 3–4. – С. 40–43. DOI: 10.12737/2132.
- [3] Токарев В. А., Шевелев Ю. П. Комплексная графическая подготовка в инженерном образовании // Труды Международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования» — ИНФОРИНО-2016 (Москва, 12—13 апреля 2016 г.). — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. С. 227 – 228.
- [4] Токарев В. А. Творческое выполнение студентами комплексных конкурсных графических работ // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: традиции и инновации. Материалы VII Международной Интернет-конференции (Пермь, февраль – март 2017 г.). Выпуск 4. С. 363 – 370.

Программирование в инженерном геометрическом моделировании

на примере модели червячной фрезы

А.Л. Хейфец

Кафедра инженерной и компьютерной графики
Южно-Уральский государственный университет
г. Челябинск, Россия
heifets@yandex.ru

Аннотация — Рассмотрена программа построения 3d-модели модульной червячной фрезы. Модель предназначена на роль компьютерного шаблона для контроля точности изготовления. Модель учитывает 25–30 параметров фрезы. Программа создана на языке AutoLisp применительно к пакету AutoCAD. Отмечены достоинства этого языка. Приведены листинги программы, примеры фрез, воспроизводимых программой, исследования геометрических характеристик фрезы и поверхностей, участвующих в построении фрезы. Погрешность модели не превышает 10^{-3} мм. Программа рекомендуется для учебного процесса.

Ключевые слова — 3d компьютерное геометрическое моделирование, червячная модульная фреза; программирование, AutoCAD, AutoLisp.

I. ВВЕДЕНИЕ

Построение компьютерных реалистичных 3d моделей сегодня стало нормой в проектировании и геометрическом моделировании. Однако основным методом остается “ручное” моделирование, при котором модель создается путем выполнения пользователем команд графических редакторов (AutoCAD, Компас, SolidWorks и др.). К таким методам следует отнести и параметризацию, которая существенно упрощает моделирование, но сохраняет его “ручной” характер [1].

Качественно более высокий уровень моделирования связан с применением программной реализации моделей. Из языков графического программирования, по нашему мнению, наиболее доступным является язык AutoLisp, действующий в среде пакета AutoCAD и входящий в его поставку. По этому языку имеется обширная учебная литература [2–4] и опыт его применения в геометрическом моделировании [5].

Цель данной работы: на примере реальной задачи геометрического моделирования показать основы и учебные аспекты программирования на языке AutoLisp.

В качестве примера рассмотрена программа построения 3d модели червячной модульной фрезы. Модель разработана по заданию института ЧелябинНИИконтроль [6]

как вариант компьютерного шаблона для контроля точности изготовления фрезы [7,8].

Модель червячной фрезы характеризуется большим количеством вычислений и параметров [9–12], а также сложных 3d построений [1]. Поэтому основной вариант создания многопараметрической модели фрезы – программная реализация.

Известные компьютерные модели фрезы [12–13] применяются лишь для иллюстративных целей. Модель [1] предназначена для “ручной” реализации и является трудоемкой. Основу приведенной ниже учебной программы составляет [14].

Программа разработана применительно к пакету AutoCAD на языке AutoLisp.

II. КОНСТРУКЦИЯ ФРЕЗЫ

Фрезу (рис. 1, а) получают из цилиндрической заготовки (рис. 1, б). Прорезают канавки 1 (рис. 1, в), которые при фрезеровании обеспечивают удаление

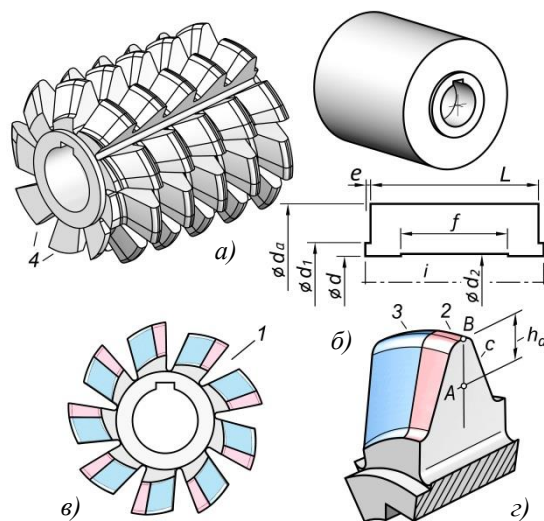


Рис. 1. Конструкция фрезы: а – общий вид; б – заготовка; в – канавки; г – зуб

Таблица 1. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФРЕЗЫ

Параметр	Значение
Модуль, m	10
Направление витков, $twist$: "По ч.с." = 1, "Против ч.с." = -1	1
Длина заготовки, L	160
Наружный диаметр, da, d_a	150
Число стружечных канавок, z_0, z_0	9
Высота зуба, h_0, h_0	25
Высота головки зуба, ha, h_a	12.5
Радиус головки зуба, ra, r_a	3.8
Радиус ножки зуба, rf, r_f	3.0
Шаг витка осевой, px, p_x	31.52
Угол профиля зуба, alf_n, α_n	20°
Толщина зуба, sn, s_n	15.93
Угол канавки, nju, ν	25°
Радиус канавки, rg, r_g	2.5
Глубина канавки, hg, H_g	37.75
Первый "затылок", $k1, K_1$	8.5
Второй "затылок", $k2, K_2$	12
Доля первой поверхности, k_{12}	0.33

стружки металла. Резец с профилем канавки перемещают по траектории, которая может быть цилиндрической винтовой линией – гелисой или прямой линией.

Каждый зуб имеет две поверхности (рис. 1, z). Они образуются перемещением резца, имеющего профиль поверхности, по коническим гелисам. Первая поверхность 2 определяет профиль зубчатых колес, нарезаемых фрезой. Линия s является режущей кромкой зуба. К первой поверхности предъявляют высокие требования по точности и прочности. Ее выполняют шлифованной.

Вторая поверхность 3 служит для усиления зуба и может иметь различный профиль.

Особую форму имеют концевые зубья 4, расположенные по обе стороны фрезы.

Номенклатура червячных фрез насчитывает ≈ 400 вариантов [15,16]. Для каждого варианта заданы 30...35 параметров. В приведенном ниже учебном (сокращенном) варианте программы количество параметров ограничено до 18 (таблица 1). Боковая поверхность зуба является конволютным геликоидом, фреза содержит один виток. Профиль поверхностей зуба (см. рис. 4, a) является единым. Канавки для стружки h^* винтовые (см. рис. 2, a). Передний угол зуба $\gamma = 0^\circ$ (см. рис. 6, $в$). В качестве примера рассмотрена модель фрезы № 2510-4223 [16] (см. таблицу 1 и рис. 1, a).

III. АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ

Главная функция `main` (таблица 2) последовательно вызывает входящие в нее функции (подпрограммы).

Таблица 2. ГЛАВНАЯ ФУНКЦИЯ

```
(defun main ( )
  (my_settings) ; настройки
  (data_set) ; ввод данных
  (setq billet (billet_beg da L) ; цилиндрическая заготовка
  (setq steps (calc_steps da ha px) ; геометрические вычисления
  (setq gr_prof (groove_profile da hg rg nju) ; профиль канавки
  (setq helix_gr (groove_path steps da ha twist px L)) ; траектория канавки
  (all_grooves helix_gr gr_prof steps twist z0) ; построение всех канавок
  (setq profile (teeth_profile steps sn alf_n h0 ha ra rf) ; профиль зубьев
  (setq helix_1 (helixes twist da px z0 nil k1)) ; гелиса первой поверхности зуба
  (setq helix_2 (helixes twist nil px z0 helix_1 k2)) ; гелиса второй поверхности
  (setq vol_1 (teeth_volume profile helix_1 steps twist)) ; первая поверхность зуба
  (setq vol_2 (teeth_volume profile helix_2 steps twist)) ; вторая поверхность зуба
  (all_teeth vol_1 vol_2 twist steps z0 L) ; построение всех зубьев
  (end_teeth da m L) ; подрезка концевых зубьев
  (billet_end L d1 e d d2 f bp hp) ; буртики, шпоночный паз
  )
)
```

Таблица 3. НАСТРОЙКИ, ВВОД ДАННЫХ, ЗАГОТОВКА, ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

```
(defun my_settings ( ) ; настройки
  (setvar "cmdecho" 0) (setvar "osmode" 0)
  (command "_erase" "_all" "")
  )
(defun data_set ( ) ; ввод данных
  (setq m 10. twist 1 L 160. da 150. z0 9 h0 25.
  ha 12.5 ra 3.8 rf 3.0 px 31.52 alf_n 20. sn 15.93
  nju 25. rg 2.5 hg 37.75 k1 8.5 k2 12. d1 72.
  e 5. d 50. d2 52. f 60. bp 14. hp 3.8
  )
  )
(defun billet_beg (da L) ; заготовка
  (command "_ucs" "" "_ucs" "_za" '(0 0) '(1 0))
  (command "_cylinder" '(0 0) "_d" da L)
  (entlast)
  )
(defun calc_steps (da ha px / lambd lambd ; вычисления
  lambd_2 p1 p2 p3 p4 p5 pn rh sa sx)
  (setq rh (- (/ da 2.) ha)
  lambd (atan (/ px 2 pi rh))
  lambd_2 (* 180.0 (/ lambd pi))
  lambd_2 (* 180.0 (/ (atan (/ px pi da)) pi))
  p1 '(0 0) p2 (list (* 2 pi rh) 0)
  p3 (polar p2 (/ pi 2) px)
  p4 (polar p2 (+ (/ pi 2) lambd) px)
  p5 (inters p1 p3 p2 p4 nil)
  sx (cadr p5) sa (* (/ sx px) 360.)
  pn (distance p2 p5)
  )
  (list sx sa pn lambd_2 lambd_2)
  )
)
```

Назначение функций поясняется приведенными комментариями. Функция `my_settings` задает настройки пакета (таблица 3). В ней приведены две минимально-необходимые настройки. Функция `data_set` присваивает параметрам их значения. Приведен наиболее простой вариант этой функции. Функция `billet_beg` создает цилиндрическую заготовку `billet`. Последующие функции выполняют действия с этой заготовкой: прорезают канавки, формируют зубья и т.д.

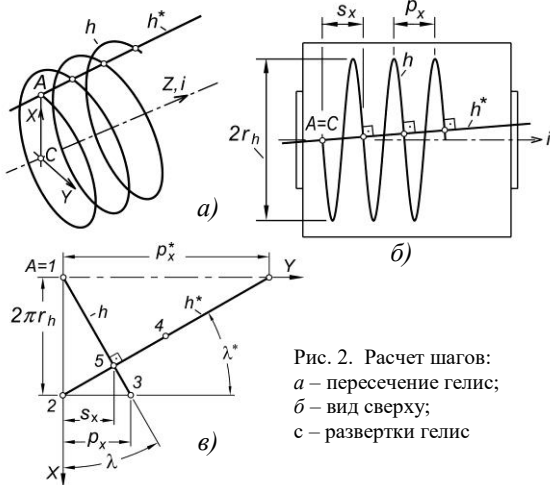


Рис. 2. Расчет шагов:
 а – пересечение гелис;
 б – вид сверху;
 с – развертки гелис

IV. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Траектории стружечных канавок h^* и гелисы h в точках пересечения должны быть взаимно перпендикулярны (рис. 2, а) [9,10]. Обе гелисы расположены на “делительном” цилиндре, имеющем

Таблица 4. РАСЧЕТ КАНАВОК

```

===== Расчет профиля канавок
(defun groove_profile (da hg rg nju / p1 p2 p3 p4 pb pc pv ra)
  (setq nju (* pi (/ nju 180.)) ra (/ da 2.) pB (list 0 ra)
        p1 (list 0 (+ ra (* 0.1 hg)))
        p2 (list 0 (- ra (- hg rg)))
        pc (polar p2 0 rg)
        p3 (list (+ (car pc) (* rg (cos nju)))
                 (- (cadr pc) (* rg (sin nju))))
        pv (inters pB p2 p3 (polar p3 (- (/ pi 2) nju) 1) nil)
        p4 (inters pB (polar pB 0 1) pv p3 nil)
  )
  (list p1 p2 rg p3 p4)
)

(defun draw_profile_groove (lst) ;_Построение профиля
  (command "_pline" (nth 0 lst) (nth 1 lst) "_arc" "_r"
            (nth 2 lst) (nth 3 lst) "_line" (nth 4 lst) "_cl" )
)

===== расчет траектории канавок
(defun groove_path (steps da ha twist px L
                  / i ibeg list1 n n_summ p pt rh sa1 sx1)
  (command "_ucs" "" "_ucs" "_y" -90 "_ucs" "_x" 180)
  (setq rh (- (/ da 2.) ha) n 5
        sx1 (/ (nth 0 steps) n)
        sa1 (/ (- 360. (nth 1 steps) n)
              (* pi (/ sa1 180.)))
        ibeg 3
        n_summ (fix (+ (* 2 ibeg) (/ L sx1)))
        i (- ibeg)
  )
  (repeat n_summ
    (setq pt (polar '(0 0) (* -1 twist sa1 i) rh)
          pt (list (car pt) (cadr pt) (* sx1 i)))
    list1 (cons pt list1)
    i (1+ i)
  )
  );_repeat
  (setq list1 (reverse list1))
  (mapcar '(lambda (p) (trans p 1 0)) list1)
)

```

радиус $r_h = (0.5 \cdot da - ha)$ и шаг p_x . Значения da , ha , p_x являются параметрами фрезы (см. таблицу 1). Точки А зубьев фрезы (см. рис. 1, з) совмещаются с точками пересечения гелис. Возникает задача определения осевого s_x и окружного шагов точек пересечения гелис h и h^* .

Чтобы избежать решения систем тригонометрических уравнений для трехмерной (рис. 2, а) или плоской (рис. 2, б) модели пересечения, построим развертки гелис (рис. 2, в) – прямые линии. Начальную образующую развертки делительного цилиндра совмещаем с осью Y. По значению p_x строим развертку одного витка гелисы h – отрезок 1-3. Развертку гелисы h^* строим как отрезок 2-4, выполняя условие $h^* \perp h$.

Расчет выполняет функция `calc_steps` (см. таблицу 3), которая в системе координат XAY вычисляет точки $p_1...p_4$ и находит точку p_5 . Координата Y точки p_5 равна искомому значению s_x . Окружной шаг $sa = (s_x / p_x) \cdot 360^\circ$.

Определяется еще ряд параметров, необходимых для последующих построений. По длине отрезка 2-5 находим нормальный шаг витков pn , необходимый в программе б. По отношению $p_x / (2\pi \cdot r_h)$ находим угол λ (lambda) подъема витков гелисы h (см. таблицу 5). Угол λ_{2} равен углу подъема витков гелисы, имеющей шаг p_x , “намотанной” на наружный цилиндр диаметром da . Результаты вычислений заносятся в список (list s_x sa pn λ λ_2), сохраняются в переменной `steps` главной функции `main` (см. таблицу 2), из которой считываются последующими функциями. Параметры гелисы h^* : ее угол подъема витков λ^* и осевой шаг p_x^* – являются справочными.

V. ПОСТРОЕНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ КАНАВОК

Построение канавок выполняют три функции. Функция `groove_profile` (таблица 4) по параметрам da , hg , rg , nju (см. таблицу) вычисляет координаты опорных точек $p_1...p_4$ профиля канавки (рис. 3, а) и вносит их в список `gr_prof` главной функции `main` (см. таблицу 2).

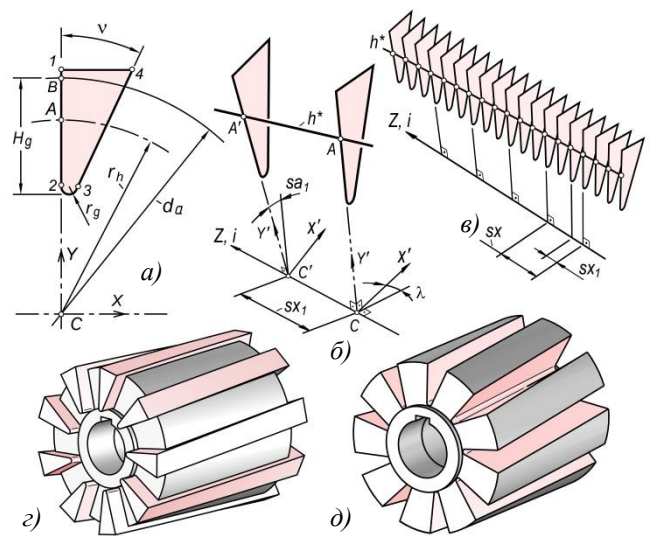


Рис. 3. Построение канавок: а – профиль канавок;
 б, в – размещение профилей; з, д – массив канавок

Таблица 5. ФОРМИРОВАНИЕ КАНАВОК

```
(defun all_grooves (helix_gr gr_prof steps twist z0
  / alfy lambd_ namlast rh ss ss1)
  (setq lambd_ (nth 3 steps) alfy -90.)
  (if (/= twist 1) (setq lambd_ (- lambd_) alfy 90.))
  (setq ss (ssadd))
  (foreach p helix_gr
    (command "_ucs" "" "_ucs" "_or" (list (car p) 0 0)
      "_ucs" "_3" '(0 0) '(1 0) (trans p 0 1)
      "_ucs" "_y" (+ alfy lambd_) )
    (draw_profile_groove gr_prof)
    (setq ss (ssadd (entlast) ss))
  );_foreach
  (setq namlast (entlast) ss1 (ssadd))
  (command "_loft" ss "" "")
  (command "_ucs" "" "_ucs" "_x" 90 "_ucs" "_y" -90)
  (command "_array" (entlast) "" "_p" '(0 0) z0 "" "")
  (while (setq namlast (entnext namlast))
    (setq ss1 (ssadd namlast ss1))
  )
  (command "_subtract" billet "" ss1 "" )
)
```

Функция `groove_path` по параметрам `steps`, `da`, `ha`, `twist`, `px`, `L` вычисляет координаты траектории канавки h^* . Для этого из списка `steps` извлекаются значения `sx1`, `sa1`, по которым выполняется смещение точки A вдоль оси фрезы i с шагом `sx1` и вращение с шагом `sa1` (рис. 3, б). Плотность размещения точек траектории задается значением $n = 3 \dots 10$. Список координат точек траектории сохраняется в переменной `helix_gr` главной функции `main` (см. таблицу 2).

Функция `all_grooves` (таблица 5) получает параметры `helix_gr`, `gr_prof`, `steps`, `twist`, `z0`. В каждой точке траектории `helix_gr` задается плоскость построений $ХСУ$ (см. рис 3, б), перпендикулярная траектории h^* . Угол `lambd_`, обеспечивающий перпендикулярность, определённый ранее (см. угол λ , рис. 2, в), извлекается из списка `steps`. В этих плоскостях вспомогательная функция `draw_profile_groove` (см. таблицу 4) осуществляет построение профиля по списку координат `gr_prof` (рис. 3, в). По набору `ss` созданных профилей, как по сечениям, команда `loft` формирует тело единичной канавки. Команда `array` создает круговой массив канавок и вносит его в набор `ss1` (рис. 3, з). Команда `subtract` вычитает набор `ss1` из заготовки фрезы `billet` (рис. 3, д).

VI. ФОРМИРОВАНИЕ ЗУБЬЕВ ФРЕЗЫ

Зубья фрезы формируют четыре функции. Они создают объемы “металла”, которые вычитаются из объема заготовки `billet`.

Функция `teeth_profile` (таблица 6) по параметрам `steps`, `sn`, `alf_n`, `h0`, `ha`, `ra`, `rf` вычисляет координаты точек профиля. Первоначально строятся отрезки `p1–p23`, `p23–p45`, `p45–(0 0)` (рис. 4, а). К ним применяют команду `fillet`, которая выполняет сопряжение по дугам окружности радиусов `rf`, `ra`. Координаты полученных точек сопряжения `p2...p5` функцией `entget` извлекаются из базы данных `dwg`-файла. Точки правой стороны контура `p6...p10` определяются по симметрии относительно оси Y .

Таблица 6. РАСЧЕТ ЗУБА ФРЕЗЫ

```
;;;=====Профиль зуба
(defun teeth_profile (steps sn alf_n h0 ha ra rf
  / alf1 del del1 name1 name12 name2 name23 name3
  nam_last p0 p1 p10 p11 p12 p2 p23 p3 p4 p45
  p5 p6 p7 p8 p pn )
  (command "_ucs" "")
  (setq pn (nth 2 steps))
  p0 (list (/ sn -2.) (- ha))
  alf1 (* pi (/ (-90 alf_n) 180.))
  p1 (list (/ pn -2) (- h0))
  p23 (inters p0 (polar p0 alf1 1)
    (list 0 (- h0)) (list 1 (- h0)) nil )
  p45 (inters p23 p0 '(0 0) '(1 0) nil )
  (command "_line" p1 p23 "") (setq name1 (entlast))
  (command "_line" p23 p45 "") (setq name2 (entlast))
  (command "_line" p45 '(0 0) "") (setq name3 (entlast))
  (command "_fillet" "_r" rf "" "_fillet" name1 name2)
  (setq name12 (entlast))
  (command "_fillet" "_r" ra "" "_fillet" name2 name3)
  (setq name23 (entlast))
  (setq p2 (cdr (assoc 11 (entget name1))))
  p3 (cdr (assoc 10 (entget name2)))
  p4 (cdr (assoc 11 (entget name2)))
  p5 (cdr (assoc 10 (entget name3)))
  p6 (list (- (car p5)) 0)
  p7 (list (- (car p4)) (cadr p4))
  p8 (list (- (car p3)) (cadr p3))
  p9 (list (- (car p2)) (cadr p2))
  del (* 0.1 (distance p1 p23))
  p10 (list (+ (- (car p1)) del) (cadr p1))
  del1 (* 0.5 h0)
  p11 (list (car p10) del1)
  p12 (list (car p1) del1) )
  (command "_erase" name1 name2 name3 name12 name23 "")
  (list p1 p2 p3 p4 p5 p6 p7 p8 p9 p10 p11 p12)
)
(defun draw_profile (lst)
  (command "_pline" (nth 0 lst) (nth 1 lst)
    "_a" (nth 2 lst) "_L" (nth 3 lst) "_a" (nth 4 lst)
    "_L" (nth 5 lst) "_a" (nth 6 lst) "_L" (nth 7 lst)
    "_a" (nth 8 lst) "_L" (nth 9 lst) (nth 10 lst) (nth 11 lst) "_cl" )
)
;;;=====ТРАЕКТОРИИ ЗУБЬЕВ
(defun helixes (twist da px z0 helix_1 kh / alf ang i kz
  list1 n nbeg nend nn p0 pc r0 sa sr sx zbeg)
  (setq kz (if (= twist 1) 1 -1) pc (list (* 0.45 px) 0 0)
    n 50 nn (fix (* 0.28 n)) nbeg -1 )
  (command "_ucs" "" "_ucs" "_or" pc
    "_ucs" "_x" 90 "_ucs" "_y" (* kz -90))
  (if (not helix_1) (setq r0 (/ da 2.)
    ang (/ pi 2) zbeg 0 nend nn )
    (setq p0 (trans (last helix_1) 0 1)
      r0 (distance p0 '(0 0)) ang (angle '(0 0) p0)
      zbeg (caddr p0) nend (- n nn 3) )
  );_if
  (setq alf (/ (* 2 pi) z0) sa (/ alf (1- n))
    sx (/ px z0 (1- n)) sr (/ kh (1- n)) i nbeg )
  (repeat (- nend nbeg)
    (setq p (polar '(0 0) (+ ang (* sa i)) (- r0 (* sr i)
      p (list (car p) (cadr p) (+ zbeg (* kz sx i)))
      list1 (cons p list1) i (1+ i) )
  )
  (mapcar '(lambda (p) (trans p 1 0)) (reverse list1))
)
```

Таблица 7. ПОСТРОЕНИЕ ЗУБЬЕВ ФРЕЗЫ

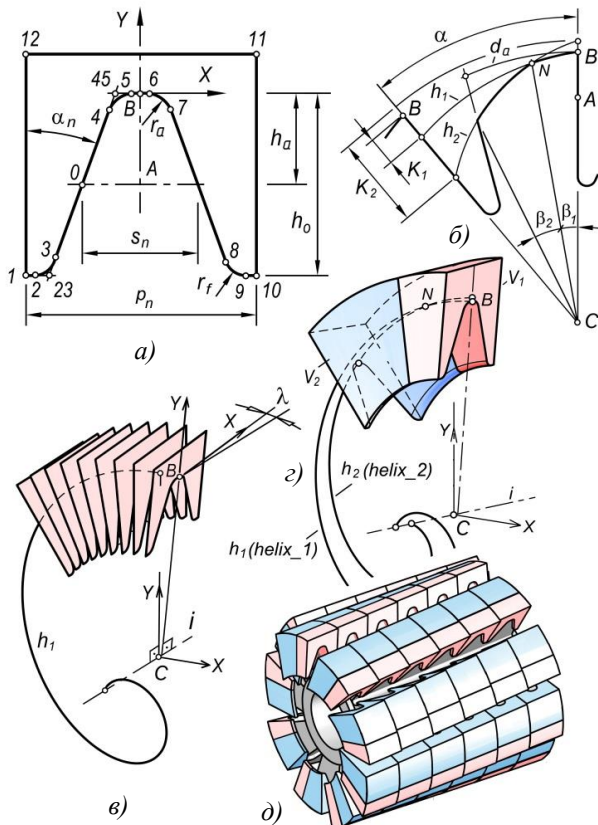


Рис. 4. Построение зубьев: а – профиль зуба; б – траектории; в – размещение профилей; г – единственный удаляемый объем; д – массив объемов.

Координаты точек профиля $p_1...p_{12}$ определяются относительно осей XVY и заносятся в список `profile` (см. таблицу 2).

Траектории перемещений контура h_1, h_2 вычисляет функция `helixes` (см. таблицу 6). Обе траектории являются коническими гелисами (рис. 4, б-г). Они определяются угловым sa , осевым sz и радиальным sr шагами. Плотность точек траекторий задана значением $n=50$. Траектория первого затылования h_1 начинается от точки p_{beg} , вынесенной на один шаг перед точкой B , и выполняется до точки N (рис. 4, б). От точки N происходит вычисление траектории h_2 . Точка N совмещения траектории определяется из условия $k_{12} = 0.33$ (см. таблицу 1), т.е. $\beta_1 \approx 0.5 \cdot \beta_2$, и задается значением np . Значения sa, sz едины для обеих траекторий. Значения sr различны и определяются параметрами k_1, k_2 (см. таблицу 1). Найденные точки траекторий h_1, h_2 в виде списков координат заносятся в переменные соответственно `helix_1, helix_2` функции `main` (см. таблицу 2).

Функция `teeth_volume` (таблица 7) строит объекты удаляемого металла. Если параметр `helix` задан равным `helix_1`, создается объем V_1 (рис. 4, в). При `helix_2` создается объем V_2 . В каждой точке траектории, перпендикулярно ей, задается плоскость, в которой

```

;;=====ОБЪЕМ ЗУБА (ВЫЧИТАЕМЫЙ)
(defun teeth_volume (profile helix steps twist / lambda_2 ss)
  (setq lambda_2 (nth 4 steps))
  (if (/= twist 1) (setq lambda_2 (- lambda_2)) )
  (setq ss (ssadd))
  (foreach p helix
    (command "_ucs" "" "_ucs" "_or" (list (car p) 0 0)
      "_ucs" "_3" '(0 0) '(1 0) (trans p 0 1)
      "_ucs" "_or" (trans p 0 1) "_ucs" "_y" lambda_2)
    (draw_profile profile)
    (setq ss (ssadd (entlast) ss))
  );_foreach
  (command "_loft" ss "" "")
  (entlast)
)

```

```

;;=====ВСЕ ЗУБЬЯ ФРЕЗЫ
(defun all_teeth (vol_1 vol_2 twist steps z0 L
  / k n_all sa1 ss sx1 vol_12)
  (command "_union" vol_1 vol_2 "")
  (setq vol_12 (entlast) k (if (= twist 1) -1 1)
    sa1 (/ (cadr steps) z0) sx1 (/ (car steps) z0) )
  (command "_ucs" "" "_ucs" "_x" 90 "_ucs" "_y" -90)
  (command "_rotate" vol_12 "" '(0 0) (* k sa1 -1 z0))
  (command "_move" (entlast) "" "" (list 0 0 (- (* sx1 -1 z0))))
  (setq ss (ssadd) ss (ssadd vol_12 ss)
    n_all (fix (* (+ 1.5 (/ L (car steps))) z0)) )
  (repeat n_all
    (command "_rotate" vol_12 "" '(0 0) "_c" (* k sa1))
    (command "_move" (entlast) "" "" (list 0 0 (- sx1)))
    (setq vol_12 (entlast) ss (ssadd vol_12 ss) )
  );_repeat
  (command "_subtract" billet "" ss "")
)

```

функция `draw_profile` (см. таблицу 6) по списку точек `profile` строит профиль (рис. 4, в). По этим профилям как по сечениям команда `loft` формирует объекты vol_1, vol_2 (см. функцию `main`, таблица 2).

Функция `all_teeth` (см. таблицу 7) объединяет объемы vol_1 и vol_2 . Суммарный объем vol_12 (рис. 4, г) размещается по поверхности цилиндрической заготовки с осевым sx_1 и угловым sa_1 шагами (рис. 4, д). Количество объемов vol_12 определяется значением n_{all} из условия полного покрытия поверхности заготовки. Поверхности зубьев формируются при вычитании всех объемов vol_12 из заготовки `billet`.

VII. ПОДРЕЗКА КОНЦЕВЫХ ЗУБЬЕВ. ЗАВЕРШЕНИЕ МОДЕЛИ

Первоначально зубья, расположенные по концам фрезы, имеют острые кромки (рис. 5, а). Согласно [15, 16] острые кромки необходимо обрезать (рис. 5, б) до толщины $\delta=0.5 \cdot m$, где m – модуль (см. таблицу 1). Функция `end_teeth` (таблица 8) строит сечения плоскостями Δ и диски S, S^* с отверстиями, равными контурам этих сечений (рис. 5, в, г) и вычитает их из заготовки `billet` (рис. 5, д).

Таблица 8. ЗАВЕРШЕНИЕ ПОСТРОЕНИЙ

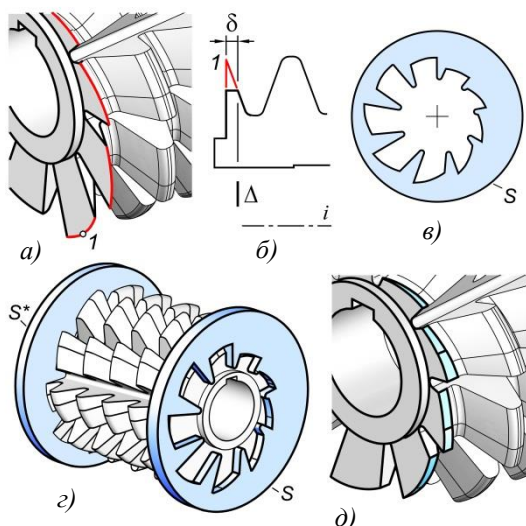


Рис. 5. Подрезка концевых зубьев: *a* – острые кромки; *b* – величина подрезки; *в* – границы подрезки; *г* – диски; *д* – зубья после подрезки

Завершает построение модели функция `billet_end` (см. таблицу 8), которая создает посадочное отверстие и буртики (см. рис. 1, б), а также шпоночный паз шириной bp и глубиной hp . Функция создает цилиндры, параллелепипед и вычитает их из заготовки `billet`. После этой функции модель фрезы закончена (см. рис. 1, а).

VIII. ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ФРЕЗЫ

Приведенная программа успешно строит модели фрезы в широком диапазоне ее параметров. Например, фреза (см. рис. 1, а; см. таблицу 1) имеет модуль 10, продольных канавок 9 и полных зубьев 45. Фреза (рис. 6, а) по ГОСТ 9324-80, № 2510-4001 имеет модуль 1, канавок 16 и насчитывает 240 зубьев. Полный вариант программы позволяет воспроизвести все предусмотренные [15,16] параметры. Примером является фреза (рис. 6, б) с несколькими витками или фреза с увеличенным передним углом зубьев (рис. 6, в).

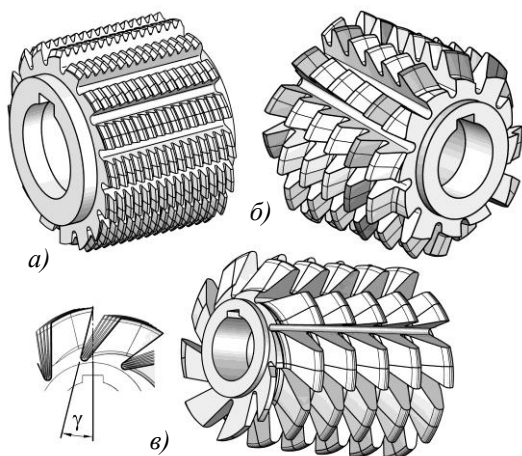


Рис. 6. Варианты модели фрезы: *a* – мелко модульная фреза; *б* – четырехвитковая; *в* – с увеличенным передним углом

```

;=====ПРИТУПЛЕНИЕ КОНЦЕВЫХ ЗУБЬЕВ
(defun end_teeth (da m L / del name)
  (setq del (/ m 2.))
  (command "_ucs" "" "_ucs" "_za" (list del 0) '(0 0))
  (repeat 2
    (command "_section" billet "" "_xy" "")
    (setq name (entlast))
    (command "_circle" '(0 0) (* da 0.6)) "_region" (entlast) ""
    "_subtract" (entlast) "" name "" "_extrude" (entlast) "" m
    "_subtract" billet "" (entlast) ""
    "_ucs" "" "_ucs" "_za" (list (- L del) 0) (list L 0))
  )
)

;===== ПОСАДОЧНОЕ ОТВЕРСТИЕ, БУРТИКИ, ПАЗ
(defun billet_end (L d1 e d d2 f bp hp / L1 name1 name2 name3)
  (command "_ucs" "" "_ucs" "_za" (list (- e) 0 0) '(1 0))
  (setq L1 (+ L e e))
  (command "_cylinder" '(0 0) "_d" d1 L1)
  (command "_union" billet (entlast) "")
  (command "_cylinder" '(0 0) "_d" d L1)
  (setq name1 (entlast))
  (command "_cylinder" (list 0 0 (* 0.5 (- L1 f))) "_d" d2 f)
  (setq name2 (entlast))
  (command "_box" (list (/ bp -2.) 0 0)
    (list (/ bp 2.) (+ (/ d 2.) hp) L1))
  (setq name3 (entlast))
  (command "_subtract" billet "" name1 name2 name3 "")
)

```

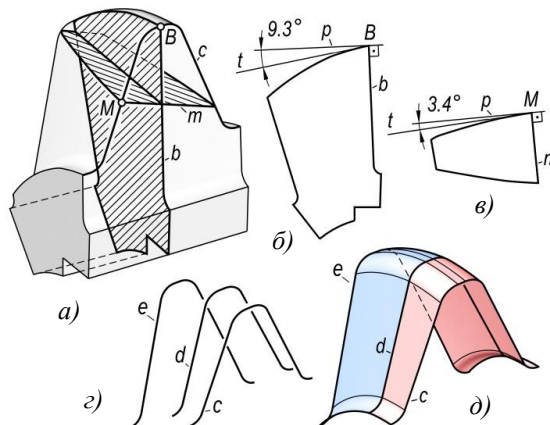


Рис. 7. Измерения: *a* – сечения зуба; *б* – передний угол резания; *в* – боковой угол резания; *г* – кромки зуба; *д* – боковая поверхность зуба

Программирование позволяет эффективно исследовать геометрические свойства объектов. Примером является измерение углов резания фрезы. На режущей кромке зуба задаем точки измерения B, M (рис. 7, а). Командой `section` строим сечения зуба (рис. 7, б, в), перпендикулярные режущей кромке. В плоскостях сечений определяем углы между перпендикуляром p и касательной t к кромке и сравниваем их с допустимыми значениями [9,10,15,16].

Возможности AutoCAD позволяют исследовать геометрические характеристики кромок (рис. 7, г) и поверхностей зуба (рис. 7, д). Дополнительные функции программы позволяют выполнять сложные измерения и в

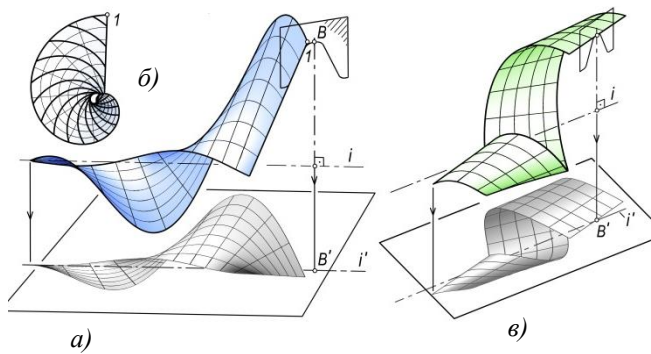


Рис. 8. Геликоиды как поверхности фрезы: а – поверхность боковой стороны профиля зуба; б – поперечные сечения; в – поверхность верхней стороны профиля

автоматическом режиме строить зависимости в виде графиков.

Погрешность модели и программы была оценена по изменению координат характерных точек зуба, например, точек В (см. рис. 1, з) в зависимости от точности задания траекторий h , h^* (см. рис. 2, а), являющихся дискретными кривыми – сплайнами. С увеличением $n > 5$ (см. таблицу 4) и $n > 50$ (см. таблицу 6) изменение координат не превышало 10^{-4} мм. Погрешность остальных графических алгоритмов, участвующих в построении модели фрезы, также не выходит за эти границы [17]. Это дает суммарную погрешность модели на уровне $10^{-3} \dots 10^{-4}$ мм.

IX. УЧЕБНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОГРАММЫ

Программа показывает решение реальной задачи, имеющей практическое применение. Алгоритм воспроизводит технологию изготовления моделируемого объекта. Это обеспечивает его наглядность и понимание.

Программа построена на основных операциях геометрического моделирования. Это преобразования систем координат, применение геометрических примитивов (отрезки, окружности, сплайны ...) и их преобразование (копирование, создание массивов). Построение плоских профилей и пространственных траекторий. Построение поверхностей перемещением профилей по траекториям. Операции сложения или вычитания поверхностей. Расчеты на основе геометрических построений как альтернатива аналитическим методам.

Программа показывает основы языка AutoLisp, содержит функции языка, характерные для геометрического моделирования.

Программа общедоступна. Для ее воспроизведения достаточно освоить несложные приемы работы [1–5].

Дополнительные функции, аналогичные приведенным выше, позволяют в учебном процессе демонстрировать и исследовать кинематические поверхности и пространственные кривые, образующие фрезу. Это конволютые геликоиды (рис. 8, а, в) и “удлиненные эвольвенты”, являющиеся их поперечным сечением (рис. 8, б). Линии с, d, e (см. рис. 7, з, д), являются

пространственными кривыми пересечения геликоидов и также могут быть исследованы. Это указывает на взаимосвязь программирования с учебными курсами графических дисциплин кафедр графики.

X. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные характеристики программы позволяют рассматривать ее как эффективный учебный пример для освоения программирования.

Приведенный пример характеризует программирование как перспективное направление совершенствования учебного процесса кафедр графики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Инженерная 3d-компьютерная графика. Учебник и практикум для академического бакалавриата. / А.Л. Хейфец, А.Н. Логиновский, И.В. Буторина, В.Н. Васильева; под ред. А.Л. Хейфеца. – 3-е изд., пер. и доп. – М.: Изд-во Юрайт. – 2015. – 602 с.
- [2] Полещук Н.Н. Программирование для AutoCAD 2013-2015 / Н.Н. Полещук. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 262 с.
- [3] АВТОЛИСП – язык графического программирования в системе AutoCAD. http://kappasoft.narod.ru/info/acad/lisp/a_lisp.htm#L.
- [4] Гладков С.А. "Программирование на языке Автолисп в системе САПР Автокад". М.: "ДИАЛОГ-МИФИ". – 1991. – 96 с.
- [5] Хейфец А.Л. Инженерная компьютерная графика. AutoCAD. Опыт преподавания и широта взгляда / А.Л. Хейфец. – М.: Диалог МИФИ. – 2002. – 432 с.
- [6] Челябинский контроль: – <http://www.toolmaker.ru/main.htm>
- [7] Сурков И.В. Координатные измерения геометрических параметров режущих инструментов на этапах изготовления и эксплуатации / И.В. Сурков, А.С. Курочкин, О.С. Красикова // Вестник ЮУрГУ. “Машиностроение”. – 2010. – Вып. 16. – №29(205). – С. 76–84.
- [8] Производство координатно-измерительных машин ООО "Лапик": <http://www.lapic.ru/>
- [9] Семенченко И.И. Проектирование металлорежущих инструментов / И.И. Семенченко, В.М. Матюшин, Г.Н. Сахаров. – М.: Машгиз. – 1963. – 952 с.
- [10] Токарев В.В. Червячные зуборезные фрезы / В.В. Токарев, Г.Г. и др. – Волгоград: ВолгГТУ. – 1998. – 136 с.
- [11] Андросов С.П. Моделирование затылования зубьев червячной модульной фрезы / С.П. Андросов, Д.В. Визигин // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2013. – № 3 (60). – С. 41–46.
- [12] Щёкин А. Автоматизация проектирования червячных зуборезных фрез в системе КОМПАС / А. Щёкин, Э. Митин, С. Сульдин // САПР и графика. – 2011. – № 12. – С. 101–104.
- [13] Тахман С.И., Рохин Л.В., Тюкалов О.Ф. Создание 3D модели процесса зубофрезерования // Вестник Курганского государственного университета. – 2010. – № 1. – С. 118–120.
- [14] Хейфец А.Л. 3d модель червячной затылованной фрезы / А.Л. Хейфец // Свидетельство о гос. регистрации программы ЭВМ №2013660678. Дата гос. регистрации 14 ноября 2013 г.
- [15] Фрезы червячные мелко модульные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем / ГОСТ 10331-81.
- [16] Фрезы червячные чистовые однозаходные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем / ГОСТ 9324-80.
- [17] Хейфец А.Л. Геометрическая точность компьютерных алгоритмов конструктивных задач / А.Л. Хейфец // Материалы VI Международной научно-практической интернет конференции, Пермь, февраль-март 2016 г. – Пермь: ПНИПУ. – Вып. 3. – 2016. – С.367–387. <http://elibrary.ru/item.asp?id=27220185>
<http://dgng.pstu.ru/conf2016/papers/74/>

Аутентификация пользователей при их работе в Интернете

П.Б.Хорев

Кафедра прикладной математики
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва, Россия
pbkh@yandex.ru

Аннотация — Анализируются недостатки существующих методов аутентификации пользователей при удаленном доступе к информационным системам. Предложен метод многофакторной аутентификации на основе проверки знания секретного пароля и проверки соответствия привычек и предпочтений пользователя при работе в Интернете его интересам, определенным при регистрации в системе. Определены языковые и инструментальные средства реализации предложенного алгоритма аутентификации.

Ключевые слова — аутентификация пользователей; удаленный доступ; объектная модель документа; классификация текстовых документов

I. ВВЕДЕНИЕ

Многие Интернет-сайты и порталы (в том числе институтов дистанционного обучения) должны ограничивать доступ к своему содержимому для неавторизованных пользователей. Безопасность процедуры входа для пользователя во многом определяет защищенность такой информационной системы в целом (а в случае систем дистанционного обучения и достоверность результатов выполнения учебных заданий). Аутентификация (подтверждение подлинности) имени пользователя является одним из этапов процесса его входа в систему. Традиционные методы аутентификации (на основе многопарольного пароля, биометрических характеристик и с помощью устройств) обладают общим недостатком – возможностью перехвата аутентифицирующей информации и ее последующим использованием нарушителем для выполнения каких-либо действий от имени зарегистрированного пользователя. Для повышения защиты от несанкционированного доступа к ценной информации обычно рекомендуется использовать двухфакторную аутентификацию.

Целью данной работы является разработка метода двухфакторной аутентификации пользователя Интернет-сайта или портала, в котором первичным фактором аутентификации является пара имя («логин») пользователя и его пароль, а вторичным – знания о привычках и предпочтениях пользователя при работе в Интернете.

II. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ УДАЛЕННОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Практически единственным достоинством аутентификации на основе проверки знания многопарольного пароля является простота ее реализации и использования. В то же время парольная аутентификация имеет много недостатков:

- Пароли многих пользователей можно достаточно легко подобрать из-за выбора коротких, простых и не уникальных паролей.
- Наличие в свободном доступе разнообразных утилит для подбора паролей.
- Возможность получения пароля путем воздействия на пользователя (например, его обмана).
- Возможность перехвата пароля при его вводе или передаче по компьютерной сети.

Аутентификация на основе устройства основывается на уникальности и конфиденциальности информации, содержащейся в памяти такого устройства. Чаще всего для аутентификации используются следующие устройства:

- Токены, состоящие из процессора и памяти и подключаемые к порту USB компьютера.
- Смарт-карты, по функциональности схожие с токенами, но требующие для их подключения к компьютеру специальных считывателей.
- Идентификаторы iButton (или Touch Memory), которые содержат только память, хранящую уникальную информацию о владельце устройства.

При использовании активных устройств (токенов или смарт-карт) процедура аутентификации может включать в себя генерацию и проверку одноразовых паролей или вычисление отклика на случайный запрос (модель «рукопожатия») [1]. К достоинствам аутентификации с помощью устройств относится отсутствие ограничений на длину и сложность хранящегося в памяти устройства секрета, возможность своевременного обнаружения факта потери или кражи устройства, возможность объединения с парольной аутентификацией для защиты от использования

устройства посторонним лицом (с помощью так называемых PIN-кодов).

Но аутентификация с применением устройств также имеет ряд недостатков:

- Возможность отказа или случайного повреждения устройства.
- Необходимость дополнительных затрат на выдаваемые пользователям устройства и их считыватели.
- Необходимость наличия свободного USB-порта или дополнительного оборудования для подключения устройства к компьютеру.
- Возможность изготовления нарушителем дубликата или аналога устройства либо его эмулятора.

При биометрической аутентификации проверяется наличие у пользователя уникальных и неотделимых от личности характеристик, разделяемых на статические (узоры папиллярных линий или «отпечатки» пальцев, форма руки, радужная оболочка и сетчатка глаза, форма лица и др.) и динамические (тембр голоса, рукописная подпись, темп скорость или клавиатурный «почерк» и др.).

К достоинствам биометрической аутентификации относятся достоверность результатов проверки подлинности, удобство для пользователя, сложность фальсификации биометрических характеристик.

Недостатки биометрической аутентификации:

- Дополнительные затраты на оборудование для считывания биометрических характеристик.
- Хранение эталонов биометрических характеристик в открытом виде, приводящее к риску нарушения тайны частной жизни пользователя.
- Возможность отказа зарегистрированному пользователю из-за случайного большого отклонения его считанной характеристики от эталона.
- Возможность перехвата биометрической характеристики при ее передаче по компьютерной сети.

Для защиты от перехвата биометрической характеристики и ее последующего воспроизведения нарушителем при попытке входа в систему от чужого имени могут применяться криптографические методы (шифрование и электронная подпись). Но использование этих методов требует решения задачи управления криптографическими ключами.

В настоящее время в России реализуется проект удаленной биометрической аутентификации клиентов банков [2]. От пользователя в этом проекте потребуется предварительная регистрация в ЕСИА (единой системе идентификации и аутентификации) в отделении одного из установленных Банком России банков. После этого при

аутентификации пользователь должен будет ввести «логин» и пароль, полученные при регистрации, посмотреть в камеру компьютера (планшета, смартфона) и произнести в микрофон компьютера текст, отображенный на его экране.

К достоинствам данного способа аутентификации относится его многофакторность (сочетание парольной аутентификации с биометрической на основе двух характеристик), а также отсутствие дополнительных требований к оборудованию компьютеров пользователей. Качество устранения недостатков, отмеченных выше, оценить сложно из-за того, что конкретные решения относятся к коммерческой тайне финансовых организаций.

Поэтому использовать аналогичную биометрическую аутентификацию при удаленном доступе, например, к Интернет-сайтам и порталам университетов представляется явно преждевременным.

III. СБОР, НАКОПЛЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ О ПРИВЫЧКАХ И ПРЕДПОЧТЕНИЯХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПРИ ЕГО РАБОТЕ В ИНТЕРНЕТЕ

Одним из методов анализа информации о привычках и предпочтениях пользователя при его работе в Интернете является анализ истории посещений пользователем Интернет-сайтов и порталов. Все современные обозреватели Интернета поддерживают функцию сохранения истории посещения сайтов пользователем в журнале посещений. Эта функция активна по умолчанию и постоянно собирает данные об Интернет-ресурсах, посещенных пользователем. В журнале посещений сохраняются адреса и заголовки посещенных веб-страниц, а также дата и время, когда они просматривались.

Получение истории посещений пользователем Интернет-ресурсов (просмотренных им документов) возможно с помощью разработки специальных расширений (надстроек) для обозревателя Интернета [3, 4]. Однако производители обозревателей могут устанавливать ограничения на использование расширений. Например, для браузера Google Chrome можно устанавливать расширения только из магазина Chrome Web Store. Но при включении режима разработчика появляется возможность устанавливать расширения из выбранной папки.

Объектная модель документа (Document Object Model, DOM) [5] позволяет представить содержимое документа (в частности веб-страницы) в виде набора объектов. Объектная модель документа является стандартом, который должен поддерживаться всеми обозревателями Интернета.

При анализе любой посещенной пользователем веб-страницы с помощью объектной модели документа можно, в частности, получить значение мета-тегов keywords (ключевые слова) и description (описание документа), а также заголовков документа, содержимое всех его внутренних заголовков, подписи к рисункам (если они присутствуют в документе). На основе полученных данных можно провести простейший анализ документа:

- Определить перечень его ключевых слов.
- Определить частоту вхождения каждого ключевого слова (фразы) в документ.
- Определить расположение ключевых слов в документе.
- При необходимости предложить пользователю перечень возможных ключевых слов (фраз).

При дальнейшем анализе документа, просмотренного пользователем при его работе в Интернете, можно автоматически отнести этот документ к одной или нескольким категориям (рубрикам, тематическим разделам) на основании содержания документа. Для этого могут применяться методы классификации текстовых документов [6]:

- Метод опорных векторов (SVM).
- Метод k -ближайших соседей (k -NN).
- Метод Байеса.
- Метод деревьев решений.
- Метод нейронных сетей.

В данной работе предлагается проводить классификацию текстовых документов для определения предметных областей, интересующих пользователя. Полученная информация будет храниться в базе данных (БД) и использоваться в процессе аутентификации пользователя. Для классификации будет использоваться метод Байеса в связи с минимальностью доли возможных ошибок и простотой реализации.

Для аутентификации пользователя с применением знаний о его интересах, привычках и предпочтениях разрабатывается БД, включающая в себя 5 таблиц:

- «Пользователи» (“users”) с атрибутами (столбцами) id пользователя, его имя («логин»), хешированный пароль, адрес электронной почты, статус смены пароля, дата последнего входа пользователя. В этой таблице будет храниться информация обо всех зарегистрированных пользователях.
- «Интересы» (“interests”) со столбцами id интереса, его название. В этой таблице будет храниться информация о предметных областях, которые будут применяться для представления интересов пользователя.
- «Интересы и пользователи» (“users_interests”) со столбцами id связи пользователя и интереса, id пользователя, id интереса. С помощью этой таблицы пользователю будет сопоставлен набор его интересов, выявленных в ходе анализа журнала посещений его обозревателя Интернета.
- «Ключевые слова» (“keywords”) со столбцами id ключевого слова, ключевое слово. В этой таблице будут храниться ключевые слова, на основании анализа которых происходит связывание

просмотренного документа с определенной предметной областью.

- «Вопросы пользователю» (“questions”) со столбцами id вопроса, id интереса, к которому относится вопрос, вопрос, ответ пользователя. Хранящиеся в этой таблице вопросы будут задаваться пользователю в процессе аутентификации, если применение истории посещенных им веб-страниц невозможно.

IV. АЛГОРИТМ АУТЕНТИФИКАЦИИ

Приведем алгоритм проверки соответствия содержания журнала посещений обозревателя Интернета пользователя его интересам, выявленным (указанным) при его регистрации:

- 1) Получение списка адресов посещенных веб-страниц.
- 2) Получение заголовка, ключевых слов и описания документа для каждой веб-страницы.
- 3) Определение интересов пользователя на основе анализа полученных данных.
- 4) Получение информации об интересах пользователя из БД, созданной при его регистрации.
- 5) Сравнение двух наборов интересов.

Предлагается получать последние тысячу записей из журнала посещений пользователя за последние тридцать дней. Если записей за этот период оказывается меньше, то анализируются все записи в журнале за указанный период времени.

При каждой попытке авторизации удаленного пользователя происходит анализ данных о его работе в Интернете, а также проверка введенных им имени («логина») и пароля. Скрытно от пользователя происходит обращение к списку последних посещенных им адресов веб-страниц с помощью расширения для обозревателя Интернета. Далее определяются интересы пользователя на основе полученных данных документов из истории посещений. Затем данные об интересах авторизуемого пользователя сравниваются с теми, которые хранятся в базе данных. Успешная авторизация происходит при выполнении двух условий: «логин» и хеш-значение пароля совпадают, а значение разницы между определенными и хранящимися интересами не превышает «порог несоответствия» [7].

Возможна ситуация, при которой пользователь с момента регистрации до момента авторизации активно работал в Интернете, проходя по новым ссылкам, которых не было в журнале обозревателя Интернета пользователя при его регистрации. В этом случае набор определенных при авторизации интересов пользователя может не соответствовать набору, хранящемуся в БД. Для разрешения подобной ситуации и используется так называемый «порог несоответствия» – предельно допустимое различие между двумя наборами интересов. Значение такого «порога» может задаваться

администратором системы, в которой авторизуется пользователь.

Если «порог несоответствия» не превышен и набор определенных при авторизации интересов пользователя меньше того набора, который был сформирован при регистрации пользователя, далее в ходе авторизации пользователю будут заданы вопросы из тех предметных областей, которые отсутствуют в наборе, полученном в ходе авторизации. Время ответа на каждый вопрос ограничено. Каждому интересу при этом будет соответствовать один вопрос, а неправильные ответы фиксируются.

Далее пользователю будут заданы новые вопросы из тех предметных областей, на вопросы из которых он дал неправильные ответы. Максимальное число вопросов, соответствующих каждому интересу, при этом тоже ограничено. Если после этого останутся соответствующие интересам пользователя предметные области, на вопросы из которых он не смог дать правильные ответы, то аутентификация пользователя будет считаться неудачной.

Если в наборе интересов, хранящихся в БД для авторизуемого пользователя, отсутствуют некоторые интересы, выявленные при авторизации (так называемые «новые» интересы), то эти новые интересы будут добавлены в БД авторизуемого пользователя.

Для создания БД зарегистрированных пользователей применяется язык программирования PHP и система управления базами данных (СУБД) MySQL, а также веб-приложение с открытым кодом phpMyAdmin, предназначенного для создания и администрирования СУБД MySQL.

Для создания расширений для обозревателей Интернета (например, Google Chrome и Mozilla Firefox) используются язык программирования JavaScript и язык разметки гипертекстов HTML. Расширение позволяет получить список адресов веб-страниц, посещенных пользователем за последние тридцать дней.

Создание подобного расширения при использовании предлагаемого метода аутентификации пользователя позволяет автоматизировать процесс анализа журнала обозревателя Интернета при регистрации и авторизации пользователя. От пользователя не требуется вводить какие-либо дополнительные данные для своей авторизации кроме «логина» и пароля. Расширение получает список адресов веб-страниц и передает их сервису авторизации, после чего происходит анализ полученного списка, определение набора интересов пользователя методом Байеса и принятие решения об аутентификации пользователя или отказе ему во входе.

При реализации алгоритма аутентификации пользователя создаются две html-страницы:

- Страница с формой для ввода данных при авторизации пользователя.
- Страница с формой для регистрации пользователя.

На странице авторизации пользователю предоставляется возможность авторизоваться, если он уже зарегистрирован, или зарегистрироваться при первом входе.

На странице регистрации пользователю предоставляется возможность указать имя («логин»), а также адрес электронной почты (e-mail), на который отправляется случайный начальный пароль регистрируемого пользователя. При первой авторизации зарегистрированного пользователя ему необходимо будет сменить этот начальный пароль, без чего пользователь не будет авторизован и ему будет доступна лишь страница смены пароля.

Если пользователь авторизуется не со своего компьютера, то ему для авторизации выдается список интересов, в котором он выбирает «свои», соответствующие тем предметным областям, которые были определены при регистрации. После этого пользователю задаются дополнительные вопросы – по одному на каждую предметную область (как описано выше).

Если длительность сеанса работы удаленного пользователя превышает максимально возможный период, то для продолжения работы ему потребуется пройти повторную авторизацию.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа недостатков существующих методов аутентификации при удаленном доступе в статью предложен метод многофакторной аутентификации пользователя, не обременяющий его лишними действиями при попытке авторизации и повышающий достоверность ее результатов по сравнению с парольной аутентификацией.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Хорев П.Б. Программно-аппаратная защита информации: учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. М.: ФОРУМ : ИНФРА-М, 2015.
- [2] Кто, как и зачем вводит удаленную идентификацию в России. <https://rb.ru/longread/remote-authentication/> (Дата обращения 07.05.2018).
- [3] Writing Stable Browser Extensions. [https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/internet-explorer/ie-developer/platform-apis/aa753617\(v=vs.85\)](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/internet-explorer/ie-developer/platform-apis/aa753617(v=vs.85)) (Дата обращения 07.05.2018).
- [4] Создание своих собственных расширений для браузера. Часть 1. Расширение возможностей Chrome. <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/os-extendchrome/> (Дата обращения 07.05.2018).
- [5] Document Object Model (DOM). <http://www.w3.org/DOM/> (Дата обращения 07.05.2018).
- [6] Кузнецов Р.Ф. Классификатор веб-страниц на базе SVM-Multiclass. http://romip.ru/romip2006/10_kuznecov.pdf (Дата обращения 07.05.2018).
- [7] Mazaeva E.V. Method of two-factor authentication of users based on knowledge of their work in the Internet. Science and Education: materials of the XII international research and practice conference. Munich, November 2nd – 3rd, 2016 / publishing office Vela Verlag Waldkraiburg – Munich – Germany, 2016. Pp. 67-69.

Проблемы преподавания программирования

Чибизова Н.В.

кафедра Прикладной математики

НИУ МЭИ

г. Москва, Россия

ChibizovaNV@mpei.ru

Аннотация – В статье рассматриваются проблемы, возникающие при обучении программированию студентов первого курса, и возможные подходы к их решению. Анализируется выбор языка программирования, используемого на первом курсе, и набор решаемых задач. Рассматривается переход от процедурного к объектно-ориентированному программированию.

Ключевые слова – программирование; обучение программированию; проблемы обучения.

I. ВВЕДЕНИЕ

Для студентов, обучающихся по специальностям, связанным с программированием, принципиально важно качественное обучение программированию и выработка алгоритмического способа мышления. На первом курсе закладывается база, которая определяет понимание студентом предметов, изучаемых в дальнейшем, и, следовательно, их качество как программиста по завершению обучения. Однако задача эта не простая, т.к. хороший программист должен обладать определённым стилем мышления, который может быть не свойственен человеку без специального образования. Хорошему программисту должна быть свойственна чёткость и строгость мышления. В каком-то смысле можно сказать, что программист подстраивает своё мышление под образ действия компьютера, что, конечно, не всем даётся легко.

II. ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ОБУЧЕНИИ ПРОГРАММИРОВАНИЮ СТУДЕНТОВ I КУРСА

В период зарождения программирования программы писались на низкоуровневых языках программирования, само программирование было сложной задачей, оно ещё только формировалось как наука, теория программирования не была создана. Программирование было доступно только избранным. В языке ассемблера оператор условного и безусловного перехода – один из основных операторов, без которого невозможна организация программы с циклами и ветвлениями. Соответственно, в ранний период программирования программы писались с активным использованием оператора *goto*. Однако это приводило к тому, что чтение и модификация программы были сложной задачей, т.к. по тексту программы трудно было понять логику её выполнения. Даже такая простая мера как ограничение на использование оператора *goto* (не больше 20% от общего числа операторов) привела к значительному улучшению читабельности программ. Но, конечно, гораздо более

значительным шагом к решению этой проблемы стала разработка принципов структурного программирования. В основе этой дисциплины лежит следующий основной принцип: программа легко понимаема, если текстуальная упорядоченность программы соответствует порядку вычисления [1]. Иначе говоря, читая программу, программист должен легко понимать порядок выполняемых ею действий. Для этого программа должна быть написана с использованием чётко определённых правил структурного программирования.

Дальнейшее развитие теории программирования привело к разработке языков высокого уровня и затем объектно-ориентированных языков. Их использование ещё более существенно упрощает разработку программных продуктов, в том числе большого объёма. Это связано и с тем, на языке высокого уровня проще писать программу, и с возможностями повторного использования кода, и с оперированием объектами реального мира в объектно-ориентированных языках программирования.

Однако этот процесс имеет и обратную сторону. Упрощение процесса разработки программ привело к появлению среди программистов случайных людей, не понимающих в должной мере требований, предъявляемых к хорошему программному продукту. Человек, способный написать программу “*Hello, world!*”, ещё не вправе считать себя программистом. Хорошая программа должна удовлетворять массе требований (критерии качества программного продукта хорошо известны и не нуждаются в повторении), причём порой взаимоисключающих. Более быстрая программа может занимать больший объём. Повышение надёжности также может привести к увеличению кода программы за счёт большего количества проверок. Использование подпрограмм улучшает читабельность, но может замедлить работу программы. Объектно-ориентированные языки ускоряют разработку программ, но тоже снижают их эффективность. И качество программиста заключается в умении определить более важные критерии и найти золотую середину. Также необходимо понимание программистом процессов, происходящих при работе программы, и умение учесть её дальнейшие возможные модификации.

Надо сказать, что студентам первого курса всё это даётся достаточно сложно.

Во-первых, они упираются в одну конкретную постановку задачи своего варианта и решают только эту

конкретную задачу, не рассчитывая на возможную модификацию программы в дальнейшем и не пытаясь написать подпрограммы, которые можно было бы использовать повторно, хотя даже в простых программах, разрабатываемых на первом курсе, можно выделить части (например, ввод и вывод данных), которые могли бы использоваться в следующих программах.

Во-вторых, очень сложно для студентов оказывается применение такого приёма, как сокрытие информации, который полезен на всех уровнях проектирования – от применения именованных констант вместо литералов до создания типов данных и проектирования классов, методов и подсистем. Конечно, сокрытие информации требует начальных затрат – для объявления констант, типов и т.п., проектирование подпрограмм, классов и модулей, но оно окупается в дальнейшем. Однако почувствовать это на небольших программах, которые студенты разрабатывают на лабораторных работах, может быть нелегко. К сожалению, обычно нет возможности давать студентам первого курса такие задания на лабораторные работы, в которых разрабатываемые программы имели бы большой размер, а также смоделировать необходимость модификации программы, чтобы студенты могли бы почувствовать преимущества сокрытия информации.

Также достаточно проблематичным оказывается для студентов выбор правильного типа для той или иной переменной. Студенты зачастую не задумываются о том, что тип данных должен не просто выбираться по неопределённым соображениям, а является неотъемлемой характеристикой данных, которые надо представить в программе. Поэтому студенты часто используют вещественный тип вместо целого или наоборот, а также целый тип вместо логического. Последнее может иметь смысл в ряде случаев, но, если переменная будет принимать только два значения, лучше всё-таки использовать логический тип.

Ещё одна распространённая проблема – многократный вызов функций с одними и теми же параметрами. Это происходит от непонимания процессов, происходящих в программе при вызове функции. Студенты не осознают, что получение результата функции – это не мгновенное событие, а процесс, требующих ресурсов компьютера, прежде всего временных.

Надо сказать, что использование функций вообще даётся студентам очень трудно. Несмотря на то, что функции удобны, во многих случаях красиво ложатся в код программы, улучшают её читабельность и упрощают её понимание в случае выбора хорошего имени функции, студенты неохотно используют их и пытаются написать процедуру там, где следует написать функцию. Причины такого поведения не ясны, возможно, это является результатом неправильного преподавания информатики в школе, или студенты пытаются не плодить сущности и таким образом упростить себе жизнь.

Выбор имён – ещё одна большая проблема. Хорошие имена констант, переменных, подпрограмм, классов –

это один из показателей качества программы, т.е. качества работы программиста, его квалификации. Они значительно улучшают понятность программы. Программа на языке высокого уровня с тщательно выбранными именами читается почти также как обычный текст на английском языке. Однако студенты, к сожалению, не пытаются тщательно подбирать имена объектов программы, даже несмотря на то, что это упростило бы разработку для них самих.

Сложным для студентов также является разделение программы на логические части. В их программах и ввод данных, и вывод, и обработка зачастую связаны в один узел. Но большую программу невозможно написать как единое целое, нисходящее проектирование существенно упрощает разработку программного обеспечения. При этом должны быть выделены составные части программы, они должны быть организованы в подпрограммы и в классы в объектно-ориентированном программировании, и должна быть организована связь между частями программы. Подпрограммы и классы должны иметь высокую связность, т.е. быть сфокусированы на одной цели, и этой цели должно быть подчинено всё: от выполняемых действий до имени подпрограммы или класса. Сопряжение, характеризующее связь между отдельными частями программы, должно быть как можно более низким (хотя совсем без сопряжения написать программу невозможно) и основываться на синтаксических, а не семантических, характеристиках подпрограмм и классов. Конечно, тема эта не простая, и на первом курсе нет возможности рассмотреть теоретические основы проектирования сложных программных продуктов, но практический базис закладывать необходимо, чтобы в дальнейшем и лучше воспринимали теорию, и более успешно применяли её на практике.

Не менее сложным для студентов является переход к объектно-ориентированному программированию, которое требует иного стиля мышления, чем процедурное программирование. Вообще, идея как класса как разрабатываемого пользователем типа с реализацией хранящихся данных и операций над ними кажется естественной для опытного программиста. Студенты же первоначально зачастую разрабатывают методы, которые, опять-таки, предназначены для решения одной конкретной задачи, а также добавляют в класс лишние данные. Но надо признать, что грамотная разработка классов требует понимания и опыта, чего естественно трудно ждать от студентов младших курсов.

III. РЕШЕНИЕ ВОЗНИКАЮЩИХ ПРОБЛЕМ

Прежде всего необходим правильный выбор языка программирования для обучения. Не претендуя на истину в последней инстанции, автор хотел бы сказать, что на данный момент на кафедре ПМ используется язык Паскаль, и замены ему пока нет, т.к. другие распространённые современные языки имеют особенности, которые затрудняют их применения для обучения студентов первого курса, например:

- язык C/C++ имеет много тонкостей, например, активное использование указателей, которые сложно объяснить тем, кто не имеет определённой подготовки;
- язык Python тоже имеет ряд сложных для начинающих моментов, например, понятия изменяемых и неизменяемых объектов и различное поведение оператора присваивания, который является важнейшим оператором в программировании;
- язык C# имеет достаточно сложный синтаксис.

Язык же Паскаль является строгим и сильно типизированным языком, что хорошо для начинающих программистов, т.к. сужает их возможности и уменьшает количество ошибок. В частности, сильная типизация и ограниченные возможности по преобразованию типов помогают осознать концепцию типов и научиться их правильно использовать, что необходимо при написании программы на любом языке, ведь даже слабо типизированные языки не отменяют понятие типа данных.

Язык Паскаль имеет широкий набор высокоуровневых типов данных, который позволяет решать различные задачи и создавать сложные структуры данных.

Кроме того, язык Паскаль имеет полный набор управляющих структур структурного программирования, его синтаксические правила не имеют избыточности и неоднозначности. Кроме того, средства языка в сочетании с использованием комментариев позволяют применять язык Паскаль для нисходящего проектирования разрабатываемых алгоритмов.

При этом переход к другим языкам программирования требует затрат только для изучения особенностей нового языка, т.к. базовые понятия структурного программирования одинаковы во всех языках программирования. Конечно, мы говорим о процедурных и объектно-ориентированных языках, функциональные или логические языки потребуют иного способа мышления.

Нельзя сказать, что переход к другому языку программирования является совсем уж простым, но это тоже часть работы программиста. При изучении студентами второго курса языка C++ учитывается, что базовые понятия структурного программирования им знакомы, т.е. перед студентами как раз ставится задача применить имеющиеся знания к новому языку программирования.

Для решения возникающих при обучении проблем также необходим тщательный подбор задач для лабораторных работ, чтобы можно было покрыть весь объём знаний по программированию, который должны получить студенты. Хорошим, хотя не всегда возможным, вариантом являются лабораторные, простирающиеся друг из друга. При этом возможно увеличение объёма итоговой программы и более

тщательная отработка необходимых приёмов программирования.

Самым сложным является моделирование ситуации с необходимостью модификации программы. Для этого, во-первых, требует программа достаточно большого объёма, и во-вторых, необходимо разработать «двойную» постановку задачи – для исходной программы и для модифицированной.

Но, наверное, самой важной составляющей качественного обучения являются качественные примеры программ, использующие сокрытие информации, определения констант и типов данных, хорошо подобранные имена, проверки корректности исходных данных, аккуратное разделение программы на логические части. Кроме того, необходимо, чтобы студенты следовали этим примерам, даже если пока они не чувствуют необходимости в использовании всех этих приёмов.

Для перехода к объектно-ориентированному программированию желательно постепенное, но последовательное подведение студентов к этой идее и к принципам разработки классов, сначала без формального использования синтаксиса объектно-ориентированных языков.

Также желательно наличие вспомогательных материалов, которые позволят студентом повторить темы, изученные на лекциях и получить дополнительные сведения по дисциплине. Это возможно осуществить с помощью электронных ресурсов, пример которых был описан автором в [2]. Электронный ресурс должен содержать следующие компоненты и предоставлять следующие возможности:

- лекции;
- задания;
- примеры программ;
- список используемых терминов;
- вопросы для контроля;
- дополнительные темы для наиболее успевающих студентов;
- возможность организации взаимных ссылок между различными разделами лекционного материала;
- возможность организации поиска по тексту лекции и по примерам;
- обратная связь с преподавателем.

IV. СОСТАВ КУРСА «ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ»

В курсе «Основы программирования» студенты первого курса изучают следующие темы:

- простые типы данных;
- структурное программирование;
- одномерные и двумерные массивы;

- основные алгоритмы обработки массивов;
- методы тестирования и отладки;
- процедуры и функции;
- составные типы данных;
- динамические типы и динамическое распределение памяти;
- использование рекурсии;
- методы сортировки;
- списки и деревья;
- информационно-логические структуры;
- введение в объектно-ориентированное программирование.

Все темы отрабатываются на лабораторных работах. Задания для лабораторных работ первого семестра подобраны таким образом, чтобы студенты использовали широкий набор алгоритмов: подсчёт суммы и количества, поиск экстремальных элементов в массиве, поиск элементов, удовлетворяющих определённому условию, аналогичные алгоритмы обработки матриц, использование процедур и функций. Как было сказано, использование функций даёт студентам достаточно сложно, поэтому в курсе предусмотрены лабораторные работы, в которых необходимо использовать именно процедуру или функцию, и лабораторные работы, в которых студенты должны выбрать тип подпрограммы.

Для каждой лабораторной работы студенты разрабатывают спецификацию, отражающую все этапы разработки программы: выбор данных, разработку алгоритма, результаты тестирования программы. В качестве языка разработки алгоритмов используется непосредственно язык Паскаль. Язык блок-схем используется лишь как вспомогательное средство для разъяснения каких-то алгоритмов и частей программы, но не на регулярной основе. Это связано с тем, что блок-схемы имеют ряд существенных недостатков:

- отсутствуют средства описания данных;
- нет однозначного представления параметрического цикла;
- использование блок-схем само по себе не гарантирует разработки структурного алгоритма;
- с другой стороны, возникают проблемы при попытке отобразить действия, выполняемые такими операторами как *break*, *continue* и *exit*.

Что касается использования операторов *break*, *continue* и *exit*, то хотя формально они являются неструктурными, они вводятся в конце первого семестра и активно используются в курсе. Это связано с тем, что они помогают упрощать структуру программы. Структурное программирование является удобным инструментом и, несомненно, основой современного процедурного и объектно-ориентированного программирования, но само по себе не является

самоцелью. Операторы *break*, *continue* и *exit* позволяют не использовать условные операторы с огромными вложенными составными операторами, а также множественные вложенные условные операторы при проверках аномальных ситуаций. Что касается оператора *goto*, он имеет крайне ограниченную сферу применения и в программах лабораторных работ первого курса, естественно, не используется.

Для всех лабораторных работ даются примеры на специально разработанном сайте. Как было сказано, качественные примеры являются важной составляющей обучения. Приведённые примеры могут использоваться студентами в качестве основы для разрабатываемых ими программ.

Во втором семестре на лабораторных работах студенты работают со сложными структурами данных, динамическими типа, сложными алгоритмами обработки данных. Кроме непосредственного изучения этих необходимых тем, они также позволяют подвести студентов к идеям, заложенным в объектно-ориентированном программировании. Подпрограммы для множеств, списков, информационно-логических структур разрабатываются так, чтобы их легко можно было использовать при разработке классов.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ещё в 60-е годы А.П. Ершов писал: «Законы программирования смыкаются с математическим образованием, образуя единый, но ещё не построенный фундамент воспитания операционного и комбинаторного мышления, способного к абстракции, рассуждению и действию» [3]. Программирование – это точная наука, требующая знаний, системного мышления, умения делать выбор, искать новые пути решения стоящих перед программистом задач. И задача преподавателя – помочь студентам научиться всему этому.

Дополнительный результат базовой компьютерной подготовки – методологическая готовность студента в процессе дальнейшего обучения и последующей инженерной деятельности справиться с любой поставленной перед ним задачей любой сложности [4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Дейкстра Э. Заметки по структурному программированию // Дал У., Дейкстра Э., Хоор К. Структурное программирование. – М.: Мир, 1975, С. 7-97.
- [2] Чибизова Н.В. Опыт использования web-технологий в преподавании языков программирования. Труды международной научно-методической конференции «Информатизация инженерного образования – ИНФОРИНО 2012», 10-12 апреля 2012 г. М.: Издательский дом МЭИ, 2012, стр. 131-135.
- [3] Ершов А.П. Программирование – вторая грамотность. <http://www.ersnhov.lis.nsk.su>
- [4] Архипов О.Г. Базовая компьютерная подготовка в инженерном образовании сегодня // Труды Международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования» – ИНФОРИНО-2016 (Москва, 12-13 апреля 2016 г.). – М.: Издательский дом МЭИ, 2016, стр. 37-42.

О базовой компьютерной подготовке инженеров

Чуркина Л.В., Чибизова Н.В., Горкина А.А.
кафедра Прикладной математики
НИУ МЭИ
г. Москва, Россия

Аннотация – В статье отражены вопросы совершенствования базовой компьютерной подготовке инженеров определяя её цель: как обучение студента решению задач на компьютере. Эта цель достигается путём обучения структурному программированию, представляющему собой современный способ решения задач на компьютере.

К настоящему моменту программирование концептуально полностью сформировалось как наука, что должно принципиально менять подход к обучению программированию как формализованному процессу решения задач.

Базовая компьютерная подготовка рассматривается как часть общей математической подготовки с позиции развития алгоритмического мышления студентов при решении задач на компьютере.

Ключевые слова – задача, структурное программирование, нисходящее проектирование, методология программирования.

I. ВВЕДЕНИЕ

Сложность проблемы «Чему учить?» и «Как учить?» в области компьютерной подготовки будущих инженеров постоянно растёт, отражая быструю смену поколений машин, поколений программного обеспечения и программных новинок.

К настоящему моменту ситуацию в области базовой компьютерной подготовки можно оценить как кризисную. Подтверждением этому являются противоречивый спектр требований различных кафедр - от использования «модного» языка Питон как базового языка программирования до («программирование отмирает!») знакомства с текстовыми редакторами и электронными таблицами. Менялись базовые языки программирования: Алгол, Бейсик, Фортран, Си, Паскаль, менялось название базового курса («Алгоритмические языки и программирование», «Основы программирования» и т.д.). Но даже последнее название «Информатика», совпадающее со школьным названием, не способствует проведению чётких границ со школьной «Информатикой». В школах отсутствует единая программа по «Информатике». Школьники приходят в вуз, имея разный уровень подготовки по программированию, некоторые даже нулевой.

Исходная позиция авторов основана на том, что дисциплина «Информатика», назначением которой является базовая компьютерная подготовка в вузах,

является частью общей математической подготовки и цель её – научить студента решать задачи на компьютере. При этом она должна включать весь круг проблем, с которыми студент сталкивается при использовании компьютера для решения его задачи. От постановки задачи до получения правильных результатов. Программирование рассматривается как своеобразный способ решения задачи. Своеобразие заключается в использовании компьютера.

Итак, основными причинами, которые обусловили актуальность поднятой проблемы, являются следующие.

Во-первых, бурное внедрение вычислительной техники во все области деятельности требует производства программ как стандартных изделий, подчиняющихся всем требованиям к таковым, с тем, чтобы в ограниченные сроки выпускать качественные программные продукты большого объёма и самого различного назначения.

Во-вторых, любой выпускник вуза, даже не участвующий в производстве программ, должен уметь грамотно использовать компьютер как помощника в своей профессиональной деятельности. Поэтому необходимо поднять уровень преподавания информатики, рассматривая её как часть математического образования.

В-третьих, к настоящему моменту концептуально полностью сформировался подход к программированию, как к науке, что с необходимостью должно принципиально менять подход к обучению программированию.

И, наконец, в-четвертых, все эти знания надо донести до слушателей, не имеющих специальной подготовки, чтобы способствовать у них выработки алгоритмического способа мышления. в короткое время.

Для решения этих проблем потребовалась перестройка базового курса по программированию, который сейчас состоит из двух семестровых курсов «Основы программирования (Структурирование алгоритмов)» и «Программирование» (Структурирование данных). Научным фундаментом курса является современная методология программирования, и в первую очередь – структурный подход к конструированию алгоритмов и нисходящий способ разработки программ.

II. ЦЕЛЬ ОБУЧЕНИЯ

Программирование – это способ решения задачи с помощью компьютера. Обучение программированию – это обучение технологии решения задачи на компьютере.

В период зарождения программирования, когда оно ещё только формировалось как наука, не был чётко определён состав базовых понятий, не была создана теория программирования. Поэтому программирование было доступно только «избранным». С появлением языков программирования высокого уровня стало намного проще писать программы. Программные продукты начали бурно внедряться во все сферы деятельности человека. Это был период расцвета программирования.

Однако на рубеже 70-х годов в программировании накопились трудности, которые привели к кризису в программировании: многие программные проекты сдавались не в срок или вовсе не завершались, в готовых программных продуктах находились ошибки, и т. д. Этому способствовали следующие основные причины.

- Программирование стало массовым, к нему приобщались и непрофессионалы. Поэтому программы должны были легко восприниматься и давать представление о возможностях машины.
- При разработке больших программных систем уже требуются фундаментальные знания по программированию. Производство программ должно подчиняться определённой технологии программирования, чтобы можно было планировать процесс его производства.

Программы писались хаотично. По тексту программы трудно было понять логику их выполнения. Одной из первых мер по улучшению ситуации с читабельностью программ было решение ограничить использование в программировании оператора безусловного перехода GOTO. Было даже введено ограничение на использование операторов GOTO – не более 20% от общего количества операторов. Но полностью проблему это не решило.

Это был период становления программирования, как фундаментальной науки. С целью создания ясных, легко понимаемых и отлаживаемых программ и возможностью планирования сроков разработки программных систем была предложена новая дисциплина программирования, называемая структурным программированием. В основе этой дисциплины лежит следующий основной принцип: программа легко понимаема, если текстуальная упорядоченность программы соответствует порядку вычисления [3]. Другими словами, читая программу, мы должны легко представлять порядок выполняемых ею действий.

Для того чтобы обеспечить выполнение этого принципа, алгоритм должен быть сконструирован не беспорядочно, а с использованием чётко определённых структурных правил композиции, которые составляют базис программирования: следование, выбор, повторение.

Структурированной называется программа, которая строится с использованием только этих трёх правил композиции (управляющих структур).

Программирование начало формироваться как наука. С появлением теории программирования, формализации процесса программирования кризис в программировании был преодолен. Программирование стало инвариантным относительно класса решаемых задач, а также той среды на компьютере, в которой они решаются. Была создана методология структурного программирования.

Цель компьютерной подготовки – обучить студентов формализованному процессу решения задач на компьютере.

III. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Итак, цель курса – это обучение современной технологии решения задач на компьютере, которая инвариантна относительно конкретного языка, конкретной машины и характера задачи.

Теоретическим фундаментом курса является идеология структурного программирования.

Технология решения задач основывается на следующих принципах [1, 2]:

- 1) строгая последовательность этапов решения задачи;
- 2) разрабатываемая программа должна удовлетворять определённым свойствам;
- 3) использование нисходящего способа проектирования и отладки программы.

На этапе проектирования при выборе способа проектирования алгоритма принимается во внимание следующее обстоятельство: структурированность программы является дополнительным бременем при программировании, если не использовать нисходящий способ разработки программы (проектирование сверху-вниз). В стратегии заключена идея постепенного раскрытия деталей проектируемой программы по мере движения от общей цели, сформулированной на самом высоком уровне в условии задачи, к уровню объектов, выраженных в терминах «понятных машине».

Идея нисходящей разработки состоит в декомпозиции задачи на точно определённые подзадачи и доказательстве правильности этой декомпозиции. Эта идея положена в основу нисходящего метода разработки программ. Метод включает в себя следующие основные шаги.

- 1) Общая задача разделяется на более простые подзадачи. Определяются связи между задачей и подзадачами (интерфейс) и устанавливается правильность этих связей и подзадач.
- 2) Для каждой из подзадач повторяется процесс разделения (декомпозиции) и устанавливается правильность этого разделения.
- 3) Процесс повторяется до достижения задач настолько простых, что их решение может быть выражено в нескольких строках языка программирования.

Этот процесс проектирования является иерархическим и отображается в виде структурной схемы

алгоритма: top-down графа, отражающего схему подчинения задач [3]. Следует подчеркнуть, что при нисходящем проектировании вначале проектируется интерфейс подзадачи (входные и выходные данные), а затем логика решения этой подзадачи.

Современная методология программирования позволяет использовать язык Паскаль не только как базовый язык программирования, но и как язык проектирования. Комментарии используются для неформального описания действий. Рельефная запись структурированных программ, в которых в виде отступов отображается вложенность структурных операторов делает текст программы наглядным, в котором хорошо отображена структура алгоритмов.

Следует отметить, что блок-схемы не могут быть использованы в современной методологии программирования как язык нисходящего проектирования, так как они обладают рядом ограничений: в них не отражён полностью базис программирования:

- отсутствует управляющая структура повторение;
- отсутствуют средства для описания данных (интерфейса задачи), что должно быть первоочередным при декомпозиции алгоритма;
- двумерное изображение логического блока не гарантирует отсутствие оператора GOTO.

Присутствующие в блок-схемах два графических блока – функциональный (арифметический) и логический со всякими дорисовками позволяют как-то обходить ограничения блок-схем, но при этом блок-схемы теряют свой первоначальный универсальный смысл.

Поэтому нисходящее проектирование проводится на языке Паскаль. Логика программ разрабатывается для достаточно простых подзадач, когда их решение может быть выражено в нескольких строках языка программирования. Логика таких небольших фрагментов (в пределах одной страницы текста) может быть легко описана на языке Паскаль с использованием трёх правил композиции.

Так как в структурированной программе чётко отражена логика программы, то фактически Паскаль-программа является собственной блок-схемой.

Действие, как основное понятие современных компьютеров участвует при разработке программы в виде абстрактных действий языка (абстрактные операторы и абстрактные операции), которые описывают выделяемые подзадачи. Первоначально абстрактные действия записываются как комментарии языка, а затем раскрываются в виде композиционных или декомпозиционных структур. Таким образом, при программировании обучаемый уже на начальном этапе обучения может использовать возможности компьютера.

Такая технология решения задач, в которой используется нисходящий способ разработки программы, даёт представление об алгоритмическом способе решения задачи. Решая учебные задачи различного класса,

студент приобретает опыт универсального, алгоритмического подхода к решению задач на компьютере.

IV. ЯЗЫК ОБУЧЕНИЯ

Базовым языком обучения является язык Паскаль, который был создан для этой цели и является эталоном процедурно-ориентированных языков, так как в нем заложена идея структурного программирования (воплощена главная метафора процедурно-ориентированных языков программирования).

Язык Паскаль был создан как язык для обучения структурному программированию. Следует отметить, что только на базе структурного программирования можно обучать именно процессу программирования. Других путей пока не существует. Изучение языков программирования не может заменить обучение процессу программирования.

Все средства языка Паскаль направлены на это обучения. Синтаксис языка содержит строгую иерархию основных понятий программирования. Синтаксические правила языка компактны и не имеют избыточности и неоднозначности, средства языка Паскаль обеспечивают создание структурированных, эффективных и надёжных программ. Состав типов данных, как простых, так и структурных, позволяет решать задачи различных классов, создавать сложные структуры из стандартных типов данных, заложенных в языке.

Набор стандартных типов в языке Паскаль был определён как необходимый и достаточный для создания любых типов данных, требуемых в задачах.

Благодаря использованию надязыкового подхода, процесс перекодирования алгоритма на конкретные языки программирования проводится с очень большой степенью формализации для достаточно широкого круга задач [4, 5].

С каждым годом количество языков программирования, версий языков, программных систем увеличивается. Но любое «совершенствование» языка, как правило, приводит к добавлению новых функций языка в сторону его проблемной ориентации, которые отдаляют пользователя от компьютера. При этом теряется полнота связей языка с компьютером, что снижает качество компьютерного образования.

Поэтому требования некоторых кафедр к выбору «своего» кафедрального языка в качестве базового при обучении программированию, способствует воспитанию квалифицированного потребителя. Если языки не удовлетворяют требованиям базового языка, много дополнительного времени занимает изучение специфики этих языков. В результате при обучении у студента не формируются базовые фундаментальные представления и практические навыки, необходимые для общения с компьютером при решении его задач.

Особое место в процессе разработки качественных программ занимает предупреждение ошибок, уже начиная с постановки и спецификации задачи.

Проблеме тестирования уделено особое внимание. Рассмотрены различные виды тестов и критерии тестирования. Разработка тестов – основы для отладки – начинается уже на этапе проектирования.

Весь процесс разработки, начиная от постановки задачи, сопровождается документированием.

Практика преподавания информатики согласно изложенным концепциям показывает высокую эффективность курса для обеспечения должного уровня компьютерной подготовки при разной степени подготовки студентов в области программирования.

Этот курс при постоянном совершенствовании содержания и методики преподавания читался студентам МЭИ различных специальностей: «Динамика и прочность машин», «Конструирование электронной вычислительной аппаратуры», «Системотехника», а в данный момент – «Прикладная математика», «Математические методы моделирования». Апробирование курса подтвердило его высокую эффективность.

V. ПРОЦЕСС ОБУЧЕНИЯ

При обучении программированию и выработке алгоритмического способа мышления необходимо научиться решать задачи со структурными типами данными, так как ПРОГРАММА есть АЛГОРИТМ плюс ДАННЫЕ. Структура алгоритма и структура данных тесно взаимосвязаны. Причём структура программы зависит от структуры данных. В язык Паскаль включено описание стандартных типов данных, из которых возможно построение любых сложных структур данных.

Как видно из таблицы Вирта, приведённой ниже, существуют близкие аналоги между методами структурирования алгоритмов и методами структурирования данных.

В языке Паскаль заложены средства для написания эффективных программ с использованием соответствия структур алгоритмов структурам данных.

Таблица 1. ТАБЛИЦА ВИРТА. СВЯЗЬ СТРУКТУРЫ АЛГОРИТМА И СТРУКТУРЫ ДАННЫХ

<i>Схема строения</i>	<i>Оператор</i>	<i>Тип данных</i>
Атомарный элемент	Присваивание	Скалярный
Следование	Составной оператор	Запись
Известное число повторений	Оператор цикла с параметром	Массив
Выбор	Условный оператор	Запись с вариантами
Неизвестное число повторений	Итерационный оператор цикла	Последовательность или файл
Рекурсия	Оператор процедуры	Рекурсивный
Универсальный граф	Оператор безусловного перехода	Структура, связанная ссылками

VI. СХЕМА ОБУЧЕНИЯ

На основании теории структурного программирования и базового языка программирования Паскаль проводится обучение технологии решения задач на компьютере. Каждая задача несёт на себе

методическую нагрузку. Набор задач, решаемых студентами, подбирается преподавателем таким образом, чтобы покрыть объем знаний по программированию, который должны получить студенты. При таком систематическом подходе к обучению программированию и правильной расстановке акцентов на различных проблемах обучения, возможно решение довольно сложных задач различного класса [4], а также возможность использования готовых программ, оценка качества применяемых алгоритмов [2, 3].

Благодаря использованию универсального подхода к решению задач, процесс перекодирования алгоритма с языка Паскаль на другие процедурно-ориентированные языки программирования не представляет трудности.

Особое место в процессе обучения занимает разработка качественных программ. Основу такой разработки в рамках структурного программирования составляет предупреждение ошибок уже начиная с постановки и спецификации задачи. Проблеме тестирования уделено особое внимание. Рассмотрены различные виды тестов и критерии тестирования. Разработка тестов, основы для отладки, начинается уже на этапе спецификации. Весь процесс разработки, начиная от постановки задачи, сопровождается документированием.

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, инженер – это специалист, владеющий технологиями производства в своей области, то есть совокупностью методов, а также правилами и порядком их применения, обеспечивая получение в срок качественного продукта.

В основе любого производства лежит технология, также и в производстве программных продуктов. Поэтому, изучая программирование как технологию решения задач, будущий инженер уже в начале своего обучения в вузе приобретает не только навыки программирования при решении задачи, но и опыт, необходимый для своей профессии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Чуркина Л.В., Перевезенцева Е.С., Котарова И.Н. Технология разработки структурированных алгоритмов. Учебное пособие по курсу «Основы применения вычислительной техники» – М.: МЭИ, 1988.
- [2] Чуркина Л.В. Решение задач в системе Паскаль. Простые переменные. Сборник лабораторных работ Методическое пособие по курсу «Информатика» – М.: МЭИ, 2011.
- [3] Чуркина Л.В. Нисходящая разработка многомодульных программ на языке Паскаль. Методическое пособие по курсу «Основы программирования» – М.: МЭИ, 1998.
- [4] Чуркина Л.В. Решение задач в системе Паскаль с использованием рекурсии. Методическое пособие по курсу «Информатика» – М.: МЭИ, 2011.
- [5] Горкина А.А., Чуркина Л.В. Возможность реализации доступа к классическим системам на современных компьютерах на примере Turbo Pascal. Труды международной научно-методической конференции «Информатизация инженерного образования – ИНФОРИНО 2014», 15-16 апреля 2014 г. М.: Изд-во МЭИ, 2014, стр. 43-44.

Проблемы и тенденции развития образования в области высокопроизводительных вычислений

Шамаева О.Ю., Чернецов А.М.

Кафедра прикладной математики

ФГБОУ ВО Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Москва, Россия

shamayevaou@mpei.ru, chernetsovam@mpei.ru

Аннотация — В докладе кратко представлен общий взгляд на ситуацию с суперкомпьютерными вычислениями в России и мире, включая вопросы образования. Обсуждаются технологии, используемые в учебных процессах ряда российских вузов для поддержки преподавания параллельных и распределенных вычислений. Рассматриваются некоторые темы проектов для выполнения в рамках научно-исследовательской работы (НИР), предлагаемые студентам кафедры Прикладной математики МЭИ, представлены результаты анализа и исследования процессов решения задач различных классов на многоядерных процессорах. В качестве задач выступают классические задачи, изучаемые студентами в разных дисциплинах, таких как численные методы, теория графов, искусственный интеллект и др. Основная цель проводимых исследований - определить эффективность построенных решений, оценить целесообразный диапазон числа параллельных процессов, сравнить трудоемкость традиционного последовательного решения и параллельных вычислений. В дальнейшем студенты продолжают свои исследования с использованием технологии MPI на распределенных архитектурах.

Ключевые слова — параллельные вычисления; обучение, HPC-технологии

I. ВВЕДЕНИЕ. СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В РОССИИ И МИРЕ

Одним из важнейших событий в области становления и развития высокопроизводительных вычислений (High Performance Calculations – HPC) в России является ежегодное проведение международной конференции «Суперкомпьютерные Дни в России» [1], в рамках которой происходит активный обмен информацией по широкому кругу вопросов, таких как:

- перспективные суперкомпьютерные технологии;
- распределенные и облачные вычисления
- параллельные алгоритмы для широкого круга задач
- вычислительные технологии и моделирование
- deep learning (глубокое обучение) и нейросети
- методы повышения эффективности параллельных приложений и многие др.

Среди рассматриваемых проблем важнейшее место занимают вопросы HPC – образования, начиная с

элементов суперкомпьютерного образования для школьников средних и старших классов, суперкомпьютерного образования в вузах и заканчивая вопросами повышения квалификации огромного числа государственных служащих и специалистов различных отраслей промышленности и гуманитарной сферы. В рамках конференции проходит Совещание Суперкомпьютерного консорциума университетов России.

На конференции объявляется очередная редакция списка самых мощных компьютеров, расположенных на территории СНГ [2]. Текущая 27-я редакция от 25.09.2017 г., объявленная НИВЦ МГУ им. М.В.Ломоносова и МСЦ РАН отмечает, что суммарная производительность систем на тесте Linpack за последние полгода выросла с 8.4 PFlop/s до 8.7 PFlop/s, в списке появилось 7 новых суперкомпьютеров и произошло обновление ещё двух систем. Однако большинство обновлений касается относительно небольших систем с уровнем производительности на тесте Linpack около 40-70 TFlop/s. Лидер – суперкомпьютер "Ломоносов-2" (компания "Т-Платформы"), установленный в МГУ, имеет производительность на тесте Linpack 2102 TFlop/s и занимает 59 место в списке TOP500 [3].

На рис. 1. показан сравнительный рост пиковой производительности и производительности на тесте Linpack суперкомпьютерных установок СНГ первых (с 1 по 5) самых мощных и всех (с 1 по 50), начиная с 2004 г. по 2017 г. Очевиден резкий рост производительности за последние 2 года. Отметим, что 49 из 50 систем списка построены на процессорах Intel, и лишь одна использует процессоры IBM POWER8. Число гибридных суперкомпьютеров, использующих для вычислений графические процессоры, - 19, а количество систем, использующих ускорители Intel Xeon Phi [4], - 9. Число систем в списке, используемых в науке и образовании, - 18. В 10 вузах России имеются суперкомпьютерные установки. Число установок, ориентированных на конкретные прикладные исследования, выросло за полгода с 12 до 16, а число систем, используемых в промышленности, уменьшилось с 7 до 5; число систем в финансовой области осталось равным 3.

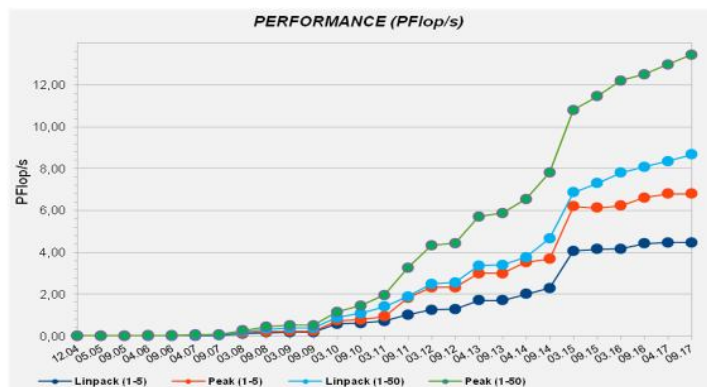


Рис. 1. Рост производительности на тесте Linpack суперкомпьютерных установок СНГ

Однако, если сравнивать достижения России и СНГ с мировыми тенденциями, которые отражаются в списке TOP500, то, к сожалению, надо констатировать, что если на июнь 2010 г. Россия имела 11 суперкомпьютеров в списке TOP500 и занимала 7 место по числу установленных систем суперкомпьютерного класса, то на июнь 2017 г. всего только 3 системы вошли в список. Для сравнения - США имеют в списке 282 системы. Первые 10 позиций занимают Китай (2 установки), США (5 установок), Япония (2 установки) и Швейцария – (1 установка).

Развитие НРС-технологий в передовых странах является национальной политикой. Так, национальная стратегическая компьютерная инициатива (NSCI) в США предусматривает пять стратегических целей в государственном сотрудничестве с промышленностью и научными кругами:

- ускорение доставки мощной вычислительной системы (BC) exascale;
- повышение когерентности между технологической базой, используемой для моделирования и анализа данных;
- установление в течение следующих 15 лет жизнеспособного пути для будущих систем НРС;
- Расширение возможностей устойчивой национальной экосистемы НРС путем использования целостного подхода, который учитывает такие важные факторы, как сетевые технологии, рабочий процесс, основополагающие алгоритмы и программное обеспечение, доступность и развитие рабочей силы;
- развитие долговременного сотрудничества между государственным и частным секторами.

Согласно NSCI [5], Национальный научный фонд (NSF) должен обеспечить лидерство в обучении и развитии НРС-технологий для широкого сообщества пользователей, а также поддержку развития карьерного пути для ученых, использующих НРС-вычисления.

Существующая Европейская стратегия НРС [6] предусматривает:

- разработку следующего поколения технологий, приложений и систем НРС для exascale вычислений;
- предоставление доступа к лучшим суперкомпьютерным средствам и услугам для отраслей промышленности и академических кругов;
- достижение совершенства в поставке и использовании приложений НРС путем создания Центров передового опыта в приложениях НРС.

II. ОБРАЗОВАНИЕ В ОБЛАСТИ НРС - ТЕХНОЛОГИЙ

Одной из ключевых задач национальных стратегий является развитие образовательной НРС-платформы, обеспечивающей обучение требуемых высококвалифицированных кадров, ответственных за эффективное использование существующих аппаратных и программных средств, а также создание новых знаний и технологий в области НРС. Эффективное обучение профессионалов НРС реализуется в рамках учебных программ по информатике/компьютерной инженерии путем включения новых специализированных курсов.

Многие университеты разрабатывают учебные планы по НРС на основе ACM CS/CE Curricula и/или NSF/IEEE-TCPP Curriculum Initiative по параллельным и распределенным вычислениям.

Учебная программа ACM/IEEE Computer Engineering рассматривает следующие основные аспекты НРС:

- компьютерная архитектура и организация с параллелизмом на уровне инструкций и процессоров;
- архитектуры распределенных систем, высокопроизводительные вычисления и сети, архитектура иерархии памяти для одноядерных и многоядерных систем;
- параллельные алгоритмы и многопоточность;
- алгоритмы высокопроизводительных вычислений, методы проектирования параллельных программ, модель производительности программ, оценки эффективности и методы оптимизации;
- программирование в MPI и OpenMP.

Последняя совместная целевая группа ACM / IEEE-CS по компьютерным наукам предложила значительно расширить охват параллельного мышления, предлагая темы для обучения:

- параллельные и распределенные вычисления;
- основы параллелизма;
- параллельное разложение;
- параллельные алгоритмы, анализ и программирование;
- параллельная архитектура;
- параллельная производительность;
- распределенные системы;
- облачные вычисления.

Инициатива, сформулированная в рамках учебной программы NSF / IEEE-TCPP по PDC, содержит рекомендации и поддержку тех программ, которые стремятся расширить охват параллельных и распределенных тем в рамках программ бакалавриата. Согласно рекомендациям, проблемы параллельных и распределенных вычислений сводятся к следующим областям знаний: Архитектура; Программирование; Алгоритмы.

III. ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К ПРЕПОДАВАНИЮ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ВУЗАХ РОССИИ

В нашей стране создан Суперкомпьютерный консорциум университетов России, призванный поддерживать вузы в разработке и внедрении учебных программ в области НРС–технологий. Несомненными лидерами среди вузов, разрабатывающих и предлагающих разные методики обучения высокопроизводительным вычислениям, являются НИВЦ МГУ им. М.В.Ломоносова, г. Москва (поддерживает русскоязычный ресурс <http://parallel.ru>) и НГУ им. Н.И.Лобачевского, Нижний Новгород, которые регулярно проводят Научные школы для молодых ученых в разных форматах и предлагают Программы повышения квалификации преподавателей [7]. Многие вузы создают свои учебные лаборатории и курсы для поддержки параллельных и распределенных вычислений, среди них СПбГУ, УрФУ, ННГУ, ПГНИУ, и многие др.

В России существует потребность в квалифицированных кадрах, владеющих технологиями параллельных вычислений, имеющих навыки разработки параллельных алгоритмов, и, что очень важно, владеющих навыками анализа результатов экспериментов. Возможными работодателями выступают: университеты и НИИ, инженерные центры и КБ, высокотехнологичный бизнес.

Можно указать некоторые полезные ресурсы для обучения студентов параллельным и распределенным технологиям:

- университетские курсы: по параллельному программированию (например, ВМК МГУ [8]),

Интернет-университет информационных технологий <http://www.intuit.ru> - Математика, численные методы;

- суперкомпьютерные технологии.

Среди зарубежных ресурсов можно указать:

- University of California at Berkeley; James Demmel. Matrix Computations / Numerical Linear Algebra [9];
- University of Minnesota –Yousef Saad. Computational Aspects of Matrix Theory, Sparse Matrix Computations [10];
- University of Tennessee –Jack Dongarra. Scientific Computing for Engineers [11].

Одним из актуальных вопросов является вопрос аппаратно-программной поддержки обучения распределенным вычислениям. Кратко остановимся на двух направлениях, которые возможно использовать в том числе в учебном процессе МЭИ.

Интересным, на наш взгляд, являются следующие платформы для организации распределенных вычислений: HTCCondor (High Throughput Computing) [12], Globus (globus toolkit) [13] и BOINC – Berkeley Open Infrastructure for Network Computing [14].

Платформа BOINC для организации добровольных распределенных вычислений состоит из серверной и клиентской части; позволяет задействовать вычислительные мощности ПЭВМ; имеет кроссплатформенную клиентскую часть с гибкой настройкой для эффективного использования ресурсов.

Основные образовательные цели, достигаемые использованием платформы BOINC:

- популяризация добровольных распределенных вычислений;
- обучение студентов основам распределенных вычислений на платформе BOINC;
- работа студентов и аспирантов над действующими проектами.

BOINC включает 4,3 миллиона участников и 16 миллионов компьютеров, поддерживает на сегодня около 100 международных проектов добровольных распределенных вычислений. Укажем некоторые особенности организации экспериментов в проекте добровольных распределенных вычислений:

- необходимость взаимодействия с добровольцами;
- общение на форуме и регулярное обновление информации на сайте проекта
- обеспечение достаточного количества заданий для постоянной работы проекта
- большой объем результатов и входных данных
- необходимость обработки полной серии результатов
- минимизация вероятности ошибочного расчета подзадачи
- необходимость начальной репликации заданий в связи с ненадежностью узлов.

На базе платформы BOINC в Институте проблем передачи информации РАН (ИППИ РАН), Москва, создан зонтичный проект добровольных распределенных вычислений [15], внедренный в ряде вузов России (МГУ им. Ломоносова (г. Москва); МФТИ (г. Долгопрудный); МИСиС (г. Москва); ЮЗГУ (г. Курск); ИГУ (г. Иркутск); ПетрГУ (г. Петрозаводск).

Использование зонтичного проекта позволяет существенно сократить аппаратные требования для разворачивания серверной части проекта распределенных вычислений; облегчить преподавателю оценку результатов работы студентов; проводить дистанционное обучение студентов.

Перечислим основные этапы работы студента в рамках зонтичного BOINC –проекта:

- создание автономного вычислительного приложения и адаптация его для грид-системы;
- автоматизация генерации входных данных;
- Обработка и агрегирование результатов;
- проверка корректности результатов и обработка ошибок;
- проведение численного эксперимента в грид-системе.

Использование зонтичного проекта добровольных распределенных вычислений на платформе BOINC позволяет студенту изучить различные аспекты функционирования грид-систем, а также совместное использование одной распределенной инфраструктуры.

Интересен опыт СПбГУ, Санкт-Петербург обучению основам разработки приложений для современных архитектур высокопроизводительных ВС [16].

Целью учебных занятий является изучение и получение навыков использования технологий программирования для современных архитектур ВС, особенностями которых являются многоуровневый параллелизм и гетерогенность – применение наряду с процессорами классического типа ускорителей вычислений.

Научное программирование, направленное на решение трудоёмких задач, связанных с математическим моделированием, обработкой данных и т. д., требует эффективного применения таких архитектур. Большое значение имеет также оптимизация научных приложений, обеспечение их корректной работы, повышение производительности.

В СПбГУ создается учебный курс «Разработка гибридного прикладного программного обеспечения» для современных и перспективных компьютерных архитектур.

Предлагаемый проект направлен, в частности, на формирование следующих профессиональных компетенций:

- знание и понимание особенностей архитектур современных ВС и тенденций их развития;

- знание и понимание того, как особенности архитектур гибридных ВС влияют на эффективность программного обеспечения;
- знание технологий программирования высокопроизводительных вычислений для серверных процессоров, а также разных типов ускорителей вычислений;
- знание возможных причин некорректной работы программного обеспечения, причин потери эффективности и методов преодоления этих проблем;
- знание теоретических законов масштабируемости программного обеспечения.

Также интересен проект, связанный с экологизацией вычислений на микропроцессорах Intel® Xeon™ Phi [16]. Некоторые другие темы для исследования студентами также приведены в [16].

IV. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ МНОГОЯДЕРНЫХ ПРОЦЕССОРОВ КАК ШАГ В ОСВОЕНИИ НРС -ТЕХНОЛОГИЙ

В докладе представлены некоторые темы студенческих проектов и результаты их реализации для многоядерных процессоров.

Начальные знания по НРС-технологиям студенты начинают приобретать только на 3-ем курсе в рамках дисциплин «Архитектура вычислительных систем» и «Операционные системы». В рамках первой происходит знакомство с особенностями построения как многоядерных процессоров, так и современных ВС. В рамках второй дисциплины изучаются понятия критических секций, потоков, семафоров. Однако, вопросы организации эффективных вычислений, в силу ограниченного объема занятий, охватить не удастся. Студентам, выбирающим на 3-ем курсе НРС-технологии как область своих будущих исследований, предлагаются для выполнения задания на НИР, соответствующие с одной стороны, уже имеющимся знаниям, с другой – стимулирующие интерес к параллельным и распределенным вычислениям.

Задания на НИР обычно включают создание и исследования параллельных приложений для решения задач в рамках следующих тематик:

- прямые методы решения СЛАУ больших размерностей;
- методы прогонки и редукции для систем с ленточной матрицей:
 - метод Гаусса для решения систем общего вида;
 - метод Холецкого для систем с симметричной положительно определенной матрицей;
 - Методы решения систем с разреженными матрицами различных структур;
- итерационные методы решения СЛАУ больших размерностей:
 - базовые итерационные методы;
 - Предобуславливание
 - Методы крыловского типа

- методы решения дифференциальных уравнений в частных производных:
 - Решение волнового уравнения
 - Решение задачи теплопроводности
 - Решение задачи Дирихле для уравнения Пуассона
 - Решение уравнения Пуассона с использованием быстрого преобразования Фурье и др.
- Естественные вычисления
 - Генетические алгоритмы
 - Муравьиные алгоритмы
 - Роевой интеллект и др.

Рассмотрим примеры некоторых таких проектов и результаты их выполнения.

А. Многопоточное приложение для решения задачи Дирихле для уравнения Пуассона

Задача решения дифференциальных уравнений в частных производных встречается при моделировании процессов теплопередачи, деформации упругих пластин и т.д. Аналитическое решение возможно только в частных простых случаях, поэтому обычно используются приближенные численные методы, порождающие большой объем вычислений, для которых целесообразно использовать ВС и параллельные технологии. Предлагается использовать пятиточечный шаблон для аппроксимации производных, далее уравнение Пуассона представляется в конечно-разностной форме, для решения которого можно применить, например, методы волновой обработки данных. В соответствии с волновой схемой, обработка блоков на одной диагонали выполняется параллельно, эффективно используется кэш-память и обеспечивается получение однозначных результатов при последовательной и параллельной обработках.

В результате выполнения НИР было разработано многопоточное приложение, протестированное для разной размерности системы N (500, 800, 1000) с целью определения оптимального размера блока и количества потоков. По результатам тестирования, отраженным на рис. 2 и рис. 3. формулируются следующие выводы:

- для решения задач небольшой размерности $N < 100$ использование параллельных вычислений нецелесообразно;
- достигаемое ускорение напрямую зависит от выбора размеров блока;
- для каждой размерности системы существует допустимый диапазон оптимальных размеров блока, при котором параллельное решение дает приемлемое ускорение;
- выбор слишком малых размеров блока влечет за собой неэффективное использования кэша, что ухудшает временные характеристики решения;
- слишком большой размер блока уменьшает максимальную степень параллелизма программы.

В. Исследование параллельных вычислений при решении класса задач гидродинамики сеточными методами

Одной из часто встречающихся задач математического моделирования является задача динамики вязкой жидкости, в частности задача тепловой гравитационной

конвекции жидкости в вертикальном слое, описываемая системой уравнений Навье-Стокса. Поскольку существование аналитического решения на текущий момент не доказано, то для решения задачи применяются численные методы, порождающие, как правило, большой объем вычислений. С этой системой уравнений также приходится сталкиваться при моделировании аэродинамических процессов. В процессе выполнения исследования предполагается анализ типовых проблем параллельного программирования, таких как Проблема излишней синхронизации (сериализации), Проблема состязания потоков и Проблема взаимоблокировки (тупиков) и методы их устранения.

Проблемы параллельного программирования в модели общей памяти возникают из-за взаимодействия потоков и использования ими общих данных. Другая проблема - неоднозначность результатов решения задачи при использовании последовательных и параллельных подходов. Поэтому исследуются методы волновой обработки данных, гарантирующие однозначность получаемых результатов.

Для задачи тепловой гравитационной конвекции в вертикальном слое в приближении Буссинеска разработана параллельная модификация алгоритма в модели общей памяти с использованием схемы переменных направлений с разностями против потоков для решения уравнений переноса и блочно-волновых схем вычисления для нахождения функции тока. Для параллельного решения уравнений переноса вихря и тепла предлагается среднезернистая декомпозиция вычислительных операций на уровне прогонок и их распределение между узлами. На основе разработанных алгоритмов реализовано приложение для многоядерного процессора.

В процессе выполнения НИР приводятся и анализируются результаты работы приложения. Исследуется зависимость временных характеристик решений от размера блока с целью оптимального выбора последнего для разных размеров сетки. Экспериментально найдены наиболее предпочтительные размеры блоков для протестированных размерностей сетки. На рис.4 приведены графики ускорения времени решения задачи разной размерности для разного количества потоков, используя оптимальные параметры.

Результаты, приведенные на графиках, позволяют сделать выводы о целесообразности использования параллельных вычислений для исследуемой задачи.

С. Реализация и исследование параллельных моделей и алгоритмов естественных вычислений

Предлагаемая тематика включает исследование области естественных моделей вычислений и их применение для решения некоторых задач. Например, анализ муравьиного алгоритма и на основе его последовательной версии разработка параллельной модификации, которая используется для решения задачи коммивояжера в модели общей памяти с применением технологии OpenMP для многоядерных компьютеров.

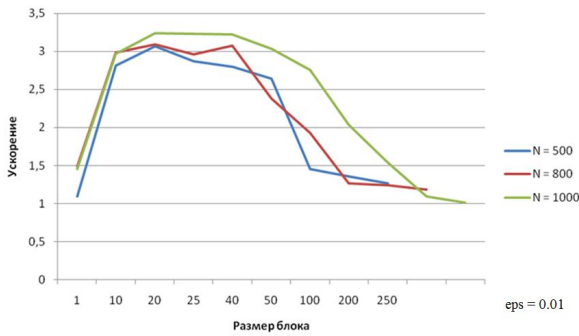


Рис. 2. Зависимость ускорения от размера блока для разных N

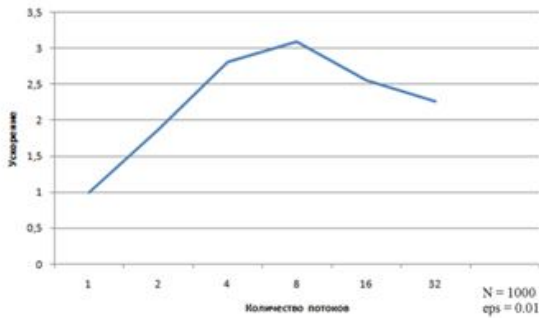


Рис. 3. Зависимость ускорения от числа используемых потоков для размерности системы N=1000

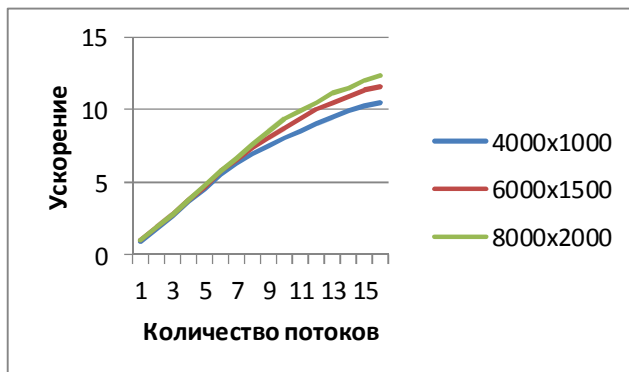


Рис.4. Ускорения времени решения задачи разной размерности для разного количества потоков

Важной особенностью функционирования естественных систем является то, что входящие в них объекты допускают параллельную и распределенную обработку информации. Для большинства из них доказана алгоритмическая универсальность, что позволяет рассматривать их в качестве теоретических моделей параллельных вычислений.

Одной из таких моделей может служить муравьиный алгоритм — эффективный полиномиальный алгоритм для нахождения приближённых решений, например, задачи коммивояжёра, а также решения аналогичных задач поиска маршрутов на графах. Суть подхода заключается в анализе и использовании модели поведения муравьёв,

ищущих пути от колонии к источнику питания, и представляет собой метаэвристическую оптимизацию.

Данный алгоритм можно распараллелить на уровне инициализации муравьёв, таким образом каждый поток будет осуществлять поиск решений, обновление феромонов и производить ряд дополнительных действий автономно для своего набора входных данных. Анализ полученных результатов показывает, что для каждого размера графа есть свое оптимальное число нитей, на котором достигается максимальное ускорение. В частности, для графа с 50-ю узлами, максимальное ускорение достигается на 6 нитях, со 100 и 125 узлами - на 8 или более нитях.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резюмируя изложенное выше, можно сделать следующие выводы:

- в вузах России не существует единой аппаратно-программной и методической среды для преподавания НРС-технологиям;
- уровень преподавания существенно ограничивается техническими возможностями и наличием квалифицированных в области НРС-технологий кадров и их научными интересами;

Потребность промышленности и бизнеса в квалифицированных специалистах в области параллельных и распределенных технологий сегодня превышает возможности вузов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Суперкомпьютерные дни. [Online]. <http://russianscdays.org/> [Дата обращения: 02.05.18]
- [2] Top50 [Online]. <http://top50.supercomputers.ru/?page=rating> [Дата обращения: 02.05.18]
- [3] Top500 [Online]. <http://www.top500.org> [Дата обращения: 02.05.18]
- [4] Xeon phi [Online]. <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/processors/xeon-phi/xeon-phi-processors.html> [Дата обращения: 02.05.18]
- [5] [Online]. <https://www.nitrd.gov/nsci/> [Дата обращения: 02.05.18]
- [6] Европейская стратегия НРС [Online]. <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/high-performance-computing-hpc> [Дата обращения: 02.05.18]
- [7] [Online]. <http://www.hpcc.unn.ru/?doc=491>; [Дата обращения: 02.05.18]
- [8] [Online]. <http://sqi.cs.msu.ru/learning> [Дата обращения: 02.05.18]
- [9] [Online]. <https://people.eecs.berkeley.edu/~demmel/> [Дата обращения: 02.05.18]
- [10] [Online]. <http://www-users.cs.umn.edu/~saad/> [Дата обращения: 02.05.18]
- [11] [Online]. <http://www.netlib.org/utk/people/JackDongarra/> [Дата обращения: 02.05.18]
- [12] High Throughput Computing [Online]. <https://research.cs.wisc.edu/htcondor/htc.html> [Дата обращения: 02.05.18]
- [13] [Online]. <http://toolkit.globus.org> [Дата обращения: 02.05.18]
- [14] [Online]. <https://boinc.berkeley.edu/> [Дата обращения: 02.05.18]
- [15] [Online]. <http://distributed-computing.ru> [Дата обращения: 02.05.18]
- [16] [Online]. http://russianscdays.org/files/talks17/edu1/03_Nemnyugin.pdf [Дата обращения: 03.05.18]

Использование семантических аналогов при подготовке проектировщиков электронной аппаратуры

Вадим А. Шахнов

Кафедра конструирования и технологии электронной аппаратуры
МГТУ им. Н. Э. Баумана
Москва, Россия
E-mail: shakhnov@mail.ru

Людмила В. Журавлева

Кафедра конструирования и технологии электронной аппаратуры
МГТУ им. Н. Э. Баумана
Москва, Россия
E-mail: fogel09@mail.ru

Людмила А. Зинченко

Кафедра конструирования и технологии электронной аппаратуры
МГТУ им. Н. Э. Баумана
Москва, Россия
E-mail: lyudmillaa@mail.ru

Андрей А. Глушко

Кафедра конструирования и технологии электронной аппаратуры
МГТУ им. Н. Э. Баумана
Москва, Россия
E-mail: andrei19386@mail.ru

Вадим В. Казаков

Кафедра конструирования и технологии электронной аппаратуры
МГТУ им. Н. Э. Баумана
Москва, Россия
E-mail: vadim.kazakov.2012@yandex.ru

Владимир В. Макаrchук

Кафедра конструирования и технологии электронной аппаратуры
МГТУ им. Н. Э. Баумана
Москва, Россия
E-mail: vvmarakchuk@gmail.com

Аннотация—В статье обсуждается возможность использования векторных семантических моделей в инженерном образовании. Основное внимание уделяется особенностям их применения в МГТУ им. Н. Э. Баумана. Делаются выводы об возможности их применения в инженерном образовании.

Ключевые слова—векторные семантические модели; инженерное образование; Россия

I. ВВЕДЕНИЕ

Дистрибутивная семантика [1, 2] хорошо известна в вычислительной лингвистике. В последнее время мягкие вычисления, а именно искусственные нейронные сети, были применены для расчета распределения векторов для слова. Полученные модели могут использоваться для решения различных задач. Наиболее популярным инструментом в этой области Word2vec является [3].

Необходимо отметить, что эти подходы были протестированы для английского языка. Для их применения в русскоязычной среде необходимо проведение дополнительных исследований [4]. Сервис RusVectors является одним из возможных приложений.

Эти модели можно использовать и в образовании. Эта возможность открывает новые методы обучения и оценивания. Практика использования вычислительной лингвистики в обучении является проблемой для школ и университетов. Однако эта проблема для систем высшего образования требует изменений в учебном процессе. В связи с этим тематика статьи представляется актуальной.

В настоящее время более 90% студентов и преподавателей в российских университетах используют различные мобильные устройства, включая iPad, iPhones и т.д. При этом используются различные операционные системы.

Обсуждаются результаты использования векторных моделей в учебном процессе в МГТУ им. Н. Э. Баумана и определяются возможные изменения методики преподавания при использовании этих моделей.

В разделе 2 дается краткий обзор основных результатов в области вычислительной лингвистики и краткие сведения о системе высшего образования в РФ. В разделе 3 обсуждаются возможности модификации системы инженерного образования с использованием этих моделей. В разделе 4 представлены результаты опросов. Выводы даны в разделе 5.

II. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

A. Вычислительная лингвистика

Вычислительная лингвистика основана на моделях семантического представления. В [1] обсуждалось несколько подходов к построению вычислительных моделей. Применение искусственных нейронных сетей открыло новые возможности в вычислительной лингвистике. Сгенерированы низкоразмерные векторы распределения слов. Наиболее популярным является word2vec [3]. Алгоритмы Skip-Gram и CBOW используются для вычисления векторных семантических моделей. Следует отметить, что эти алгоритмы могут использоваться для разных языков.

Одним из популярных средств является Web Vectors [4]. Он обеспечивает веб интерфейс для использования семантических моделей. Сервис RusVectors предоставляет различные модели для русского языка.

B. Система высшего образования в России

Россия (официально Российская Федерация) является самой большой страной в мире, не является членом ЕС, но входит в Европейское пространство высшего образования (ЕНЕА). Основные данные представлены в таблице 1.

Болонский процесс был начат в 1999 [5]. Это был важный шаг в развитии европейской образовательной системы. Система высшего и послевузовского образования претерпела значительные изменения. Был выполнен переход к трехуровневой системе обучения. В 2010 было создано ЕНЕА (European Higher Education Area). Отличительной особенностью ЕНЕА является то, что, как страны-члены ЕС, например, Великобритания, Франция, Португалия, так и другие страны, например, Швейцария, Россия, Казахстан являются участниками Болонского процесса [6, 7]. Это позволяет повысить эффективность

Болонского процесса. В [6] обсуждались особенности Болонского процесса для российской системы образования. С 2011 года все российские университеты используют систему трех циклов. Учебные программы были адаптированы к Болонскому процессу. Однако гармонизация структуры учебных программ все еще продолжается. В [7] показано, что возможность обучения в нескольких университетах является важным достоянием в контексте обучения студентов на глобальном уровне. Лингвистические навыки, опыт многокультурной среды могут быть получены только при мобильности студентов.

III. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ЛИНГВИСТИКА И ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

A. Общие замечания

Инженерное образование открыто для разнообразных инноваций, т.к. технические выпускники технических вузов должны быть подготовлены разносторонне [8]. Векторные семантические модели открывают новые возможности обучения. Растущий уровень наличия собственных мобильных устройств открывает новые возможности для интерактивных классов. В статье обсуждаются преимущества и недостатки различных методов применения векторных семантических моделей в инженерном образовании.

B. Методы

В статье предлагаются следующие методы. Во время лекций векторные семантические модели могут быть использованы для проведения экспресс опросов. Этот метод не требует значительных изменений в учебном процессе. Векторные семантические модели также могут быть использованы при организации самостоятельной работы студентов. В этих случаях для организации учебного процесса требуется только доступ в Интернет.

ТАБЛИЦА 1. ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ

Индикатор	Россия
Площадь, км ²	17 125 191
Население, млн	146
Плотность населения	8.56/км ² (max 4626/км ² , 0.07/км ²) min
Средний доход, \$/год	6 000
Официальный язык	русский
Входит в Болонское соглашение	Да
Число университетов в TOP 300	4

IV. Кейс МГТУ им. Н. Э. Баумана

А. Общие замечания

Первый российский университет был основан в 1724 году. В 1830 году был создан первый технический российский университет (в настоящее время Национальный исследовательский университет МГТУ им. Н. Э. Баумана (МГТУ)).

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана (почти 18 000 студентов) - крупнейший в России технический университет, имеющий программы обучения бакалавров, магистров и аспирантов, и единственный представитель технических университетов РФ в рейтинге Top300 University [9]. В 2018 году МГТУ занял 291-е место в списке TOP300 и четвертое в десятке лучших российских университетов [9].

Далее представлены статистические результаты, по результатам обработки которых затем делаются выводы о возможности использования векторных семантических моделей в педагогической практике.

В. Результаты

Приведем результаты опроса целевой группы обучающихся. Целевая группа включала 17 студентов инженерных специальностей. Разнообразие операционных систем представлено на рисунке 1. Очевидно, что семейство Windows является в настоящее время основной операционной системой. 47% студентов используют разные версии Windows. Другие операционные системы включают Android, MAC OS X, Linux и т. д. Примечательно, что 47% студентов одновременно используют как Windows, так и другие операционные системы. При этом процент использующих операционные системы Windows растет. 94% учащихся используют Windows или комбинацию Windows и других операционных систем.

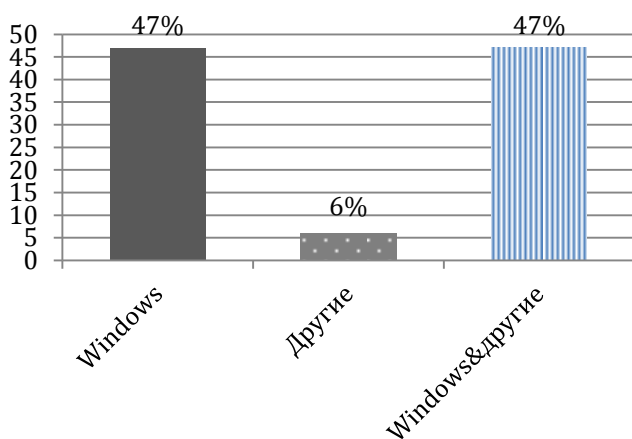


Рис. 1. Операционные системы.

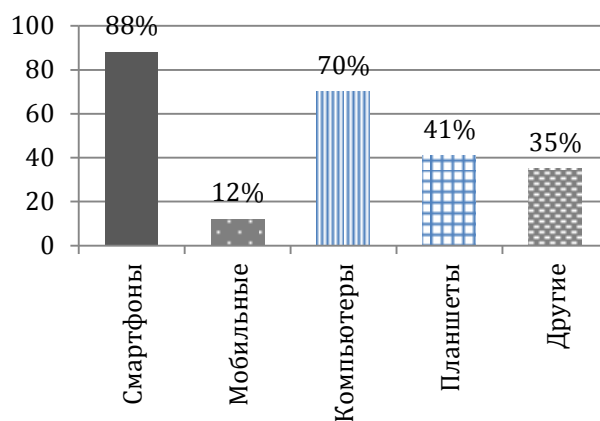


Рис. 2. Разнообразие студенческих устройств, используемых для доступа в Интернет.

На рисунке 2 показано разнообразие устройств, используемых студентами для доступа в Интернет. Следует отметить, что при анкетировании использовался вопросник с множественным выбором. Примечательно, что смартфоны, например, Apple iPhone, Samsung Galaxy, являются ведущими устройствами в нашей целевой группе. 88% студентов используют смартфоны для доступа в Интернет.

На рисунке 3 показано разнообразие устройств, используемых студентами для обучения. Следует отметить, что при анкетировании также использовался вопросник с множественным выбором. Примечательно, что наиболее часто используются компьютеры. 82% процента учащихся используют для обучения компьютеры.

Согласно опросу, наши респонденты не готовы использовать обучающие ресурсы много раз в неделю. На рисунке 4 показаны результаты опроса. 88% студентов хотели бы использовать образовательные ресурсы 1-2 раза в неделю.

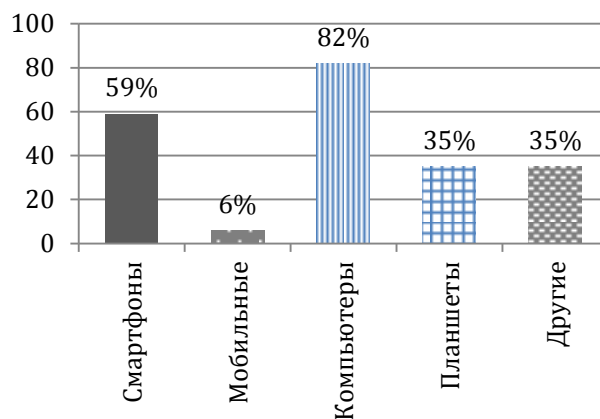


Рис. 3. Разнообразие студенческих устройств, используемых в обучении.

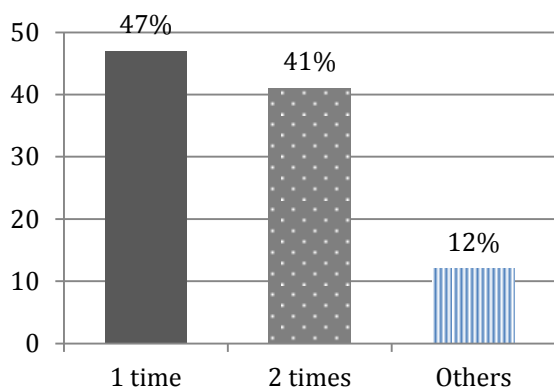


Рис. 4. Частота использования обучающих модулей в неделю.

Наш опрос показал, что студенты предпочитают самостоятельную работу. 100% студентов используют независимый поиск информации. Необходимо отметить, что в 2015 году только 53% студентов использовали все доступные ресурсы [10]. Таким образом, тенденция BYOD [10] меняет роль преподавателя все больше.

Современные устройства и высокоскоростной доступ в Интернет являются решающими факторами для мобильного, автономного обучения. Наше исследование показывает, что 64% студентов считают, что расходы на доступ в Интернет приемлемы, 12% считают, что это дорого, а 23% - что расходы низкие. Важно, что больший процент студентов отметил, что расходы приемлемы по сравнению с результатами опроса в 2015 году в [10].

Несмотря на то, что визуальные образы легче воспринимаются [10], студенты указывают, что они предпочитают информацию в текстовой форме. 71% студентов предпочитают текстовую форму, при этом 41% студентов хотели бы использовать фильмы в процессе обучения. Примечательно, что 52% студентов хотели бы использовать средства для изучения технической терминологии. Очевидно, что терминология для студентов более важна, чем фильмы.

В статье приводятся примеры применения векторных семантических моделей для изучения терминологии для трех разных лекционных курсов: Схемотехника, конструирование и технология.

При опросе были выбраны наиболее часто используемые термины при изучении указанных выше курсов. Однако была выявлена следующая особенность.

Например, слово «триггер» имеется не во всех семантических моделях [4]. В частности, это слово отсутствует в моделях, обученных на новостных лентах и в национальном корпусе русского языка. Это слово включено в модели, при обучении которых была использована Википедия, и в модель *Aganeum Russicum Maximum*. Следовательно, только некоторые модели могут быть использованы в инженерном образовании.

V. ВЫВОДЫ

В статье обсуждены особенности применения векторных семантических моделей в инженерном образовании и сделаны выводы о возможности применения моделей.

Подход, основанный на вычислительной лингвистике, открывает новые формы общения между преподавателем и учеником. Образование становится более интерактивным. Например, во время лекции доступны упражнения непосредственного контроля. Однако требуется проведение дальнейших исследований в области инженерного образования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Lenci, Alessandro. 2008. Distributional approaches in linguistic and cognitive research. *Italian Journal of Linguistics*, 20(1):1–31
- [2] [http://ruscorpора.ru](http://ruscorpورا.ru)
- [3] Tomas Mikolov, Kai Chen, Greg Corrado, and Jeffrey Dean. Efficient estimation of word representations in vector space. *ICLR Workshop*, 2013.
- [4] Kutuzov A., Kuzmenko E. (2017) WebVectors: A Toolkit for Building Web Interfaces for Vector Semantic Models. In: Ignatov D. et al. (eds) *Analysis of Images, Social Networks and Texts. AIST 2016 // Communications in Computer and Information Science*, vol. 661. Springer, Cham.
- [5] <http://www.ehea.info>
- [6] В. Шахнов, А. Власов, Л. Зинченко, “О методическом обеспечении инженерного образования в современных условиях,” *Высшее образование в России*, 2012, №3.
- [7] H. Fino, V. Solovyev, and L. Zinchenko, “Challenges for student mobility between European and Russian Universities,” *Proc. International Conference on Interactive Collaborative Learning 2013*, 2013.
- [8] *The Engineer of 2020: Visions of Engineering in the New Century*. Washington, Academies Press, 2004.
- [9] <http://www.topuniversities.com>
- [10] V. A. Shakhnov, L. A. Zinchenko, E. V. Rezchikova and A. A. Glushko, “An opportunity in engineering education: Russian BYOD tendencies: BMSTU case study,” *2015 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, 2015, pp. 299-304.



Секция 3

**ИТ В ИНЖЕНЕРНЫХ
РАСЧЕТАХ И ПРОЕКТИРОВАНИИ
ОБЪЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И ЭНЕРГЕТИКИ**

Опыт обучения работе с распределёнными приложениями

Г.А. Бородин, И.Н. Андреева

ФГБОУ ВО Национальный исследовательский университет «МЭИ»

г. Москва, Россия

BorodinGA@mpei.ru, AndreevaIN@mpei.ru

Аннотация — Рассматриваются подходы к освоению проблемных тем, существующих при обучении студентов по дисциплинам, связанным с базами данных, и требующих практического освоения с использованием компьютерной сети в процессе выполнения как лабораторных работ, так и курсового проектирования. (*Abstract*)

Ключевые слова — базы данных; распределённые приложения; транзакции, пулы соединений, курсовое проектирование; лабораторные работы (*key words*)

I. ВВЕДЕНИЕ

На кафедре вычислительной техники (ВТ) НИУ «МЭИ» при обучении студентов по направлению «Информатика и вычислительная техника» (бакалавриат, 3-й год обучения и магистратура, 1-й год обучения) при изучении дисциплин, связанных с базами данных, студенты знакомятся с различными технологиями, которые, несмотря на теоретический материал, излагаемый на лекциях, нуждаются в практическом освоении и поддержке. Овладение некоторыми из таких технологий возможно только при наличии нескольких компьютеров, соединённых в локальную сеть, что не всегда имеется в личном распоряжении студента, но есть в учебных классах ВУЗа. К таким технологиям следует отнести:

- Разработку, программирование, развёртывание и настройку распределённых приложений.
- Программирование и настройку параллельного доступа клиентов к СУБД с использованием механизма транзакций с разными уровнями изолированности.
- Программирование, настройку и исследование пулов соединений крупных сетевых баз данных.

Определённой сложностью в изучении распределённых приложений является и то, что на пятом году обучения студенты уже в своём большинстве определились со своим местом работы и предпочитают овладеть изучаемыми технологиями с учётом используемых программных языков и сред по месту своего трудоустройства. Это требует от преподавателя подготовки большого числа заданий для лабораторных работ и курсовых проектов.

Часть из перечисленных технологий осваивается на лабораторных занятиях в учебных аудиториях ВЦ МЭИ, предоставляющего лицензионную версию SQL Server, но

большая — при выполнении курсового проекта в лаборатории с локальной сетью на кафедре ВТ НИУ «МЭИ».

II. ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Рассмотрим основные проблемы, возникающие при развёртывании и настройке распределённых приложений студентами, и примеры их решения. Типовая блок-схема разрабатываемого и настраиваемого студентами многозвенного приложения представлена на рисунке 1.

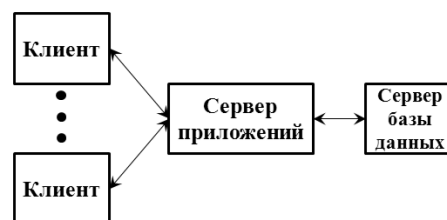


Рис. 1. Типовая блок-схема распределённого приложения

Настройке подлежит соединение между сервером приложений и сервером базы данных, а также соединение между клиентами и сервером приложений. Используемые технологии и механизмы указанных соединений существенно различаются между собой и зависят от выбранной среды программирования и интерфейсов доступа.

A. Соединение между сервером приложений и сервером базы данных

Для подключения сервера приложений к серверу базы данных может использоваться различное программное обеспечение, обычно поставляемое производителями баз данных, выбор которого определяется языком программирования сервера приложений и выбранным интерфейсом доступа к данным, от которого зависит и механизм работы пула соединений. Наиболее часто используются следующие интерфейсы доступа к данным:

- Драйверы ODBC при использовании языков программирования приложений для Windows или JDBC драйверы при использовании языка Java [1]. Для среды Delphi подходят драйверы FireDAC.
- Провайдеры OLE DB/ADO при использовании языков программирования приложений для Windows с использованием технологии COM.
- Поставщики данных ADO.NET для языков программирования, совместимых с C# и платформой

.NET Framework, или, даже, объектно-ориентированная технология доступа к данным ADO.NET Entity Framework [2].

Основные проблемы, решаемые студентами при настройке соединения между сервером приложений и сервером базы данных, заключаются в следующем:

- Для имеющейся СУБД и версии операционной системы Windows требуется подобрать подходящий драйвер (провайдер или поставщик данных) и установить его на рабочих станциях компьютерной сети. Поскольку права доступа в сети с доменом у студента в той или иной мере ограничены, ему необходимо взаимодействовать с администратором сети при выполнении этих действий.
- Для установленного драйвера (провайдера или поставщика данных) необходимо сформировать строку подключения, учитывающую имя сервера и имя базы данных, а также логин и пароль пользователя. Затем нужно произвести настройку соединения и проверить доступ к данным по сети.
- Проверить и при необходимости настроить права доступа к драйверам с учётом прав, предоставленных администратором домена сети конкретному студенту.

На этом этапе развертывания и настройки приложения студент получает образовательный навык, заключающийся в овладении методикой выбора интерфейса доступа к данным и настройки соединения с базой данных в разнородной компьютерной сети. Используемые технологии будут со временем меняться, могут встречаться сети с различным оборудованием и операционными системами, поэтому очень важно студентам научиться на практике находить правильные решения.

В. Соединение между клиентами и сервером приложений

Для подключения клиентов к серверу приложений также разработано очень много технологий, учитывающих используемые языки программирования и операционные системы, установленные на компьютерах сети. Кроме того, сервер приложений может быть выполнен в виде классического Windows или в виде Web приложения. Наиболее часто студенты выбирают следующие технологии подключения клиентов к серверу приложений:

- Для классических приложений Windows могут использоваться технологии DCOM и COM+ [3], опирающиеся на использование интерфейсов. Для Java приложений можно использовать JavaBeans — классы на языке Java, хотя это происходит не часто, поскольку технология вызывает затруднения при практическом освоении.
- Для классических приложений Windows можно использовать также и сокетные вместе с языками программирования C/C++/C#, Delphi и т. п.
- Большой набор технологий сегодня предлагается различными компаниями для разработки Web

приложений. Однако наиболее часто студенты выбирают C#, Java, PHP, ориентируясь, в том числе, и на запросы и потребности современных IT-компаний, ритейлеров, банков и госучреждений.

Основные проблемы, которые решают студенты при настройке соединения между клиентами и сервером приложений, заключаются в следующем:

- Для классических приложений Windows и выбранной среды программирования — это выбор технологии подключения, и, самое главное, настройка прав доступа и разрешений запуска сервера.
- Для Web приложений важно выбрать подходящий Web сервер, технологию доступа, механизм запуска и вариант реализации сервера приложений.

На этом этапе развертывания и настройки приложения студент получает образовательный навык, заключающийся в овладении методикой программирования классических и Web приложений, настройки прав доступа и их запуска. На этом этапе также настраиваются транзакции.

III. ИЗУЧЕНИЕ ТРАНЗАКЦИЙ

Транзакция — это логическая единица работы. Под ней понимается выполнение базой данных одного или нескольких операторов обновления данных, переводящих её из одного целостного состояния в другое. Механизм транзакций даёт гарантию, что если во время выполнения обновлений базы данных произошла ошибка (по любой причине), то все эти обновления будут аннулированы.

Таким образом, транзакция (т. е. набор операторов обновления) или выполняется полностью, или полностью отменяется (как будто она и не выполнялась).

Современные СУБД работают в многопользовательском режиме, и транзакции отдельных пользователей так или иначе взаимодействуют между собой, фактически мешая работать друг другу. Негативный эффект от параллельной работы нескольких пользователей может сказываться как при чтении данных, так и при их обновлении. В частности при чтении данных возможны следующие варианты взаимодействия:

- Чтение больших массивов данных одним пользователем приводит к кратковременной блокировке доступа к этим же данным другим пользователям.
- Сортировка больших массивов данных одним пользователем сказывается на быстродействии работы других пользователей, поскольку для такой операции требуется выделение большого объёма оперативной памяти.
- Чтение одним пользователем мультимедийных данных большого размера приводит к насыщению сетевого трафика и ухудшению доступа к СУБД других пользователей.

Эти режимы обычно непросто смоделировать во время выполнения лабораторной работы как из-за отсутствия больших объёмов данных, так и ограниченного числа

пользователей. Поэтому режим чтения чаще всего не исследуется на лабораторных занятиях. При работе над курсовым проектом его смоделировать ещё более проблематично, поскольку в процессе выполнения проектов большие базы данных не создаются. Исключением может быть только чтение пользователями своих мультимедийных данных с последующей оценкой задержки передачи данных по сети, но это требует тщательной синхронизации транзакций, и не для всех приложений легко выполнимо.

Значительно легче в учебном процессе смоделировать параллельную работу пользователей при изменении содержимого в одной или нескольких строках данных. Типовой тест в этом случае заключается в том, что один пользователь включает режим редактирования значений одной из строк данных. После этого, другой пользователь также переходит в режим редактирования этой же строки. По сути, необходимо во время выполнения этого теста удостовериться, что после того, как один из пользователей подтвердит сделанные им изменения в строке данных, СУБД автоматически заблокирует возможность фиксации новых данных другим пользователем.

Выполняя подобные тесты, студент может проверить на практике особенности работы СУБД при различных уровнях изолированности транзакций. Кроме того, в различных средах программирования для информирования пользователя об отказе фиксации сделанных им изменений предоставляются разные возможности. Так, если в среде Delphi для этих целей предусмотрен специальный компонент, то в других необходимо разрабатывать специальный код, поскольку фактически второй пользователь должен запустить свою транзакцию заново.

IV. ИЗУЧЕНИЕ ПУЛОВ СОЕДИНЕНИЙ

Пулы соединений используются в современных реляционных СУБД как для повышения быстродействия доступа к базам данных, так и для экономии ресурсов сервера и, прежде всего, оперативной памяти. Постоянные соединения требуют больших ресурсов сервера, а режим работы с периодическими подключениями/отключениями сказывается на быстродействии. Приложения, взаимодействующие с базой данных, зачастую применяют одну и ту же конфигурацию строки подключения для доступа к СУБД, что и создаёт предпосылки для внедрения пулов.

Пул соединений — механизм поддержания небольшого набора постоянно открытых соединений, разделяемых между сеансами при использовании одной и той же базы данных. Это позволяет избежать многократного создания и закрытия соединений с источником данных, которые, в противном случае, нужно было бы создавать с нуля, за счёт времени и ресурсов. При первом соединении с базой данных клиентом создаётся пул, основанный на алгоритме точного совпадения связанной с ним строки подключения. Если при открытии нового соединения его строка подключения не соответствует в точности уже существующей в пуле, например, изменён порядок следования атрибутов или добавлен лишний пробел, то создаётся новый пул.

Если СУБД допускает подключение на основе встроенной безопасности, то соединения в пуле будут учитывать и

контекст безопасности Windows. Некоторые интерфейсы доступа к данным учитывают ещё и число процессоров (ядер) компьютера при создании пулов.

Пулы современных СУБД, как правило, позволяют ограничивать число хранимых соединений, время их «простоя» и ряд иных параметров. Пулы соединений, реализованные на Java, обычно имеют значительно больше параметров для их тонкой настройки, чем пулы интерфейсов доступа, разработанных фирмой Microsoft. Они значения многих параметров хранят в реестре Windows.

Использование пулов соединений может приводить и к негативным последствиям, заключающимся в «утечках соединений», из-за того, что после использования они явно в программе не закрываются, поглощая ещё некоторое время ресурсы.

Изучение пулов соединений обычно происходит на лабораторном занятии. Задания включают как создание пулов для различных интерфейсов доступа, так и изучение влияния параметров пула, типа сервера СУБД и объёма считываемых данных на быстродействие выборки данных. Исследуются пулы следующих интерфейсов доступа к крупным сетевым базам данным:

- Пул соединений ODBC на языке C для окружения или для драйвера с возможностью настройки параметров пула с помощью редактора реестра Windows или утилиты администрирования ODBC [1].
- Пул ресурсов OLE DB, создаваемый как с помощью интерфейсов COM, так и классов из библиотеки шаблонов ATL на C. Разновидностью этого задания может быть пул, реализуемый на объектах ADO. Настройку параметров пулов производят либо с помощью изменения значений атрибутов в строке соединения, либо с помощью реестра Windows.
- Пулы различных поставщиков данных ADO.NET для баз данных. При этом могут использоваться как поставщики, разработанные фирмой Microsoft, так и поставляемые фирмами-производителями баз данных. Часто они работают эффективнее [4].
- Пулы соединений компонентов FireDAC среды быстрой разработки приложений Delphi. Время подключения, однако, у них существенно больше, чем через другие интерфейсы доступа.
- Пулы соединений JDBC, создаваемые как с помощью классов, включённых в поставляемые разработчиками баз данных драйверы JDBC, так и с помощью программного обеспечения сторонних разработчиков, иногда более эффективного.

Как правило, рекомендуется создавать консольные приложения для того, чтобы уменьшить влияние других факторов на длительность соединения. Контроль времени для интерфейсов доступа от Microsoft обычно выполняют с помощью функции QueryPerformanceCounter(). В приложениях Java наиболее часто используется функция System.nanoTime().

Для изучения достоинств и недостатков пулов

соединений студентам предлагается создавать приложения для выполнения следующих основных тестов:

- Подключение к базе данных с пулом и без пула, но без выполнения запросов на чтение данных. Для сравнения берутся лицензионные или бесплатные версии баз данных таких серверов как: SQL Server, Oracle XE и DB2 Express-C. В результате студенты могут оценить влияние на время подключения того или иного сервера базы данных, используемого интерфейса доступа, а для JDBC ещё и того или иного пакета, реализующего пул. А сравнивая результаты, полученные ими на различных рабочих станциях учебной лаборатории кафедры ВТ, они могут оценить как влияние частоты работы процессора, так и объёма оперативной памяти.
- Тест, аналогичный предыдущему, но отличающийся тем, что считывается до 40 строк данных в каждой из которых шесть столбцов. Считываемые данные при этом могут выводиться на консоль или нет. В результате появляется возможность оценить влияние на быстродействие соединения с базой данных режима чтения небольшого объёма данных, а также определить время, затрачиваемое собственно на вывод данных на консоль после запроса.
- Тест, аналогичный предыдущему, но предусматривающий чтение нескольких тысяч строк, что позволяет студентам оценить затраты времени на чтение данных и целесообразность использования пула в подобных случаях.

Изучая пулы соединений баз данных, студент получает образовательные навыки, заключающиеся в овладении методикой подключения к базам данных с помощью различных современных интерфейсов, выполнения сравнительных тестов и подведения их итогов.

Важно обращать внимание студентов на то, что производители баз данных постоянно модернизируют драйверы доступа к своим СУБД. Особенно это касается JDBC драйверов. Начиная с 2008 года, компания Microsoft выпустила около 15 версий JDBC драйвера типа 4 для SQL Server. Для примера в таблице 1 представлены сведения о ряде модификаций этого драйвера. В дальнейшем через каждые два года компания готовила новые выпуски своих серверов

Таблица 1. СВЕДЕНИЯ О ВЫПУСКАХ JDBC ДРАЙВЕРОВ

Версия драйвера	Версия jre	Дата сборки	Размер файла
2.0.1803.100	1.5, 1.6	25.03.2009	466359 байт
3.0.1109.0	1.5, 1.6	22.02.2010	536204 байт
3.0.1301.101	1.5, 1.6	19.04.2010	537303 байт
4.0.2206.100	1.5 ÷ 1.7	09.02.2012	584207 байт
4.0.4621.201	1.5 ÷ 1.7	05.03.2014	585020 байт
4.1.5605.100	1.7	08.12.2014	586192 байт
4.1.8112.100	1.7	13.01.2017	587987 байт
4.2.6420.100	1.7, 1.8	21.08.2015	654891 байт
6.0.7.7507.100	1.7, 1.8	08.07.2016	892844 байт
6.0.8.8112.100	1.7, 1.8	13.01.2017	893229 байт
6.1.0.0	1.7, 1.8	09.11.2016	766024 байт
6.2.1.0	1.7, 1.8	14.07.2017	792447 байт
6.2.2.0	1.7, 1.8	09.02.2018	1027778 байт

и включала средства их поддержки в своём драйвере, при этом его размер увеличивался. Фирма IBM для каждой версии своей СУБД также выпускает до десяти обновлений ODBC и JDBC драйверов.

Можно рекомендовать студентам выполнять тестирование драйверов различных версий с целью выявления лучшего для конкретного выпуска используемой СУБД. Так результаты тестирования приведённых драйверов для SQL Server, представленные в таблице 2, показывают, что среднее время между последовательными холостыми подключениями (t_{0A}) даже хуже на 20%, чем у более старых драйверов. При чтении же 40 строк среднее время между подключениями (t_{RA}) больше уже на 37.5%. Время, затрачиваемое на первое подключение без чтения данных (t_{01}) и при чтении 40 строк (t_{R1}), также у драйверов более новых версий больше. Хуже оно и при использовании Windows аутентификации (t_{011}), поскольку необходимо загружать динамическую библиотеку `sqljdbc_auth.dll`.

Кроме того, следует обратить внимание на то, что такие серверы, как Oracle и DB2, активно поддерживают и JDBC драйверы типа 2, которые обеспечивают часто даже более высокое быстродействие подключения к базе данных, чем драйверы типа 4. Как правило, JDBC драйверы большинства ведущих производителей баз данных включают классы и для создания пулов соединений распределённых баз данных, однако смоделировать их работу на лабораторном занятии трудно.

Определённым неудобством является то, что необходимо постоянно отслеживать появление новых версий драйверов для каждого выпуска сервера и надо приучать к этому студентов, давая им задания по поиску соответствующих драйверов в качестве одного из заданий домашней подготовки к лабораторной работе.

Таблица 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ JDBC ДРАЙВЕРОВ

Версия драйвера	t_{0A} , мс	t_{01} , мс	t_{RA} , мс	t_{R1} , мс	t_{011} , мс
2.0.1803.100	0.010	770.9	16.11	892.1	822.4
3.0.1109.0	0.010	778.8	16.24	937.3	827.7
3.0.1301.101	0.010	778.6	16.59	942.1	826.5
4.0.2206.100	0.010	815.9	16.98	973.6	868.1
4.0.4621.201	0.010	820.1	17.02	972.9	858.1
4.1.5605.100	0.010	822.0	17.04	974.1	859.4
4.1.8112.100	0.010	822.0	17.48	968.9	861.9
4.2.6420.100	0.010	820.8	17.51	972.8	858.8
6.0.7.7507.100	0.010	820.9	17.36	995.4	850.6
6.0.8.8112.100	0.010	819.9	17.17	998.6	860.0
6.1.0.0	0.011	933.0	20.89	1138.1	976.9
6.2.1.0	0.012	903.7	21.83	1083.9	959.8
6.2.2.0	0.012	733.3	22.14	910.5	793.5

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Г.А. Бородин, И.Н. Андреева. Средства коммутации SQL/CLI: учебное пособие. — М.: Издательство МЭИ, 2015. — 48 с.
- [2] J. Kanjilal. Entity Framework Tutorial, 2nd edition. — Birmingham, Mumbai: Packt Publishing, 2015. — 251 p.
- [3] A.W. Troelsen. Developer's Workshop to COM and ATL 3.0. — Burlington: Jones & Bartlett Learning, 2012. — 697 p.
- [4] Д. Сеппа. Программирование на Microsoft ADO.NET 2.0 Пер. с англ. — СПб.: Издательство «Питер», 2007. — 784 с.

Имитационное компьютерное моделирование как средство решения задач системного проектирования генерирующих электротехнических комплексов

Воронцов Кирилл Александрович
Мыщык Геннадий Сергеевич
Кафедра ЭКАОиЭТ
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
Москва, Российская Федерация

Аннотация — На примере задачи глубокой модернизации серийно выпускаемого трехфазного инвертора напряжения (ТИН) для системы резервного электропитания специального назначения приводятся результаты её решения. В качестве средства решения используется имитационное компьютерное моделирование (ИКМ), уже являющееся сегодня современным, эффективным инструментом проектирования. Для достижения заданных показателей качества в качестве методологической основы используется системный подход к проектированию и современные принципы структурно-алгоритмической организации ТИН. В частности, для повышения более чем на порядок напряжения питания используется высокочастотный конвертор с двухканальной структурой на инверторных ячейках по нулевой схеме с запатентованным энергосберегающим снабженным устройством, а в ТИН – эффективная модификация широтно-импульсной модуляции (ШИМ) выходного напряжения. Из соображений повышения надёжности и улучшения энергетических и массогабаритных показателей ТИН выполнен также по двухканальной структуре. Из этих же соображений функция регулирования (стабилизации) его выходного напряжения возложена на конвертор. Это же звено частично участвует также и в улучшении спектрального состава выходного напряжения. Даются оценки по массогабаритным и энергетическим показателям синтезированного устройства.

Ключевые слова — *трехфазный инвертор напряжения, многозвенная структура, промежуточное высокочастотное преобразование, новый алгоритм ШИМ, двухканальное преобразование, системное проектирование.*

I. ВВЕДЕНИЕ

Развитие устройств силовой электроники (УСЭ) и электротехнических комплексов (ЭТК) на их основе в рамках действующих долговременных программ энерго- и ресурсосбережения базируется на использовании:

- новых концепций совершенствования их структурно-алгоритмической организации (САО);
- новой более совершенной элементной базы (полупроводниковых приборов, конденсаторов,

новых магнитных материалов для трансформаторов и дросселей переменного и постоянного тока, а также других комплектующих);

- эффективных по заданным критериям проектирования конструкторско-технологических решений, включая средства охлаждения;
- современного информационно-методического обеспечения (ИМО) для системного проектирования УСЭ и ЭТК, понимаемого как решение совокупности взаимосвязанных между собой многофакторных, многокритериальных задач параметрической оптимизации;
- имитационного компьютерного моделирования (ИКМ) как единственно приемлемого и эффективного средства решения комплекса задач повышенной сложности, каковым является ИМО;
- системного подхода к проектированию (СП).

Необходимо заметить, что СП по объёму подлежащих решению задач далеко выходит за рамки возможностей одного узкопрофильного специалиста. Реально СП доступно группе специалистов соответствующих профилей. На практике это условие далеко не всегда удаётся реализовать. Однако, сам факт понимания этого должен способствовать формированию целей и путей их достижения.

Очевидно, что для качественного решения выше отмеченных задач требуются соответствующие трудовые, временные и финансовые ресурсы и, что особенно важно, – непрерывная работа в направлении совершенствования решений. Эти достаточно тривиальные условия можно считать базовыми, если ставится задача достижения конкурентоспособности создаваемой продукции.

В настоящей работе приводится некоторый опыт решения задач повышенной сложности применительно к поставленной задаче глубокой модернизации (ГМ) серийно выпускаемого преобразователя ПТС-3000 для системы резервного электропитания специального

назначения [1]. ГМ предполагает кардинальное улучшение массогабаритных и энергетических показателей объекта за счёт выполнения всех 6 выше перечисленных условий.

II. СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ ОБЛИК НОВОГО ПТС-3000М

При создании систем резервного электропитания класса DC/AC с низким уровнем питающего напряжения (порядка $U_1 = 24 \div 50$ В) и с низкочастотным ($f_2 = 50$ Гц) выходным напряжением более высокого ($U_{2\phi}/U_{2л} = 230/400$ В) уровня одним из перспективных направлений является использование преобразующих структур с промежуточным высокочастотным преобразованием (ПВЧП) энергетического потока на частоте $f_{Вч} = 25 \div 30$ кГц [2]. В обобщенном виде структура такого статического преобразователя содержит два последовательно включенных силовых звена – повышающий конвертор напряжения (КН) и трёхфазный инвертор напряжения (ТИН) – рис.1 [3]. Выполненный по схеме с нулевым выводом первичной обмотки трансформатора КН содержит групповой снаббер ($VT5, VD11, L1$) [4], позволяющий эффективно рекуперировать энергию рассеяния трансформаторов нескольких каналов. Рассматриваемый здесь вариант характеризуется значительно меньшей массой активных материалов,

использованием современных полупроводниковых ключевых элементов (КЭ) и магнитных материалов, улучшенным КПД ($\eta = 0,8$ против $\eta = 0,6$), меньшей сложностью и большей технологичностью изготовления. Достижение более высоких технических показателей обеспечено также применением новых технических решений, реализующих принципы энерго- и ресурсосбережения, а также системным подходом к проектированию. Представляется, что реализация поставленной задачи была бы практически невозможной без использования имитационного компьютерного моделирования (ИКМ).

Рациональное число каналов каждого звена определяется по приводимым далее зависимостям.

III. ПЕРЕЧЕНЬ ПОДЛЕЖАЩИХ РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

- 1) обзор (и классификация) существующих систем резервного электроснабжения;
- 2) синтез рациональной структурно-алгоритмической организации двухзвенного преобразователя (ПКН+ТИН), отвечающей поставленным требованиям и современным тенденциям развития (в частности, выбор и обоснование рационального числа каналов преобразования);
- 3) изучение (на основе ИКМ) свойств и характеристик нового синтезированного варианта ПКН многоканального

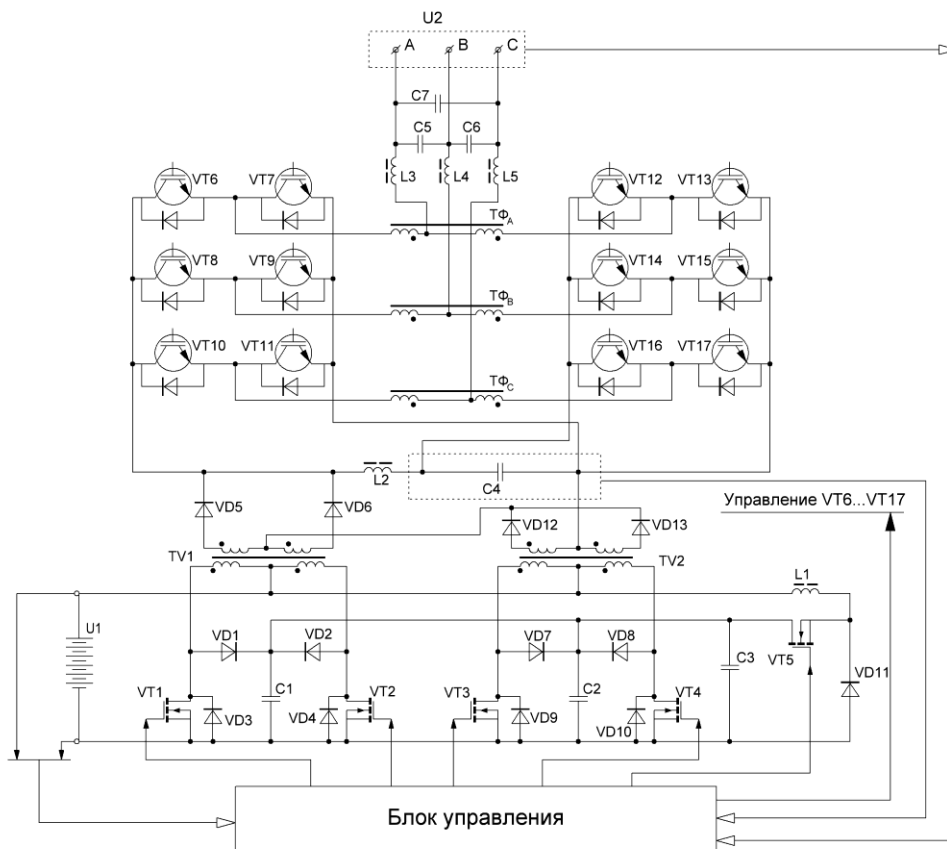


Рис. 1. Принципиальная схема силовой части рассматриваемого преобразователя ПТС-3000М

типа, и создание на этой основе методики его проектирования с учётом его выходного фильтра;

4) исследование возможностей совершенствования ТИН многоканального типа за счёт совершенствования алгоритма управления ТИН с ШИМ по квазитрапецеидальному закону. Создание методики его проектирования с учётом его выходного фильтра;

5) формирование и отладка имитационной компьютерной модели преобразователя (ПКН+ТИН)

6) изучение совместной работы ПКН+ТИН на основе упомянутой модели и создание методики системного его проектирования в целом (с учётом взаимодействия звеньев).

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИКМ

ИКМ даёт возможность оперативно оценить характеристики системы с заданными параметрами, но для дальнейшей экономии временных и вычислительных ресурсов необходимо создавать ИМО для упрощённых (предварительных) расчётов массогабаритных показателей для исследуемых вариантов.

Базис данного типа ИМО уже был заложен на кафедре ЭКАОиЭТ НИУ «МЭИ»: в [5] приводятся упрощённые полиномиальные зависимости массы дросселей постоянного и переменного тока от запасаемой энергии; в [2, 6] предложено ИМО для СП статических преобразователей различных типов; в [7] предложены и обоснованы эффективные средства обеспечения параллельной работы каналов в многоканальных статических преобразователях. Дальнейшие усилия должны быть направлены на определение упрощённых зависимостей для других пассивных (трансформаторы, конденсаторы, охладители) и активных (полупроводниковые ключи, контакторы) компонентов.

Ранее уже публиковались [3, 10, 11] сведения о

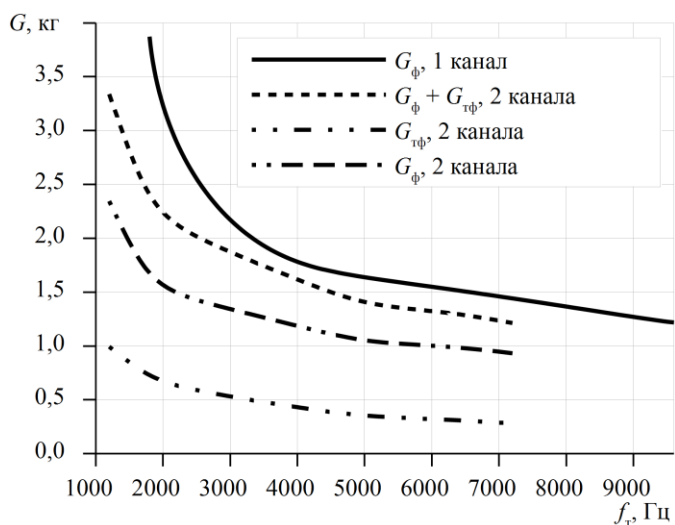


Рис. 2. Зависимость массы выходного фильтра от тактовой частоты f_r ТИН для различного числа каналов

структурном облике и первых вариантах ИМО для СП статических преобразователей рассматриваемого класса.

Предварительная оценка массы выходного фильтра ТИН в зависимости от выходной частоты (рис. 2) произведена с помощью полиномиальных зависимостей массы дросселя от энергии [5], каталожных данных производителей конденсаторов и расчёта массы трансформатора [7], выполненного по методике расчёта трансформатора, изложенной в [15].

В результате проведённой, в том числе в более ранних работах, классификации и сравнительного анализа различных вариаций ШИМ в ТИН принято решение о применении квазитрапецеидального закона модуляции (ЗМ) с предмодуляцией напряжения питания ТИН [14] (КТЗМ-ПМ). Ранее уже была показана целесообразность применения трапецеидальных ЗМ (ТЗМ): они используются с целью повышения энергетической эффективности как путём уменьшения числа переключений силовых ключей, так и повышением коэффициента использования напряжения питания ТИН [8, 9]. Современные ЗМ [12] также используют идею введения гармоник нулевой последовательности, при этом устраняя основной недостаток ТЗМ – наличие в них низших гармоник (5, 7, 11, 13 и т. д.).

Предмодуляция входного напряжения ТИН позволяет ещё сильнее сократить число переключений силовых ключей ТИН путём частичного переноса в КН функции формирования выходного напряжения (рис. 3): по сути ТИН реализует близкий к трапецеидальному ЗМ с параметром $\beta = \pi/6$, а КН модулирует входное напряжение ТИН таким образом вводя в него гармоники, кратные 6, чтобы на выходе ТИН компенсировать нежелательные

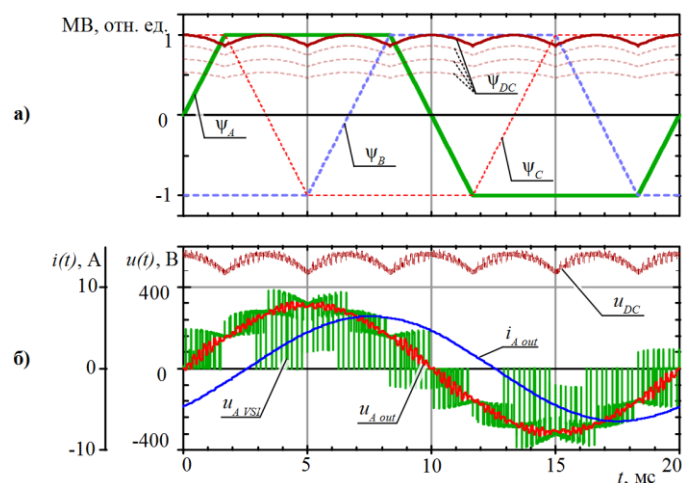


Рис. 3. Осциллограммы, поясняющие принцип формирования выходного напряжения при использовании КТЗМ-ПМ с предмодуляцией в КН: а — модулирующие воздействия (МВ), эквивалентные сигналам задания модуляторов ширины импульсов ТИН (ψ_A, ψ_B, ψ_C) и КН (ψ_{DC}); б — выходные напряжения ТИН до ($u_{A\ VSI}$) и после ($u_{A\ out}$) фильтра, ток в активно-индуктивной нагрузке ($i_{A\ out}$), промодулированное напряжение в звене постоянного тока (u_{DC})

нечётные гармоники, присутствующие в ТЗМ. Боковая сторона трапеции в данном случае несколько модифицирована для достижения полного устранения нежелательных низших гармоник и представляет собой функцию вида $\sqrt{3} \operatorname{tg}(\omega \cdot t)$, при этом закон модуляции целесообразно назвать квазитрапецеидальным с предмодуляцией (КТЗМ-ПМ). Регулирование и стабилизация уровня выходного напряжения преобразователя осуществляется только с помощью КН – на рис. За пунктиром показаны варианты модулирующего воздействия КН ψ_{DC} , иллюстрирующие такую возможность. ИКМ показало, что при том же выходном фильтре (рассчитанном для достижения коэффициента гармоник выходного напряжения не более 5% при тактовой частоте 2400 Гц) применение простого ТЗС с $\beta = \pi/6$ очень незначительно влияет на качество выходного напряжения (наблюдается возрастание коэффициента гармоник с 4,85 до 5,02%), что позволяет применять ТЗМ с линейной боковой стороной для экономии ресурсов управляющего микроконтроллера.

В пространственно-векторной терминологии применение описанного КТЗМ-ПМ означает устранение нулевого вектора из последовательности переключения ключей ТИН и перенос его функции в модулирующее воздействие (МВ) высокочастотного КН ψ_{DC} (рис. 3а). В работе [14] нулевой вектор формируется путём включения дополнительного ключевого элемента, реализующего МВ ψ_{DC} на тактовой частоте ключей ТИН, последовательно в цепи питания ТИН.

Особенность расчёта любого трансформатора заключается в неоднозначности выбора сердечника: расчёт трансфильтров для построения зависимостей производился для трёх вариантов броневых магнитопроводов – ШЛ, ШЛО, ШЛМ – и в качестве окончательного варианта принимался трансфильтр минимальной массы. Среди неспециализированного программного обеспечения (ПО) наиболее просто данная

задача решается с применением табличного процессора, входящего в большинство офисных пакетов (например, табличный процессор *Calc* из пакета *LibreOffice*). Недостатком использования офисного пакета является невозможность автоматического выбора и подстановки в соответствующие поля параметров подходящих магнитопроводов. В связи с изложенным видится целесообразным создание достаточно простой свободно распространяемой программы для ЭВМ, использующей дополняемую базу данных различных сердечников для вариантных расчётов трансформаторов с целью выбора оптимального варианта по заданному критерию (минимальные масса, габариты, тепловыделение).

Проведённые с помощью ИКМ исследования потерь в ключевых элементах позволяют рационально выбрать тактовую частоту ШИМ, соотнеся её значение с числом каналов преобразователя – L . В качестве примера на рис. 4 представлены зависимости суммарных потерь мощности в ТИН от тактовой частоты для $L=1$ и $L=2$. Из рис. 4 следует, что для конкретных моделей силовых электронных ключей ИКМ позволяет выбрать оптимальное число каналов преобразования энергетического потока на данной тактовой частоте.

Выбор тактовой частоты ШИМ в общем случае основывается на множестве факторов, в том числе экономических. В связи с постоянным совершенствованием (и соответствующим удешевлением) технологий производства электронных компонентов, учёт экономических факторов на данном этапе создания ИМО не является приоритетным. Суммарная масса активных материалов, влияющая как на итоговую стоимость ЭТК, так и на его эксплуатационные качества, может считаться на данный момент основным критерием оптимизации.

С целью ускорения процедуры выбора охладителя в поисковых работах, предлагаются простые полиномиальные зависимости массы охладителя от рассеиваемой мощности. Возможно использование как

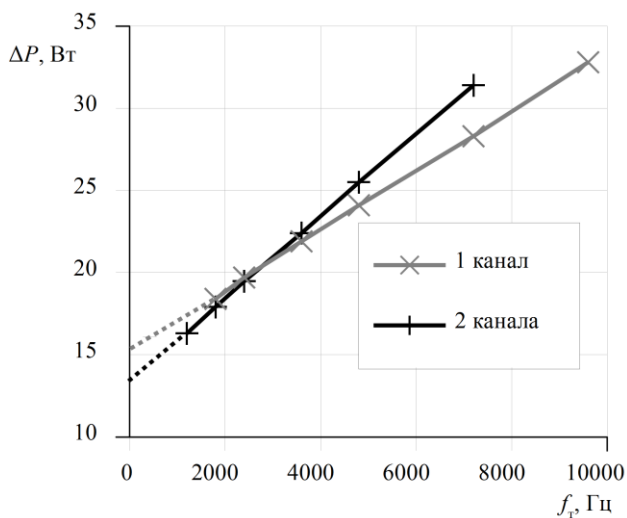


Рис. 4. Зависимости потерь в ключах ТИН (IGBT типа APT90GF100) от тактовой частоты для одноканального и двухканального вариантов

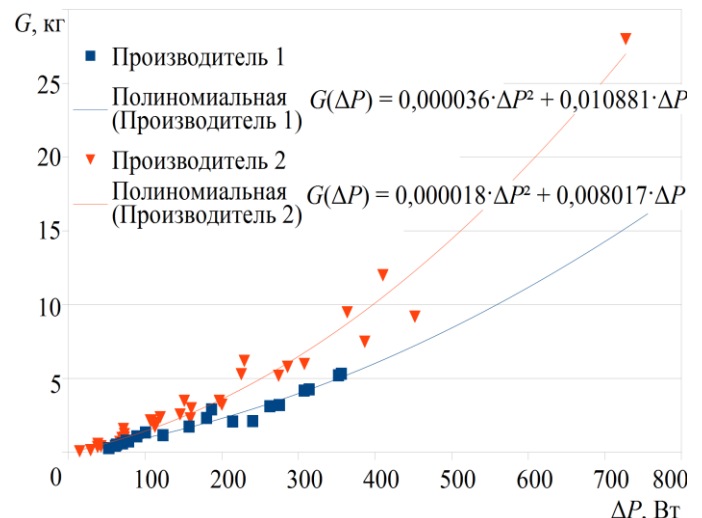


Рис. 5. Представление зависимости массы радиатора от рассеиваемой мощности в виде полинома

V. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕДУРЫ ИКМ

обобщённого полинома для различных конструктивных исполнений (таблеточные, винтовые, корпусные, модульные полупроводниковые приборы), так и более точных, составленных для каждого конструктивного исполнения. Приведённые на рис. 5 регрессионные модели зависимости $G(\Delta P)$ являются полиномами второй степени, которые определены по каталожным данным производителей с применением метода наименьших квадратов в приложении *LibreOffice Calc*. Увеличение степени полинома не приводит к значительному росту точности, но очевидное уточнение регрессионной модели, заключающееся в равенстве массы охладителя нулю ($G_c = 0$) при нулевой рассеиваемой мощности ($\Delta P = 0$), позволяет повысить её точность (увеличить коэффициент детерминации R^2 с $0,96 \div 0,97$ до $0,98 \div 0,99$).

Итоговая зависимость массы активных материалов ТИН с выходным фильтром от частоты приведена на рис. 6. Кривые для различного числа каналов ($L=1$ и $L=2$) позволяют выбрать как рациональное значение числа L , так и определить оптимальную с точки зрения минимума массы тактовую частоту. Приведённые результаты лишь частично отражают идеальный проектный замысел и по существу иллюстрируют методику решения этой системной задачи. Для полного решения этой задачи необходимо построить такие зависимости по конверторному звену, включая трансформаторный узел.

Производителям полупроводниковых компонентов рекомендуется предоставлять разработчикам имитационные компьютерные модели своей продукции, так как производители ЭТК в стремлении снизить затраты, в том числе на ОКР, должны стремиться применять сформированное ИМО, неотъемлемой частью которого являются ИК-модели компонентов. Только результаты ИКМ позволяют наиболее рационально выбрать структурно-алгоритмическую организацию разрабатываемого ЭТК.

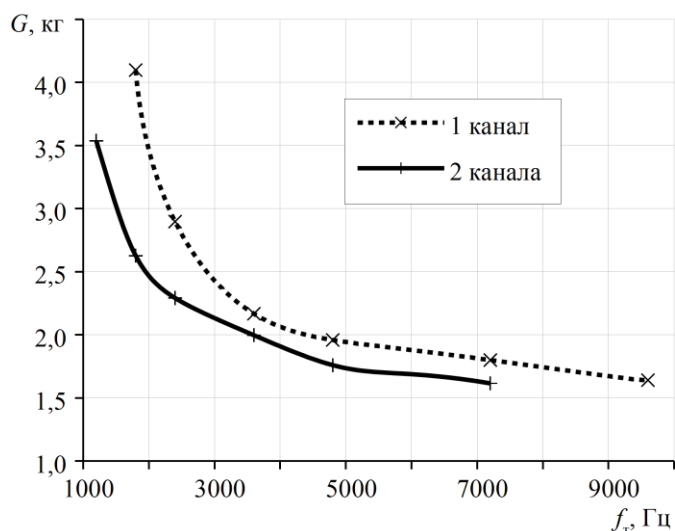


Рис. 6. Зависимости суммарной массы активных материалов фильтра и охладителя ТИН от тактовой частоты ШИМ

Очевидно, что выбор силовых полупроводниковых приборов и режима их работы невозможно осуществить без точных ИК-моделей предполагаемых к использованию полупроводниковых элементов. В связи с этим возникают 2 основных требования к обеспечению процесса проектирования ЭТК: 1. наличие наиболее точных моделей компонентов; 2. ускорение вариантных исследований путём оптимизации использования доступных вычислительных ресурсов.

ИКМ с применением некоторого ПО (например, PSpice/OtCAD, де-факто являющегося одним из стандартных средств проектирования устройств силовой электроники), требует значительных вычислительных ресурсов ЦП, который выполняет при этом вычисления в одном потоке. Большое количество вычислительных ядер современных ЦП приводит к недоиспользованию ЭВМ, в связи с чем для одновременного многовариантного моделирования рекомендуется виртуализация рабочих мест инженеров, как наиболее простой способ обеспечения параллельной работы нескольких экземпляров ПО. Также, ввиду невозможности одновременной работы нескольких экземпляров расчётной программы с разными моделями, в качестве ускоренного метода решения вариантных задач рациональным видится выделение нескольких виртуальных машин для вариантных исследований одной ИК-модели (например, с целью получения аналогичных рис. 4 зависимостей) и автоматизация распараллеливания таких исследований на уровне базовой операционной системы (или гипервизора) используемой платформы виртуализации.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе на конкретном примере глубокой модернизации (ГМ) серийно выпускаемого преобразователя (ПТС-3000) представлена первая версия решения задачи создания ИМО для системного проектирования (СП) подобного рода сложных ЭТК этого класса.

В состав ИМО входят результаты решения следующих задач:

- определение зависимостей массы компонентов (в частности, для конденсаторов, трансформаторов, полупроводниковых компонентов) от электрических параметров, определяющих их электрическую нагрузку. В первой версии ИМО не все задачи решены в полном объёме; сформированы требования к производителям компонентов, которые должны ими выполняться для решения задач ИМО в полном объёме;
- в достаточно полном объёме (с позиции поставленных требований ГМ и СП) решены следующие задачи:
 - а) синтезирована двухзвенная структура (повышающий высокочастотный конвертор напряжения – КН, трёхфазный инвертор

напряжения – ТИН) с двухканальным исполнением каждого звена;
 б) в преобразователе использован современный ресурсоэнергосберегающий алгоритм формирования выходного напряжения;
 в) при этом на КН возложены функции регулирования и частичного улучшения спектрального состава выходного напряжения ТИН;
 г) представлены предварительные результаты оценки активной массы модернизированного преобразователя ПТС-3000М.

С целью формирования целостного ИМО для проектирования ЭТК, подобных рассмотренному ПТС-3000М, следует определить ранее не определённые зависимости массы компонентов от электрических параметров, в частности для конденсаторов, трансформаторов, полупроводниковых компонентов. Дальнейшему уточнению подлежат упомянутые зависимости для охладителей ввиду их заметных различий по данным разных производителей. Сформулированы требования по дальнейшему повышению эффективности СП на основе ИКМ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Михеев В.В., Мыщык Г.С., Анцкайтис Г.В., Бродников С.Н. и др. Трёхфазный инвертор для системы резервного электропитания. Практическая силовая электроника, 2005, №17. — С.5–11
- [2] Хлаинг Мин У. Исследование эффективности использования промежуточного высокочастотного преобразования при построении статических преобразователей и систем на их основе. Автореферат дис.-и на соиск. уч. ст. к.т.н. — М.: Моск. энерг. ин.-т (ТУ), 2009г. — 20 с.
- [3] Бродников С.Н., Воронцов К.А., Мыщык Г.С. Трёхфазный инвертор напряжения централизованного типа с промежуточным высокочастотным преобразованием // Практическая силовая электроника. 2015. № 59. С. 4–11.
- [4] Патент на полезную модель RU 153371 U1, МПК H02M 3/335, H02M 3/337, H02M 3/24. Регулируемый по напряжению преобразователь // Авторы: Г.С.Мыщык, К.А. Воронцов / Оpubл.:20.07.2015 Бюл.№20
- [5] Хлаинг Мин У, Взаимосвязь массы дросселей переменного и постоянного тока с их энергией // Практическая силовая электроника, 2015, №57. — С.21–24.
- [6] Пью Мьинт Тхейн. Создание информационно-методического обеспечения для системного проектирования статических преобразователей частоты в составе машинно-электронных генерирующих систем для малой энергетики и автономных объектов. Автореферат диссертации на соиск. уч. ст. к.т.н. — М.: НИУ «МЭИ», 2013. — 20 с.
- [7] Хлаинг Мин У, Мыщык Г.С. Об эффективности использования трансфильтров и сглаживающих дросселей в структурах преобразователей с многоканальным преобразованием. Электричество, №7, 2015. — С.37–44.
- [8] Авторское свидетельство СССР, №633128, МКИ² H02 P 13/18. Способ управления трехфазным инвертором и устройство для его осуществления / Авторы: Г.С. Мыщык, А.И. Щеголев / Оpubл.: 05.11.1978, Бюл.№42.
- [9] Мыщык Г.С., Чесноков А.В., Михеев В.В. Синтез трехфазных преобразователей с улучшенным качеством преобразованной электроэнергии // Электротехника, 1986, №12. — С.40–45.
- [10] Воронцов К.А., Мыщык Г.С. О возможностях совершенствования трехфазных инверторов напряжения централизованного типа с ШИМ выходного напряжения // Вестник МЭИ. 2016. № 2. С. 48–58.
- [11] Воронцов К.А. Некоторые результаты системного подхода к проектированию трехфазных инверторов с промежуточным высокочастотным преобразованием // Вестник МЭИ. 2016. № 4. С. 108–115.
- [12] D.G. Holmes, T.A. Lipo. Pulse Width Modulation For Power Converters. Principles and Practice // IEEE Press / Wiley-Interscience, New York, USA, 2003 — pp. 299–336
- [13] Чаплыгин Е.Е., Хухтиков С.В. Широтно-импульсная модуляция с пассивной фазой в трехфазных инверторах напряжения. Электричество, №5, 2011. — С.53–61
- [14] N. Ravisekhar Raju, “A DC-link modulated three-phase converter”, Proc.of IAS’01, Vol.4, pp. 2181-2185, 2001
- [15] Белопольский И.И., Каретникова Е.И., Пикалова Л.Г. Расчёт трансформаторов и дросселей малой мощности. 3-е изд., стереотипное. — М.: «ИД Альянс», 2008

Моделирование управления манипулятором при использовании контроллера с программируемой логикой, адаптивной нейронной сети и алгоритма уточнения решения обратной задачи кинематики

П. Ганин

Кафедра «Управления и информатики»
«Национальный исследовательский университет
«МЭИ»
Москва, Российская Федерация
e-mail: GaninPY@mpei.ru

А. Кобрин

Кафедра «Робототехники, мехатроники, динамики и
прочности машин»
«Национальный исследовательский университет
«МЭИ»
Москва, Российская Федерация
e-mail: KobrinAI@yandex.ru

Аннотация — в статье рассматривается моделирование управляемого манипулятора на базе гибридного метода решения обратной задачи кинематики (ОЗК), использующего адаптивную нейронную сеть нечеткого вывода *ANFIS* и алгоритм итеративного уточнения полученного решения методом Ньютона-Рафсона. Продемонстрирован синтез системы управления для многозвенного избыточного манипулятора с применением программируемого логического контроллера (ПЛК). Представленная система управления обеспечивает контролируемую точность вычислений в системах реального времени. Данный метод решения ОЗК может применяться при различных параметрах конструкции манипулятора, что делает систему кроссплатформенной. В среде *Matlab* выполнено моделирование процесса работы системы управления на базе разработанного метода решения ОЗК. Приводится математическое описание решения задачи построения рабочего пространства манипулятора и пример обучения нейронных сетей системы управления. Представлены результаты работы алгоритма ОЗК.

Ключевые слова — Нейронные сети, *ANFIS*, Гибридный метод, Избыточные манипуляторы, Обратная задача кинематики, Компьютерное моделирование, Синтез систем управления, Программируемый логический контроллер.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время манипуляторы находят широкое применение в различных сферах деятельности человека, в том числе, в промышленности, в сельском и городском хозяйстве. Применение автоматизированных систем позволяет в большой степени упростить работу человека по совершенно рутинных операций, в некоторых случаях даже заменить его. Подготовка в этой области робототехники актуальна и востребована. Для совершенствования процесса обучения все чаще применяют возможности компьютерного моделирования работы современного промышленного оборудования, так как это сокращает финансовые затраты и дает возможность

понять алгоритмы и оценить работу разрабатываемых систем. Популярными примерами моделируемых автоматических систем являются манипуляторы и мобильные роботы. Сочетая возможности моделирования с использованием современного промышленного оборудования, можно существенно упростить разработку и анализ технически сложных объектов. В статье рассматривается модель промышленного манипулятора и его системы управления на базе предлагаемого гибридного метода.

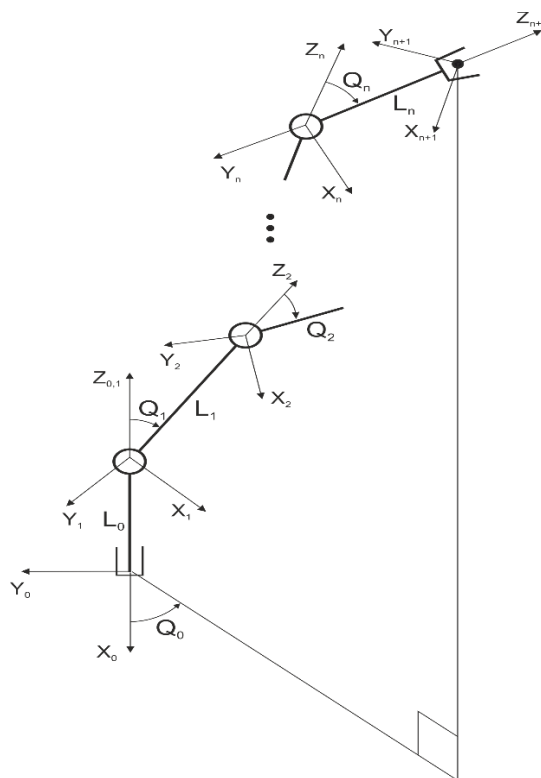


Рис. 1. Механическая структура манипуляционного робота

Синтез систем управления манипуляционными роботами включает в себя решение прямой и обратной (инверсной) задач, построение областей достижимости. Прямая задача кинематики заключается в определении пространственного положения и ориентации рабочего органа по известным значениям обобщенных координат звеньев манипулятора. Решить эту задачу возможно различными способами, такими как: матрицы преобразований систем координат; установление системы геометрической зависимости координат. В общем виде система уравнений описывающих кинематическую структуру манипуляционного робота, представленного на рис. 1, имеет вид:

$$\begin{cases} x = [\sum_m (L_m \cdot \sin(\sum_p^m Q_p))] \cdot \cos Q_0, \\ y = [\sum_m (L_m \cdot \sin(\sum_p^m Q_p))] \cdot \sin Q_0, \\ z = L_0 + \sum_m (L_m \cdot \cos(\sum_p^m Q_p)), \end{cases} \quad (1)$$

где $m = 1..n$, $p = 1..m$, L_n – длины звеньев (постоянные параметры); L_0 – высота основания; Q_n – углы поворота звеньев; x, y, z – координаты рабочего органа.

Для манипуляционного робота с тремя звеньями ($n=3$) система уравнений, описывающих его кинематику будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} x = [L_1 \cdot \sin(Q_1) + L_2 \cdot \sin(Q_1 + Q_2) + L_3 \cdot \sin(Q_1 + Q_2 + Q_3)] \cdot \cos Q_0, \\ y = [L_1 \cdot \sin(Q_1) + L_2 \cdot \sin(Q_1 + Q_2) + L_3 \cdot \sin(Q_1 + Q_2 + Q_3)] \cdot \sin Q_0, \\ z = L_0 + L_1 \cdot \cos(Q_1) + L_2 \cdot \cos(Q_1 + Q_2) + L_3 \cdot \cos(Q_1 + Q_2 + Q_3). \end{cases} \quad (2)$$

Зная параметры звеньев и углы поворота манипулятора в конкретный момент времени, можно найти координаты его рабочего органа в пространстве, используя сформированную систему уравнений.

Одним из наиболее важных параметров манипулятора является его рабочая область, то есть, непосредственно, та область, в каждой точке которой возможно позиционировать захват манипулятора. Исходя из решения прямой задачи, пользуясь системой уравнений (1), можно построить область достижимости рабочего органа манипулятора.

Обратная задача заключается в определении переменных параметров манипулятора (углов поворота звеньев в шарнирах манипулятора) при заданном положении рабочего органа. Методы решения обратной задачи определения положения звеньев манипулятора робота в общем виде делятся на точные и приближенные. При использовании точных методов искомые углы поворота удается получить в виде аналитической зависимости параметров кинематической схемы манипулятора. В этом случае процесс нахождения искомых углов сводится к вычислению значений заранее полученных аналитических зависимостей. К сожалению, точное решение удается получить не для каждой кинематической схемы манипулятора. Для решения этой проблемы применяют приближенные методы – методы численных решений уравнений связи. Они позволяют найти решения для любых кинематических схем, однако эти методы имеют и ряд недостатков, обусловленных применением итерационного подхода к решению. Более

подробно решение обратной задачи кинематики манипулятора можно разделить на:

- Решения в замкнутой форме (аналитические):
 - геометрические – такие в которых рассматриваются нелинейные системы уравнений прямой задачи кинематики, без учета геометрической структуры из которой они были получены;
 - алгебраические – такие в которых применяется геометрическая структура манипуляционного робота для выведения уравнений обеспечивающих сопоставление переменных обратной кинематики.
- Приближенные (численные, итерационные) методы:
 - методы оптимизации итераций на основе поскоординатного спуска, градиентного спуска;
 - методы на основе вычисления матриц Якоби: методы Ньютона, Ньютона-Рафсона, Гаусса-Ньютона, Левенберга-Марквардта;
 - метод симплексного поиска;
 - метод недоопределенных моделей;
 - методы на основе нелинейного программирования: метод штрафных функций;
 - методы на основе нейронных сетей (*ANFIS*, *RBF*).

Примерами аналитического решения ОЗК может служить решение Пайпера для трех пересекающихся в точке осей сочленений (вращения) [1]. Данное решение было апробировано для манипуляторов *PUMA* и *Stanford*. Решение ОЗК для мобильного манипулятора *KUKA youBot*, предложено в [2]. Также на данный момент популярен метод «прямого и обратного следования» (*FABRIK*) [3]. В данной работе рассматривается гибридный метод, сочетающий в себе алгоритм на основе нейронной сети *ANFIS* [4] и итерационного уточнения [5].

II. МОДЕЛИРОВАНИЕ МАНИПУЛЯТОРА В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK SIMMECHANICS

Используя среду *Matlab Simulink* можно построить модель, которая будет отражать все кинематические и динамические свойства манипулятора. Для этого используется пакет расширения *Simulink* для моделирования механических систем *SimMechanics*. Данный инструмент обладает широкими возможностями для анализа как системы в целом, так и каждого из ее элементов в отдельности. Модель в *Simulink* имеет структуру блок-схемы, состоящей из взаимосвязанных блоков, каждый из которых в свою очередь может состоять из других блоков. Главный блок модели, состоит из 4-х основных блоков: система управления, механическая модель, модель виртуальной реальности и информация о модели. Последний содержит лицензионную информацию и сведения о разработчике.

А. Блок «Механическая модель»

Данный блок отражает конструкцию манипулятора, все физические и механические параметры звеньев и сочленений. Устанавливает и определяет все физические взаимосвязи. В свою очередь механическая модель состоит из следующих блоков:

- «Окружение виртуальной машины» - предназначен для задания параметров среды в которой происходит моделирование: вектор гравитации, размерности, метод анализа модели, точность вычислений и других параметров внешнего воздействия;
- «Земля» - представляет собой неподвижную точку в глобальной (мировой) системе координат. К одному из портов блока подключается блок окружения, к другому используемые сочленения. Для данного блока возможно задание смещения;
- «Тело» - представляет собой твердое тело с заданными свойствами, такими как: масса, момент инерции координаты центра тяжести (CG), форма тела, цветовая информация и др. Порты блока $CS1$ и $CS4$ используются для подключения пользовательских систем координат с заданным смещением;
- «Датчик тела» - измеряет перемещение в пространстве блока «Тело». Измерения можно производить для таких величин как перемещение, вращение, ускорение;
- «Взаимодействие вращения» - устанавливает степень свободы типа вращения для указанных координат между ведущим (B) и ведомым (F) звеньями;
- «Призматическое взаимодействие» - устанавливает степень свободы типа перемещение в плоскости для указанных координат между ведущим (B) и ведомым (F) звеньями;
- «Привод сочленения» - осуществляет активацию движения звеньев, связанных сочленением. Блок получает данные от системы управления. В параметрах блока указывается тип воздействия (оказание усилия, перемещение) и его величины;
- «Датчик сочленения» - получает данные о взаимодействиях в сочленении и перемещении примитивов;
- «Источник данных» - получает сигнал из указанного ссылкой места;
- «Приемник данных» - получает данные для отправки в указанное ссылкой место.

В. Блок «Система управления»

Данный блок осуществляет управление механической и виртуальной моделью. Содержит описание законов управления и параметров переходных процессов. Дополнительно предусмотрено подключение к блоку управления экспериментальной установки (через OPC -сервер) для оценки качества моделирования и проведения

сравнительного анализа. Блок состоит из следующих базовых блоков:

- «Чтение данных из OPC » - производит чтение данных из OPC -сервера и формирование сигнала заданного формата. Чтение осуществляется выбранным методом (синхронно, асинхронно) и с определенной частотой;
- «Константа» - формирует сигнал заданной амплитуды;
- «Разделить» - осуществляет операцию деления для входного сигнала;
- «Сложить» - выполняет операцию сложения (или вычитания) для входных воздействий;
- «Насыщение» - ограничивает входное воздействие в заданных пределах;
- «Усиление» увеличивает входное воздействие на заданную величину;
- «Переключатель» - позволяет выбирать направление передаваемых данных. Взаимодействие с данным блоком возможно в процессе работы модели;
- «Слайдер» - предоставляет возможность для изменения коэффициента усиления входного сигнала в заданных пределах во время работы модели;
- «Мультиплексор» - объединяет входные сигналы в один выходной;
- «Демультимплексор» - разделяет входной сигнал на несколько выходных;
- «Управление элементом конструкции» - осуществляет формирование сигнала управления для модели на основании преобразования входных данных от модели и системы управления. Данный блок состоит из нескольких блоков: усиления, насыщения, сложения, констант, передаточных функций и мультиплексора.

С. Блок «Модель виртуальной реальности»

При помощи этого основного блока осуществляется визуализация процесса моделирования движения манипулятора. Блок состоит из 3-х типовых элементов: метки ссылок, оператора поворота матриц ($RotationMatrix2VR$) и блока виртуальной реальности ($VR Sink$). Построение модели происходит в блоке $VR Sink$ [6] на основании данных получаемых от модели $SimMechanics$ и системы управления либо от реального оборудования через OPC -сервер в блоке системы управления. В дереве каталога задаются входы $VR Sink$ для соответствующих объектов виртуального мира и используемые для передачи данных в виртуальную модель. Для пакета расширения $Matlab Simulink Virtual Reality$ существует встроенный редактор виртуального мира $VRealm$. Построение модели в нем осуществляется, используя язык $VRML$ ($Virtual Reality Modeling Language$).

III. ГИБРИДНЫЙ МЕТОД ОЗК

В робототехнике, анализ прямой кинематики осуществляется несколькими способами и позиция (ориентация) рабочего органа может быть вычислена достаточно точно. Проведение такого анализа довольно трудоемкий и сложный процесс, поскольку системы уравнений, определяющие кинематику манипулятора, обычно являются нелинейными. Применение метода, базирующегося на *ANFIS*-сети, позволяет в значительной степени упростить эту задачу, при этом достигаются довольно высокие показатели точности позиционирования. Этот метод упрощает взаимодействие со сложными нелинейными математическими уравнениями. Принцип работы метода основан на создании адаптивной нейронной сети нечеткого вывода (*ANFIS*), путем обучения систем нечеткого вывода (FIS) как функции принадлежности на решении прямой кинематики. Для обучения *ANFIS* генерируется карта зависимых координат. В дальнейшем обученная сеть применяется как составная часть более сложной системы. *ANFIS* – сети объединяют преимущества двух различных подходов (нечеткая логика и нейронные сети) в единый алгоритм.

В работе представлен метод ОЗК который базируется на применении адаптивной нейронной сети нечеткого вывода (*ANFIS*). Принцип работы заключается в последовательном применении *ANFIS* и численного итерационного метода (Ньютона-Рафсона). Конструкция манипулятора описывается математическими уравнениями, которые используются для построения области достижимости (рабочей области). Также инициируется создание нейро-нечеткой сети на базе этих уравнений. Генерируется база данных для обучения нейронной сети.

Для заданного желаемого положения рабочего органа манипулятора в пространстве, в первую очередь, выполняется проверка достижимости (вхождение в рабочую область). Далее требуемые координаты в пространстве поступают на обученную сеть *ANFIS*, в результате инициализации работы сети получаем требуемые углы поворота звеньев. На прямой задаче осуществляем проверку на точность, и в случае ее недостаточности, переходим к численным итерациям в окрестностях полученных координат (углов поворота звеньев). При достижении требуемой точности и в случае успешной проверки координаты передаются в управляющее устройство (ПЛК), где в свою очередь отслеживается исполнение перемещений. ПЛК имеет обратную связь с исполнительным устройством (сервоприводом), он позволяет отслеживать состояние привода (положение, момент, скорость, ускорение и др.) в динамике.

Преимущества данного метода заключаются в повышении скорости выполнения расчетов алгоритма при контролируемой точности. Все численные итерационные методы являются очень ресурсоемкими и требуют большого количества итераций, что в свою очередь негативно сказывается на времени исполнения. С другой стороны, метод решения ОЗК основанный на *ANFIS*-сети, выполняется мгновенно (2-5 [мс]) и не зависит от

сложности конструкции (систем уравнений, ее описывающих). Однако его точность не очень высока в сравнении с итерационными методами. Поэтому предлагается алгоритм, сочетающий в себе достоинства обоих методов: высокую точность и быстродействие. Требуемые координаты (углы поворота звеньев) для обратной задачи сначала рассчитываются нейронной сетью (*ANFIS*), а после уточняются итерационным методом. Таким образом сильно сокращается количество итераций численного метода, и соответственно время исполнения алгоритма. Однако стоит отметить, что предварительно приходится произвести генерацию и обучение нейро-нечеткой сети *ANFIS*. Этот процесс может потребовать продолжительного времени (до нескольких часов).

На рис. 2 представлена схема работы алгоритма управления, базирующегося на гибридном методе решения обратной задачи кинематики.

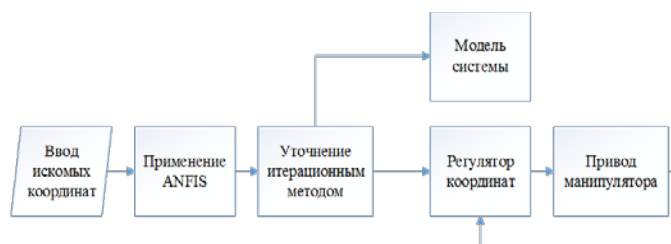


Рис. 2. Принцип работы алгоритма управления

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ГИБРИДНОГО АЛГОРИТМА ИК

Проверка работы алгоритмов решения инверсной кинематики была проведена для конструкции робота-манипулятора, механическая схема которого изображена на рис. 1. Была выбрана конструкция с 3-я звеньями, обладающими по одной степени подвижности – вращением относительно друг друга и вращающимся основанием. Были выбраны следующие параметры манипулятора:

- Длины звеньев [мм]: $L_0 = 200$; $L_1 = 600$; $L_2 = 500$; $L_3 = 400$; $L_4 = 100$;
- Углы поворота звеньев [°]: $Q_0 = [0..360]$, $Q_1 = [0..60]$, $Q_2 = [0..60]$, $Q_3 = [0..90]$.

A. Рабочая область

Используя систему уравнений (2) было выполнено построение области достижимости (рабочей области) манипулятора на плоскости (рис. 3) и в пространстве (рис. 4). Фактически пространственная область является телом вращения плоской рабочей области вдоль оси Z. Из полученной рабочей области определяем границы для расчетов и формируем обучающие выборки для каждой нейронной сети.

B. Применение алгоритма поиска на основе ANFIS

На данном этапе происходит генерация нейронных сетей и их обучение, после чего осуществляется инициация работы сети для получения искомым данных. Генерируются три *ANFIS* сети со следующим набором входных и выходных данных:

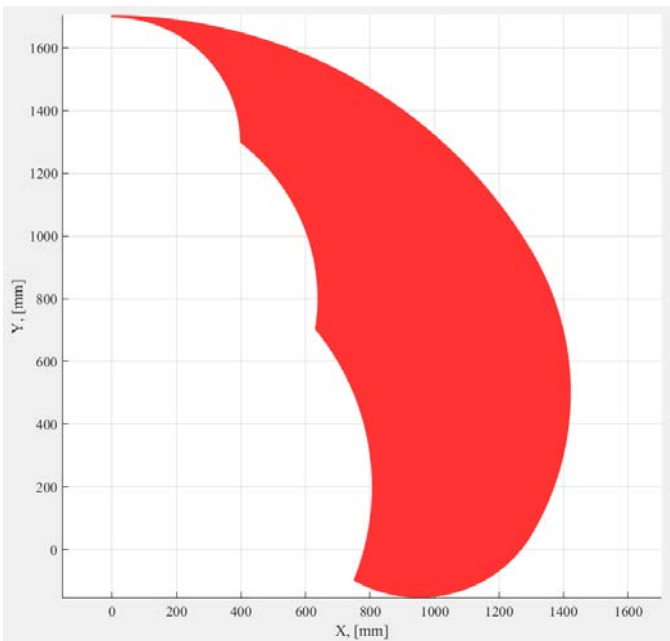


Рис.3. Рабочая область манипулятора на плоскости

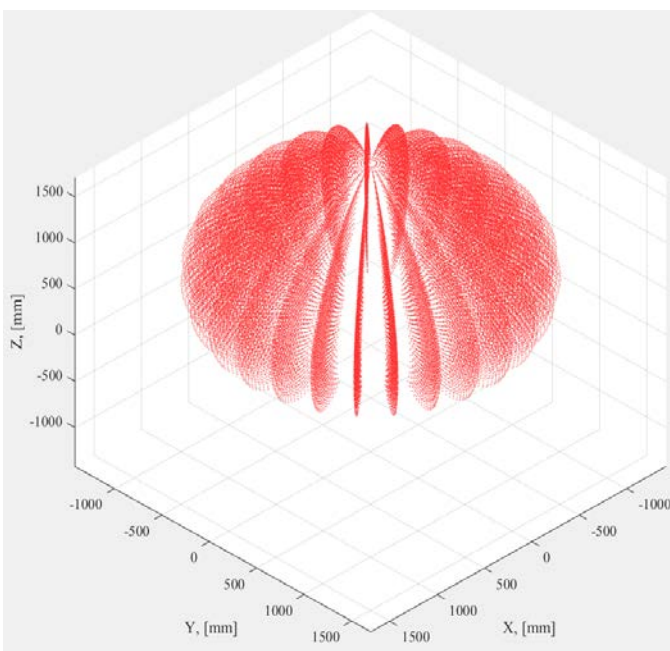


Рис.4. Рабочая область манипулятора в пространстве

$$\begin{pmatrix} y, z, Q_1; \\ y, z, Q_2; \\ y, z, Q_3. \end{pmatrix} \quad (3)$$

Таким образом каждая из этих сетей используется для поиска соответствующего угла поворота звена в одной плоскости. Для каждого входа сети генерируется 4 функции принадлежности, в данном случае использованы обобщенные колоколообразные функции принадлежности. Применяемая функция принадлежности имеет вид симметричной кривой в форме колокола и описывается следующей формулой:

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}}, \quad (4)$$

где a - коэффициент концентрации функции принадлежности; b - коэффициент крутизны функции принадлежности; c - координата максимума функции принадлежности.

Обучение нейронных сетей выполняется на основе метода, который представляет собой комбинацию оценки по методу наименьших квадратов с обратным распространением ошибки. Обучение выполняется с фиксированным количеством шагов (взято равным 20).

С. Применение алгоритма для уточнения полученного решения

В общем виде уточнение решения выполняется по следующей формуле:

$$Q_{k,n+1} = Q_{k,n} - \frac{f(Q_{k,n})}{f'(Q_{k,n})}, \quad (5)$$

где $k=1..3$ номер угла, n - номер итерации.

Алгоритм работы данной части включает в себя следующие этапы:

- Задается начальное приближение (данные полученные методом *ANFIS* из первой части основного алгоритма);
- Пока не выполнено условие остановки вычисляется новое приближение по формуле 4. В качестве условия остановки было выбрано:

$$|Q_{k,n+1} - Q_{k,n}| < \varepsilon, \quad (6)$$

где $\varepsilon=0,001$ [рад] допустимая погрешность.

- Также было задано условие остановки при превышении шага итерации значения 1000. В случае если решение не было корректно уточнено, происходит пересчет этой координаты в *ANFIS* с некоторым смещением и с последующим уточнением. В случае если при пересчете решение не было уточнено, берется решение из *ANFIS*.

D. Результаты поиска решения

В процессе инициации работы сети на ее вход подаются требуемые координаты рабочего органа манипулятора (y, z), а на выходе каждой из сетей имеем соответствующее приближенное значение искомого угла. В случае недостаточной точности вычисления, проводится уточнение. Эксперимент проводился для набора точек, описывающих прямоугольную траекторию в пространстве.

- Количество точек в траектории: 4000;
- Требуемая точность вычислений: 0,01 [мм] для положения рабочего органа;
- Координаты вершин прямоугольной траектории: $A = \{800; 900; 300\}$, $B = \{1000; 900; 600\}$, $C = \{1000; -900; 600\}$, $D = \{800; -900; 300\}$;
- Количество функции принадлежности: 4;

- Количество подходов при обучении сети: 20.

Имеем следующие результаты для всей траектории:

- Время на создание ANFIS сети: 71,302 [мс];
- Время на обучение ANFIS сети: 13690,674 [мс];
- Время на расчёт траектории: 5220,968 [мс];
- Макс. дистанция до цели после ANFIS: 32,880 [мм];
- Макс. дистанция до цели после уточнения: 0,01 [мм];
- Ср. дистанция до цели после ANFIS: 25,182 [мм];
- Ср. дистанция до цели после уточнения: 0,01 [мм];
- Мин. дистанция до цели после ANFIS: 5,069 [мм];
- Мин. дистанция до цели после уточнения: 0,008 [мм].

Для одной точки из траектории:

- Результаты из ANFIS [°]: $Q_0=48,366$, $Q_1=48,365$, $Q_2=28,737$, $Q_3=66,511$;
- Результаты итерационного уточнения [°]: $Q_0=48,366$, $Q_1=47,173$, $Q_2=30,240$, $Q_3=69,065$;
- Разница координат после ANFIS [мм]: $X=-18,788$, $Y=-21,136$, $Z=-7,721$;
- Разница координат после итерационного уточнения [мм]: $X=-0,002$, $Y=-0,002$, $Z=0,008$.

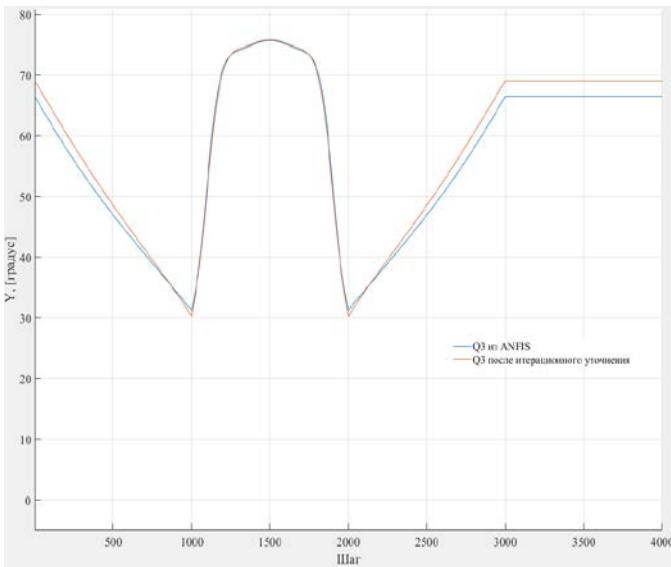


Рис. 5. Изменение углов манипулятора

На рис. 5 представлен график изменения Q_3 в сочленении манипулятора при отработке заданной траектории. По данному графику можно судить о равномерности (плавности) изменения координаты.

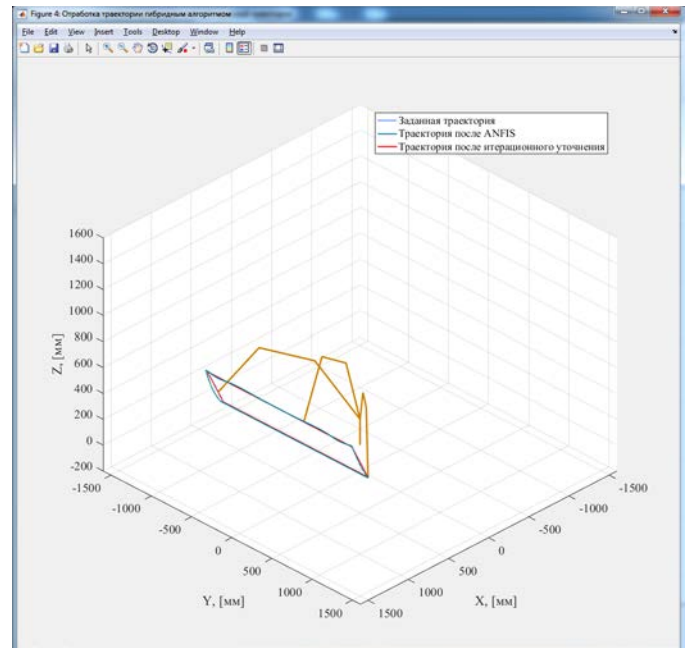


Рис. 6. Обработка траектории

На рис. 6 продемонстрирована отработка прямоугольной траектории в пространстве. Также схематично отображен манипулятор в трех различных положениях на траектории.

Учитывая время расчета всех точек траектории и зная их количество можно определить время на одно вычисления:

$$t_v = \frac{t_{\text{алг}}}{N} = \frac{5221}{4000} = 1,3 \text{ [мс]},$$

где $t_{\text{алг}}$ – время выполнения алгоритма расчета траектории, N – количество вычислений.

Таким образом время на расчет не превышает 5 [мс] что соответствует требованиям для применения в системах реального времени.

Работа была поддержана РФФИ (грант №16-01-429 а) и фондом содействия инновациям (в рамках проекта УМНИК).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Pieper D., Roth V. The Kinematics of Manipulators Under Computer Control // Proceedings of the Second International Congress on Theory of Machines and Mechanisms. 1969. Т. 2. С.159–169.
- [2] Капустина О.М. Описание множества точных решений обратной задачи кинематики робота KUKA YOUNBOT с помощью обобщенных координат его платформы // Естественные и технические науки. 2016. №12 (102). С.176-180. ISSN:1684-2626.
- [3] Aristidou A., Lasenby J. FABRIK: A fast, iterative solver for the Inverse Kinematics problem // Graphical Models. 2011. Т. 73 (5). С. 243-260.
- [4] Adrian-Vasile Duka. ANFIS Based Solution to the Inverse Kinematics of a 3DOF Planar Manipulator // Procedia Technology. 2015. Т. 19. С. 526-533
- [5] Barinka L. Inverse Kinematics - Basic Methods. Czech Technical University. 2002. <http://old.cescg.org/CESCG-2002/LBarinka>
- [6] Corke P. Robotics, Vision and Control. Fundamental Algorithms In MATLAB® Second, Completely Revised, Extended And Updated Edition. Springer. ISBN 978-3-319-54413-7. 2017. С. 245-263

Разработка программного комплекса оптимального выбора наилучших доступных технологий

А.Н. Головтеева, А.М. Сиваковский, П.В. Росляков
ФГБОУ ВО Национальный исследовательский институт МЭИ
Москва, Россия
RoslyakovPV@mpei.ru

Аннотация — Развитие современной энергетики невозможно без эффективного решения экологических проблем и тепловые электростанции должны отвечать жестким требованиям по ограничению загрязнения окружающей среды. В настоящей работе описана разработка программного комплекса, реализующего расчет вредных выбросов ТЭС в атмосферу с дымовыми газами котлов и алгоритм выбора соответствующих наилучших доступных технологий, обеспечивающих необходимую степень их снижения. Приведены основные нормативно-правовые документы, регламентирующие переход энергетической отрасли на принципы наилучших доступных технологий (НДТ).

Ключевые слова — программный комплекс, наилучшие доступные технологии, расчет выбросов, алгоритм выбора.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Российской Федерации совершенствуется система государственного регулирования на основе внедрения наилучших доступных технологий (НДТ) в различных областях промышленности. Термин «наилучшая доступная технология» в России установлен Федеральным законом от 10.01.2002 №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [1] - «технология производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения»

Российский топливно-энергетический комплекс характеризуется значительным потенциалом в области оптимизации и повышения эффективности производственных процессов потребления энергетических ресурсов за счет обновления технологической базы. Переход на принципы НДТ в сфере энергетики позволит обеспечить оптимальные сочетания энергетических, экологических и экономических показателей. Так в соответствии с Федеральным законом от 21.07.2014 № 219-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации" [2] применение наилучших

доступных технологий, направлено на комплексное предотвращение и (или) минимизацию негативного воздействия на окружающую среду. Постановлением Правительства РФ от 23 декабря 2014 г. № 1458 [3] установлено, что в качестве документов национальной стандартизации разрабатываются информационно-технические справочники (ИТС). ИТС 38-2017 «Сжигание топлива на крупных установках с целью производства энергии» [4] содержит технологические показатели по выбросам маркерных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от котельных установок при сжигании различного вида топлива, а также широкий перечень наилучших доступных технологий (НДТ), направленных на их снижение.

II. СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

Актуальной проблемой является обеспечение комплексного подхода к расчету вредных выбросов ТЭС в атмосферный воздух и выбору рекомендуемых к внедрению НДТ. В этой связи, разрабатывается программный комплекс (ПК), позволяющий решить ряд задач:

1. Определение массовых и удельных выбросов маркерных веществ в атмосферу с уходящими газами котлов: опытные данные или расчет в соответствии с действующими методиками;
2. Сравнение расчетных/опытных значений с технологическими нормативами и определение требуемой степени снижения загрязняющих выбросов при необходимости;
3. Формирование сводного перечня мероприятий по снижению вредных выбросов;
4. Учет критериев надежности, экономичности, стоимости и др. при выборе НДТ;
5. Расчет выбросов с учетом выбранных НДТ и формирование сводного отчета.

Принятие окончательного решения по выбору технологии осуществляется пользователем на основании анализа, проведенного с помощью программных средств.

На всех этапах работы программы предусмотрен «диалог» с пользователем, что позволяет максимально приблизить результаты работы ПК к практически применимым.

В итоге реализуется алгоритм оптимального выбора одной или совокупности НДТ в условиях конкретных исходных данных: вида сжигаемого топлива, типа и

мощности котла, его конструктивных и режимных особенностей. При этом отдельное внимания уделяется расчету стоимости внедрения НДТ, с целью учета экономической целесообразности внедрения технологии.

Структурная схема программного комплекса представлена на рис.1.

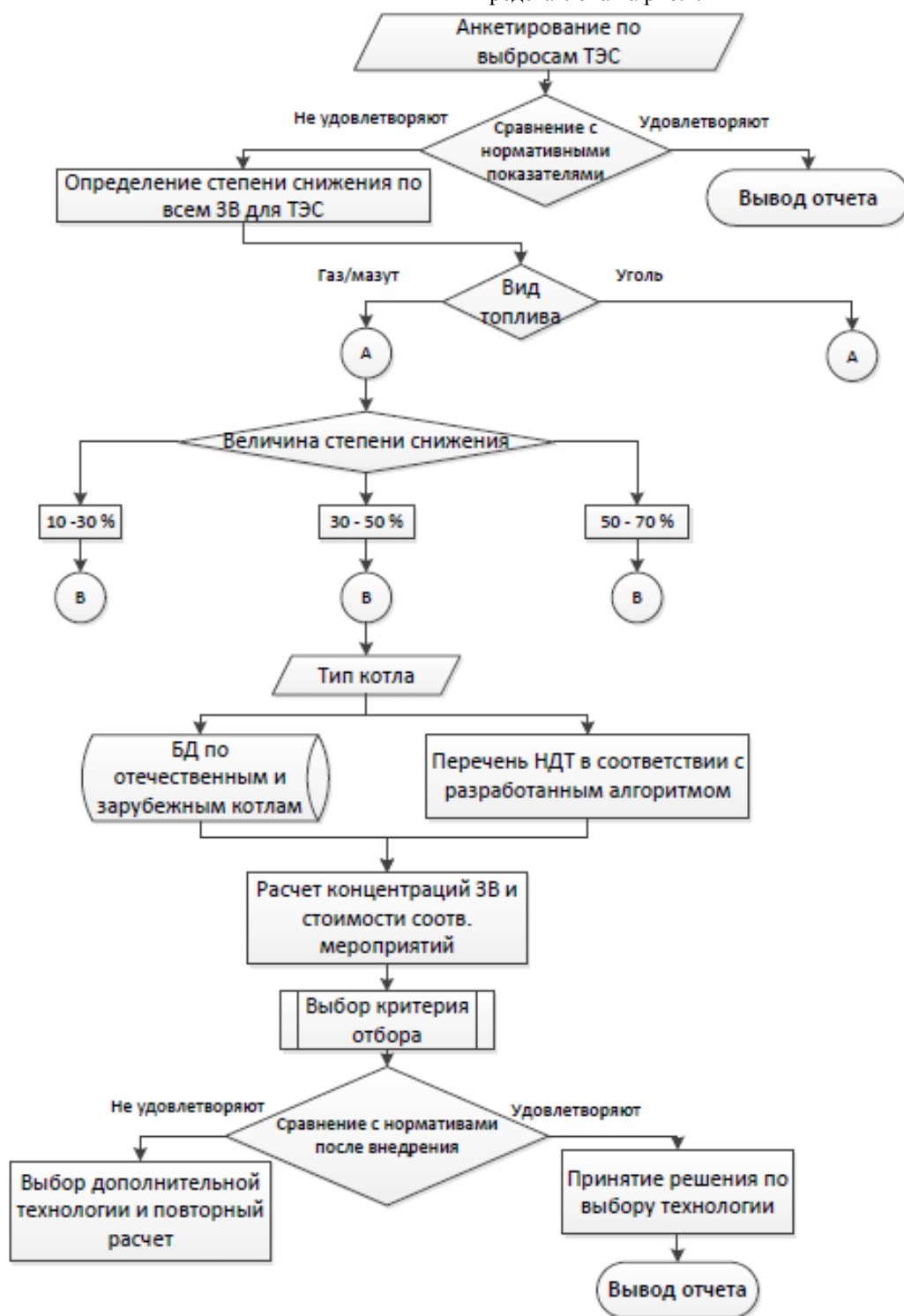


Рис. 1. Технологическая схема реализации ПК

В соответствии с ИТС 38-2017 маркерными веществами являются:

- оксиды азота NO_x (в пересчете на диоксид азота NO_2);
- диоксиды серы SO_2 ;
- монооксид углерода CO ;
- зола твердого топлива и мазута (в пересчете на ванадий).

Существует два подхода по оценке эмиссий вредных выбросов с уходящими газами котлов. Первый – опытный – заключается в проведении замеров с помощью газоанализаторов непосредственно на энергетических объектах. Второй подход основан на использовании полуэмпирических методик для инженерных расчетов. ПК предусматривает возможность как введения значений выбросов маркерных веществ, полученных опытным путем, так и их расчета в соответствии с методиками.

Программный комплекс объединяет действующие на сегодняшний день методики для расчета маркерных веществ:

1. РД34.02.305 – 98 «Методика определения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок ТЭС»;
2. СО153-34.02.304-2003 «Методические указания по расчету выбросов оксидов азота с дымовыми газами котлов тепловых электростанций».

В том числе, ПК позволяет рассчитать выбросы без(а)пирена ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$) с целью оценки уровня канцерогенной загрязненности продуктов сгорания и атмосферного воздуха, так как он является наиболее сильным и стабильным канцерогеном группы полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). Большое внимание в Б(а)П обусловлено его высокой канцерогенной активностью: по данным онкологов, его воздействие при наличии оксидов азота и серы в воздухе резко усиливается [5].

Расчеты выбросов Б(а)П проводятся в соответствии с методикой РД153-34.1-02.316-2003 «Методика расчета выбросов бенз(а)пирена в атмосферу паровыми котлами электростанций».

Расчеты выбросов маркерных веществ производятся на основании исходных данных, включающих в себя вид сжигаемого топлива (газ, мазут или уголь), конструктивные и режимные параметры.

В результате расчета определяются:

- концентрации маркерных вещества (С, г/м³);
- массовые выбросы (М, г/с);
- удельные выбросы (К, г/МДж).

Рассчитываются частные и суммарные показатели вредности продуктов сгорания. Частные показатели позволяют определить какие токсичные примеси, содержащиеся в продуктах сгорания данного топлива, наносят (с учетом из различных абсолютных выбросов и токсичности) наибольший вред окружающей среде и, соответственно, выбросы каких вредных веществ необходимо снижать в первую очередь. Показатель суммарной вредности используется в целях сопоставление и суммирования вредного воздействия различных примесей, содержащихся в дымовых газах [5].

Рассчитанные концентрации маркерных (загрязняющих) веществ по выбору пользователя могут сравниваться с нормативными значениями I, II и III уровней:

- I. Норматив по ГОСТ Р 50831-95 «Установки котельные. Тепломеханическое оборудование. Общие технические требования» [6];
- II. Норматив по Директиве 2010/75/ЕС «О промышленных выбросах (о комплексном предотвращении загрязнения и контроле над ним)» [7];
- III. Технологические показатели по информационно-техническому справочнику ИТС 38 – 2017 «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии» [4].

По итогам сравнения значений выбросов с нормативными делается вывод о необходимости их снижения. При неудовлетворительном результате программно определяется требуемая степень снижения в процентном соотношении по отдельным загрязняющим веществам для ТЭС.

На основании опытных данных полученных от уже внедренных мероприятий разработан алгоритм выбора НДТ (рис.2), позволяющих обеспечить необходимое снижение выбросов в зависимости от ряда факторов:

1. Срок ввода котла в эксплуатацию;
2. Вид топлива: уголь, газ/мазут;
3. Маркерные (загрязняющие) вещества;
4. Требуемая степень снижения выбросов загрязняющих веществ: 10-30%, 30-50% и 50-70%;
5. Конструктивные особенности котла.

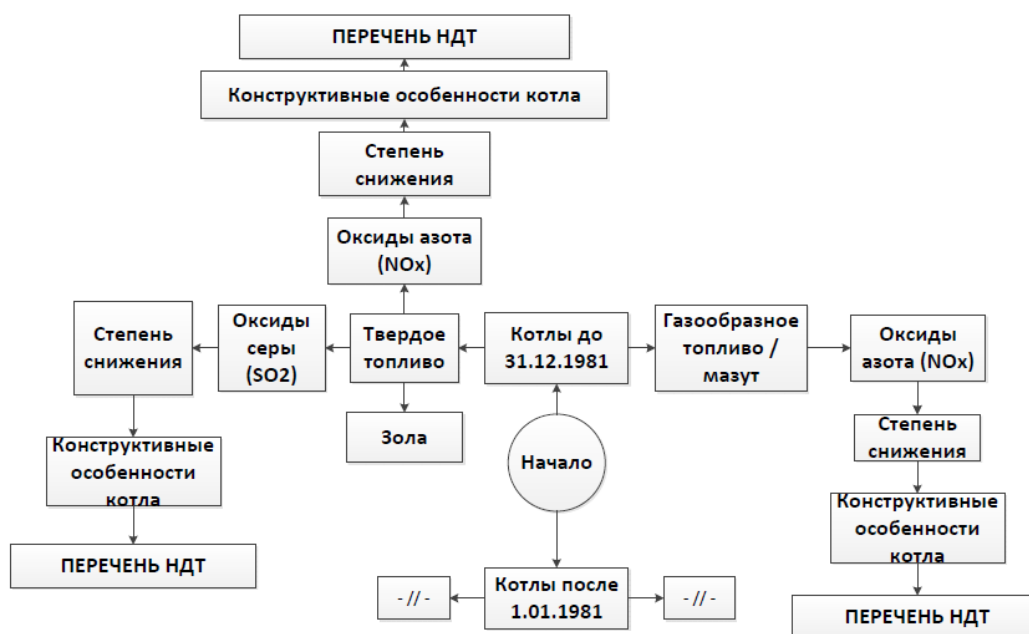


Рис. 2. Алгоритм оптимального выбора НДТ

Если требуемая степень снижения окажется ниже 10%, то рекомендуется проведение наладочных работ уже установленного на ТЭС оборудования.

Список НДТ формируется на основе банка данных, который включает в себя сведения из российских и зарубежных информационно-технических справочников о примерах применения технологий, снижающих вредные выбросы ТЭС.

В комплексе с расчетными программными средствами формируется база данных, включающая в себя опытные значения с уже существующих котлов: внедренная технология и фактический процент снижения выбросов. Это необходимо для эмпирической оценки внедрения возможных мероприятий и сравнения их с предложенными наилучшими доступными технологиями. При этом реализуется возможность наиболее полного анализа, основанного как на теоретической базе, так и на практической.

В итоге формируется перечень всех возможных технологий к внедрению на данном типе котла, при сжигании конкретного вида топлива. Заказчик сам устанавливает приоритетный критерий отбора и для удобства пользователя, технологии упорядочиваются в соответствии приоритету. Критериями выбора являются:

- российское оборудование или российский опыт внедрения технологий;
- минимизация цены (при прочих равных условиях);
- влияние на эффективность (КПД) и надежность (шлакование, коррозия и пр.) работы котла.

В результате ПК проводит расчет всех мероприятий и формирует отчет, где приводятся расчетные и нормативные значения. Если обнаруживается, что требуемая степень снижения вредных выбросов не достигнута, то ПК позволяет провести повторный выбор и расчет НДТ из перечня ИТС 38-2017. Если результаты удовлетворяют требованиям, заказчик принимает решение по выбору воздухоохранного мероприятия.

Данный ПК разрабатывается в среде программирования Visual Studio 2013 с использованием языка программирования C# и работает под управлением ОС серии "WINDOWS – 2000/XP/VISTA/7/8/10".

В процессе разработки к создаваемому программному комплексу выдвигаются следующие требования:

- унификация под систему Windows;
- дружественный и логический интерфейс;
- представление результатов в удобном табличном и графическом виде;
- система подсказок и ограничений при вводе исходных данных;
- защита от некорректного воздействия пользователя;
- сохранение основных исходных данных (ИД) при выполнении инвариантных расчетов для удобства работы пользователя и экономии времени.

III. ВОЗМОЖНЫЕ СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

В настоящее время алгоритм оптимального выбора НДТ разработан и проходит стадию проверки.

Программный комплекс для расчета вредных выбросов ТЭС и реализации данного алгоритма частично разработан. Его тестирование планируется провести при выполнении студентами курсовых работ в рамках курсов «Экология энергетики» и "Методы защиты окружающей среды" Национального исследовательского университета «МЭИ».

На основании распоряжения Правительства Российской Федерации от 19 марта 2014 г. № 398-р «Об утверждении комплекса мер, направленных на отказ от использования устаревших и неэффективных технологий, переход на принципы наилучших доступных технологий и внедрение современных технологий» [8] обеспечение реализации пилотных проектов внедрения наилучших доступных технологий в субъектах Российской Федерации запланировано на период с 2016 по 2022 года. Среди предприятий, утвержденных для внедрения НДТ в указанные сроки, есть и предприятия топливно-энергетического комплекса. Настоящий ПК рекомендуется к использованию при реконструкции действующих и проектировании новых котлов, для предварительного расчета и оценки эффективности внедрения НДТ. В настоящее время не существует подобного инструмента для проведения комплексного анализа по выбору внедряемых технологий. Специалисты вынуждены изучать большое количество справочного материала и проводить трудоемкие расчеты перед внедрением НДТ на станциях. Данная работа упростит и ускорит этот процесс, а также позволит минимизировать процент ошибки.

С переходом на принципы наилучших доступных технологий в российской энергетике возникает острая необходимость в высококвалифицированных кадрах, специализирующихся на проектировании экологически чистых котельных установок и разработки проектов их реконструкции и модернизации. В этой связи, данный ПК может использоваться в технических университетах в рамках специальных курсов по экологии энергетики, при выполнении курсовых проектов и выпускных квалификационных работ, а также в системе повышения квалификации специалистов экологических и наладочных подразделений теплоэнергетических предприятий.

IV. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ АНАЛОГОВ

С вступлением в силу Федерального закона от 21.07.2014 № 219-ФЗ в России осуществляется переход на принципы наилучших доступных технологий (НДТ). В этой связи, задача создания и внедрения алгоритма оптимального выбора НДТ для нашей страны является новой. Соответственно, российских аналогов программных реализаций отбора НДТ не существует.

ERICCa: Emission Reduction Investment and Cost Calculation (с англ. снижение объема инвестиций и расчет затрат) – европейский аналог, программный комплекс, в функции которого входит: расчет вредных выбросов (NO_x, SO₂, твердых частиц), перечень возможных технологий для их снижения и экономическая оценка внедрения. Последнее включает в себя предварительную оценку

капитальных и эксплуатационных затрат на внедрение. Но для определения полной стоимости затрат требуются более точные расчеты с учетом конструктивных особенностей конкретного котла и принятых инженерных решений. Таким образом, затраты, рассчитанные с помощью ERICCa, являются весьма приблизительными.

Программный комплекс, который рассматривается в данной статье, обеспечивает более детальные расчеты, предусматривает возможность оценки выбросов в соответствии с действующей нормативной базой, а также позволяет провести наиболее обширный анализ эффективности снижения вредных выбросов, учитывая конструктивные параметры отечественных котлов.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результатом настоящей работы является программный комплекс, реализующий широкий спектр задач в области анализа выбора наилучших доступных технологий для внедрения на ТЭС. Данный продукт отвечает современным требованиям развития экологической политики топливно-энергетического комплекса России. Его применение позволит сократить экономические затраты и повысить эффективность внедрения воздухоохраных мероприятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Федеральный закон от 10.01.2002 №7-ФЗ «Об охране окружающей среды». <http://base.garant.ru/5761497/>
- [2] Федеральный закон от 21.07.2014 № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации». <http://base.garant.ru/70700466/>
- [3] Постановление Правительства РФ от 23 декабря 2014 г. № 1458 «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям» (в редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 28.12.2016 г. N 1508). <http://www.pravo.gov.ru, 28.12.2016.>
- [4] ИТС 38-2017. Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии. – М.: Бюро НДТ, 2017. <http://docs.cntd.ru/document/556173718>
- [5] Росляков П.В. Методы защиты окружающей среды: Учебник для вузов – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 336 с.; ISBN: 978-5-383-00056-4.
- [6] ГОСТ Р 50831-95. Установки котельные. Тепломеханическое оборудование. Общие технические требования. - М.: Изд-во стандартов, 1996. – 27 с.; (Государственный стандарт Российской Федерации). УДК 621.18:006.354.
- [7] Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0075>
- [8] Распоряжение Правительства Российской Федерации от 19 марта 2014 г. № 398-р «Об утверждении комплекса мер, направленных на отказ от использования устаревших и неэффективных технологий, переход на принципы наилучших доступных технологий и внедрение современных технологий». <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/705195>

Информационные технологии разработки препроцессора программного комплекса SIGMA для численного моделирования задач механики сплошной среды

Ю.И. Дмитриенко, А.А. Захаров
Кафедра «Вычислительная математика и математическая физика»,
МГТУ им. Н.Э. Баумана
Москва, Россия
azaharov@bmstu.ru

Аннотация — В работе проведено описание информационных технологий и алгоритмов генерации блочно-структурированных адаптивных сеток для решения широкого класса задач механики сплошных сред конечно-разностными, конечно-элементными методами или методами контрольных объемов. Рассматриваются способы автоматизированного компьютерного построения геометрий расчётных областей сложной формы, используемые методы генерации и сгущения узлов сетки, алгоритмы работы с блочно-структурированными квазинепрерывными сетками для некоторых типов областей; алгоритмы генерации тетраэдральных сеток и сеток с элементами, центрированными относительно узлов исходных блочно-структурированных адаптивных сеток; алгоритмы генерации фиктивных узлов и ячеек. Показываются разработанные интерфейсы препроцессора программного комплекса SIGMA и некоторые примеры сгенерированных блочно-структурированных адаптивных сеток. Делаются выводы о преимуществах предложенного подхода генерации адаптивных сеток по сравнению с существующими аналогами.

Ключевые слова — блочно-структурированные адаптивные сетки, конечно-разностные сетки, геометрическое моделирование, центрированные контрольные объемы, сложные области, квазинепрерывные сетки, препроцессинг

I. ВВЕДЕНИЕ

Создание унифицированных автоматизированных пакетов программ построения адаптивных сеток в настоящее время представляет собой масштабную проблему прикладной математики, вычислительной физики, механики, биологии и медицины как в России, так и за рубежом [1-3]. Существующие открытые и коммерческие программные продукты в основном используют универсальные методы генерации сеток для сложных форм расчётных областей и ориентированы на генерацию неструктурированных конечно-элементных или конечно-объемных сеток [4-6]. Структурированность и адаптация сетки, а также гексаэдральность формы ее ячеек, как правило, могут сохраняться только вблизи некоторых границ области. В то же время, для некоторых

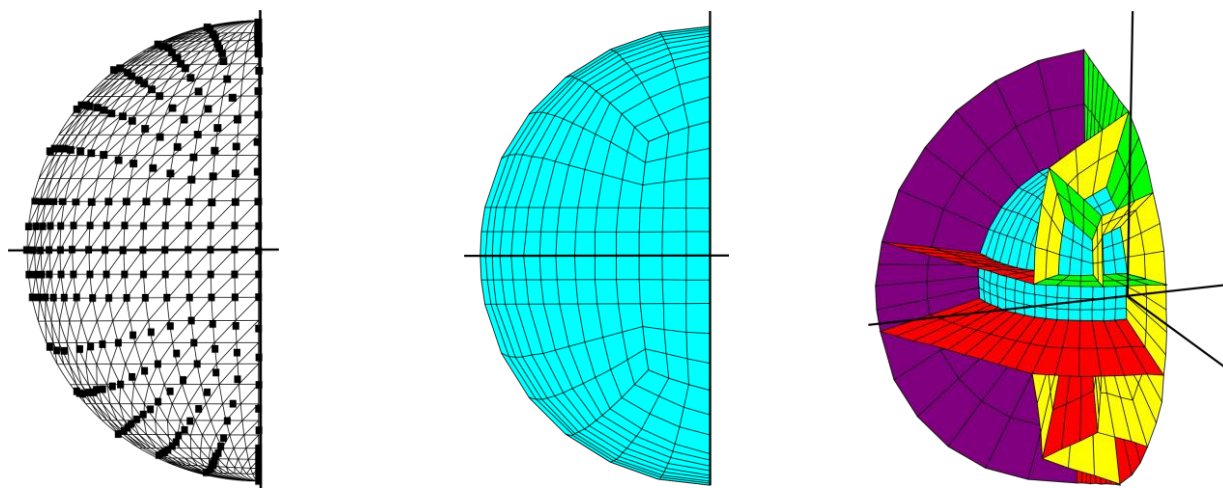
задач математической физики (например, для некоторых задач высокоскоростной аэродинамики) важно сохранение структурированности и гексаэдральной формы ячеек во всей области [7-9], возможность применения сетки для конечно-разностных методов [8-10], геометрическая и динамическая адаптация сетки во всей области [11]. Поэтому продолжается поиск алгоритмов генерации прямоугольных и гексаэдральных сеток [12-13].

Программный комплекс SIGMA применяется для моделирования широкого класса задач механики сплошных сред [14-15]. Он разрабатывается на кафедре «Вычислительная математика и математическая физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Программный комплекс включает в себя полный набор модулей, которые требуются для проведения численных расчётов, и успешно применяется для решения различных задач механики сплошных сред уже более десяти лет. Препроцессор SIGMA состоит из модуля трёхмерного геометрического моделирования, позволяющего генерировать достаточно широкий диапазон трёхмерных геометрических областей; модуля задания свойств, параметров и начальных данных и модуля генерации адаптивной сетки. Рассмотрим методы и алгоритмы, которые лежат в основе модулей препроцессора.

II. ПОСТРОЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ РАСЧЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Для работы алгоритма генерации блочно-структурированной адаптивной сетки требуется получить представление геометрии расчётной области в параметрическом виде. Оно строится с помощью методов сплайновой интерполяции на основе создаваемой регулярной сетки контрольных точек на граничных поверхностях области.

Модуль препроцессора SIGMA имеет графический интерфейс, позволяющий визуально создавать расчётную область. Расчётная область строится из набора исходных блоков (примитивов), путём их составления и последующего деформирования. Деформация выполняется с помощью изменения координат опорных точек примитивов путём их ввода или считывания из файла.



а) STL геометрия и сетка опорных точек

б) поверхностный сплайн

в) криволинейные блоки

Рис. 1. Импорт геометрии и построение расчетной области

Существует возможность загрузки геометрических данных расчетной области из программ твердотельного моделирования. В этом случае используется один из универсальных форматов хранения геометрической информации – формат STL. Для построения регулярной сетки опорных точек на импортированной поверхности реализованы функции генерации точек в заданных сечениях геометрии и вдоль линий между двумя заданными на триангулированной поверхности точками (рис. 1). На основании данных о нормалях в ячейках генерируются криволинейные блоки заданной толщины. На рис. 1 показан вид импортируемой геометрии из файла STL, построенная регулярная сетка опорных точек, полученный поверхностный кубический сплайн и криволинейные блоки.

III. ГЕНЕРАЦИЯ АДАПТИВНОЙ СЕТКИ

A. Задание адаптивных координат

Для генерации адаптивной сетки вводится трехмерная неортогональная система координат X^i , $i=1,2,3$. В этой системе координат границы каждого криволинейного блока являются координатными поверхностями. В общем случае каждый блок имеет 6 граничных поверхностей. Для перехода к координатам X^i используется алгебраическое преобразование, которое относится к лагранжевым координатным преобразованиям методов трансфинитной интерполяции [1-3, 16]. Данный метод позволяет аналитически находить якобиеву матрицу преобразования, касательные и нормальные векторы в граничных точках.

Для областей сложной формы невозможно построить адаптивную сетку приемлемого качества с помощью только одного криволинейного блока. Поэтому используется метод поблочной генерации сетки. Границы блоков должны непрерывно состыковаться друг с другом и иметь согласованные параметризации.

B. Управление распределением плотности узлов

Для управления распределением плотности узлов вблизи границ вводится предварительное преобразование исходной равномерной сетки в неравномерную, сгущающуюся по заданному закону в адаптивных координатах. Для этого используются растягивающие функции [1], являющиеся решениями уравнений с малым параметром при старших производных. Для настройки степени сгущения, кроме использования стандартных параметров этих функций, возможно явно указать размеры области, где требуется получить повышенную концентрацию узлов (например, толщину пограничного слоя). В последнем случае параметры растягивающих функций определяются с помощью решения уравнений для указанных значений.

C. Генерация блочно-структурированной квазинепрерывной сетки

Для некоторых областей невозможно обеспечить непрерывность адаптивных координатных линий, поэтому приходится дополнительно выделять внутренние разрывы. На этих внутренних границах узлы сетки генерируются дважды. Параметры каждого из этих узлов соответствуют параметрам той адаптивной системы координат, в которой он был сгенерирован. Декартовы координаты задвоенных узлов одинаковы. Каждый узел имеет ссылку на своего «двойника». В программе реализованы несколько различных классов топологий геометрий для которых можно выделять внутренние разрывы (рис. 2). Среди задвоенных узлов отдельно выделяются угловые, значения адаптивных координат которых принимают экстремальные значения (рис. 2, а и б). Также отдельно выделяются узлы, в которых адаптивные координатные линии замыкаются (рис. 2, в).

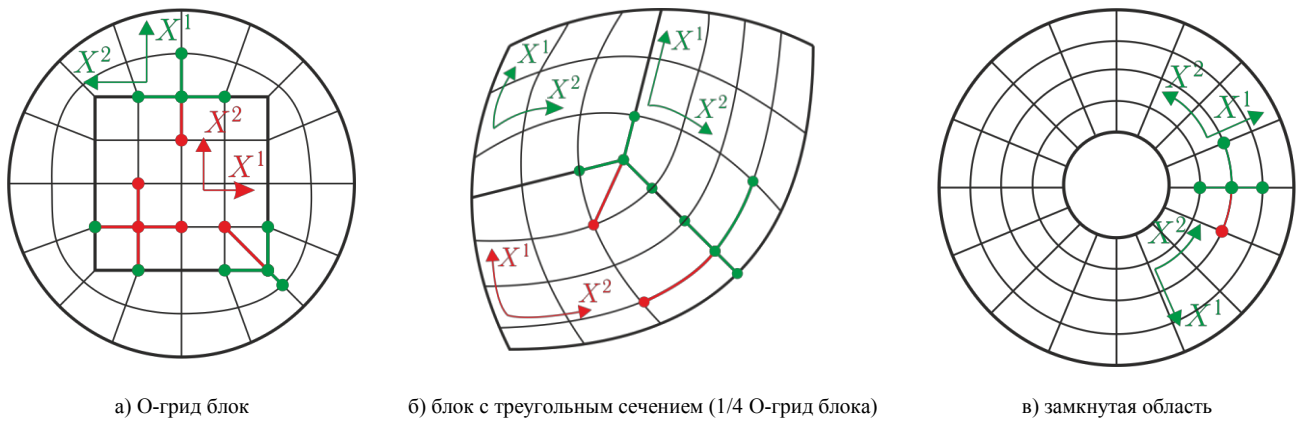


Рис. 2. Различные классы топологий областей с наличием внутренних разрывов. Показано поперечное сечение вдоль адаптивной координаты X^3

Пусть координатные линии X^1 и X^2 двух различных адаптивных систем координат перпендикулярны одному из внутренних разрывов (рис. 2).

Если аппроксимация производной функции в неособенном узле j осуществляется по формуле центральных разностей:

$$\frac{\partial f}{\partial X^1} \approx \frac{f_{j_R} - f_{j_L}}{X^1_{j_R} - X^1_{j_L}}, \quad (1)$$

то производная в узле j , лежащем на внутреннем разрыве, может аппроксимироваться следующим образом:

$$\frac{\partial f}{\partial X^1} \approx \frac{f_{j_R} - f_j}{X^1_{j_R} - X^1_j} + \frac{f_j - f_{j_D}}{X^2_j - X^2_{j_D}}, \quad (2)$$

где j_R и j_L – соседи узла j в направлении X^1 , j_D – сосед в направлении X^2 узла j , являющегося «двойником» узла j .

Результаты расчётов записываются только в один из двух узлов. Второй узел является вспомогательным и его параметры используются только для записи разностных аппроксимаций и поиска необходимых соседей.

D. Генерация тетраэдральных элементов

Полученная блочно-структурированная гексаэдральная сетка может быть преобразована в тетраэдральную для применения некоторых методов конечных объёмов или конечных элементов. Существует 2 способа разбиения гексаэдра на 5 тетраэдров и 46 – на 6 тетраэдров. Следовательно, разбиение на тетраэдры увеличивает количество элементов сетки в 5-6 раз. Используемые алгоритмы такого разбиения подобны алгоритмам, описанным в работах [17-18]. Получающиеся сетки сохраняют адаптацию сеточных линий к границам области и позволяют получать решения лучшего качества чем на сетках, получаемых с помощью обычных конечно-элементных сеточных генераторов [4-6].

E. Генерация централизованных контрольных объёмов

Сетки с элементами, центрированными относительно узлов, (vertex-centered volumes [19]) используются в некоторых методах контрольных объёмов для расчета потоков через границы этих элементов между соответствующими значениями в узлах. На рис. 3, а существующая сетка обозначена синими линиями, а централизованные контрольные объёмы – красными. Новые элементы строятся на основе уже созданной адаптивной сетки путём нахождения середин элементов. Несмотря на то, что выбор контрольного объёма, централизованного относительно узла сетки, требует примерно в 6 раз большего объёма памяти по сравнению со случаем, когда контрольный объём совпадает с ячейкой исходной сетки, он позволяет получить более точные результаты в пограничном слое за счёт более мелкого шага сетки в пристеночной области. Вблизи стенки используется половинный контрольный объём [19].

Координаты срединной точки O (рис. 3, б) грани ABCD построенного централизованного контрольного объёма рассчитываются по формуле:

$$\mathbf{r}_O = \frac{1}{4}(\mathbf{r}_A + \mathbf{r}_B + \mathbf{r}_C + \mathbf{r}_D). \quad (3)$$

Нормаль грани в точке O рассчитывается через векторное произведение отрезков K, M и L, N , соединяющих середины противоположных ребер грани:

$$\mathbf{n}_O = \frac{\mathbf{KM} \times \mathbf{LN}}{|\mathbf{KM} \times \mathbf{LN}|}. \quad (4)$$

Площадь грани равна:

$$S = |\mathbf{KM} \times \mathbf{LN}|. \quad (5)$$

Объём элемента V рассчитывается с помощью формулы Остроградского-Гаусса:

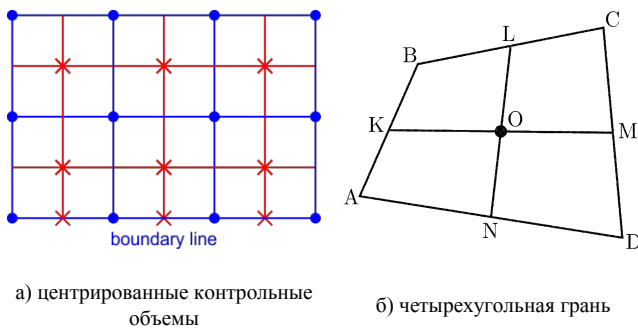


Рис. 3. Генерация центрированных контрольных объемов

$$\int_V \nabla \cdot \mathbf{a} dV = \sum_{k=1}^6 \int_{S_k} \mathbf{a} \cdot \mathbf{n} dS_k. \quad (6)$$

Вектор \mathbf{a} выбирается равным радиус-вектору $\mathbf{a} = \mathbf{r} = \{x, y, z\}$. Используя формулу прямоугольников для приближенного вычисления интегралов, получаем:

$$3V = \nabla \cdot \mathbf{a} V \approx \int_V \nabla \cdot \mathbf{a} dV = \sum_{k=1}^6 \int_{S_k} \mathbf{a} \cdot \mathbf{n} dS_k \approx \sum_{k=1}^6 \sum_{i=1}^3 r_{Oik} n_{Oik} S_k. \quad (7)$$

Окончательно получаем:

$$V = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^6 \sum_{i=1}^3 r_{Oik} n_{Oik} S_k. \quad (8)$$

F. Генерация фиктивных узлов и элементов

Фиктивные узлы и элементы могут использоваться для численной реализации граничных условий. Исходными данными для генерации фиктивного узла j_G служит граничный узел j_B , его внутренний сосед j_I и граничный элемент, для которого узлы j_B и j_I являются вершинами. Расчёт радиус-вектора фиктивного узла \mathbf{r}_{j_G} для неортогональной адаптивной сетки производится на основе следующих формул (рис. 4):

$$\begin{aligned} \mathbf{s} &= \mathbf{r}_{j_B} - \mathbf{r}_{j_I}, \\ c &= \mathbf{s} \cdot \mathbf{n}, \\ \mathbf{r}_{j_G} &= \mathbf{r}_{j_I} + 2c\mathbf{n}, \end{aligned} \quad (9)$$

где \mathbf{n} – внешняя единичная нормаль в граничном узле j_B .

В случае генерации фиктивных узлов и элементов для тетраэдральной сетки, параметр c совпадает с одной из высот тетраэдрального граничного элемента $h = 3V/S$, где V – объем элемента, а S – площадь грани, лежащей на границе.

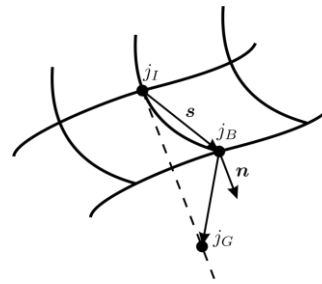


Рис. 4. Расчёт положения фиктивного узла j_G

Другие параметры фиктивных узлов и элементов полагаются равными соседними с ними граничными узлами и элементами. Шаг вдоль адаптивной координаты между узлами j_G и j_B также полагается равным соответствующему шагу между узлом j_B и его внутренним соседом j_I .

IV. ИНТЕРФЕЙС ПРЕПРОЦЕССОРА SIGMA

С помощью описанных алгоритмов был разработан препроцессор SIGMA, позволяющий генерировать двумерные и трехмерные адаптивные сетки. Препроцессор написан на языке C++ с использованием библиотек STL, Boost, OpenGL и OpenMP. Препроцессор состоит из двух частей – редактора геометрии и генератора сетки.

Редактор геометрии имеет графический интерфейс, позволяющий визуально создавать расчетные области, выделять границы и подобласти для последующего задания на них граничных и начальных условий, подготавливать данные для генерации сетки.

При создании каждого примитива препроцессор запрашивает его тип, габариты в адаптивной и физической системах координат, а также количество опорных точек для каждого координатного направления. В соответствии с введенными значениями происходит расчет адаптивных и физических координат генерируемых опорных точек. Впоследствии имеется возможность редактирования этих координат, а также габаритов примитива. Поддерживается возможность добавления или удаления примитивов, масштабирования области, перемещения области по экрану, а также вращения области в трехмерном пространстве. Введенную геометрию области можно сохранять и загружать из файла.

Перед вводом геометрии области в программу, удобно заранее подготовить таблицы геометрических объектов и их атрибутов. Первая таблица содержит значения координат опорных точек геометрии расчетной области. Вторая таблица содержит список примитивов, из которых будет состоять область, их габаритов и количество опорных точек, приходящихся на каждый примитив. Количество примитивов определяется, главным образом, количеством разрывов или изломов границ расчетной области, а также различными физическими данными внутри области или на ее границе. Третья таблица содержит габариты областей, в которых плотность узлов сетки должна отличаться от равномерной (например, это могут быть области, где требуется сгущение узлов сетки).

Генератор сетки представляет собой кроссплатформенное консольное приложение. Загрузка подготовленных данных о геометрии расчетной области и о параметрах генерируемой сетки осуществляется с

помощью технологии сериализации классов библиотеки Boost в файлы формата XML.

В качестве параметров генерации сетки можно задавать область генерации сетки, общее количество разбиений и количества разбиений в определенных подобластях адаптивной системы координат, форматы и рассчитываемые данные генерируемой сетки. Для построенной трехмерной области можно сгенерировать двумерную сетку в заданном сечении адаптивной системы координат.

V. ПРИМЕРЫ ГЕНЕРАЦИИ СЕТОК

На рис. 5-6 представлены некоторые результаты генерации трехмерных адаптивных сеток. Для удобства

просмотра показаны достаточно грубые сетки.

На рис. 5 показаны различные типы сеток для области внешнего обтекания полусферы. Для генерации блочно-структурированной гексаэдральной адаптивной сетки методом, описанным в разделе II были построены 9 криволинейных блоков (рис. 1, в). Рис. 5, б и в демонстрируют возможность преобразования сгенерированной блочно-структурированной гексаэдральной адаптивной сетки (рис. 5, а) в конечно-элементную сетку или сетку с центрированными контрольными объемами.

Большинство гексаэдральных ячеек разделяется на 5 тетраэдральных элементов. В некоторых исключительных случаях, когда разбиением на 5 тетраэдров не удаётся

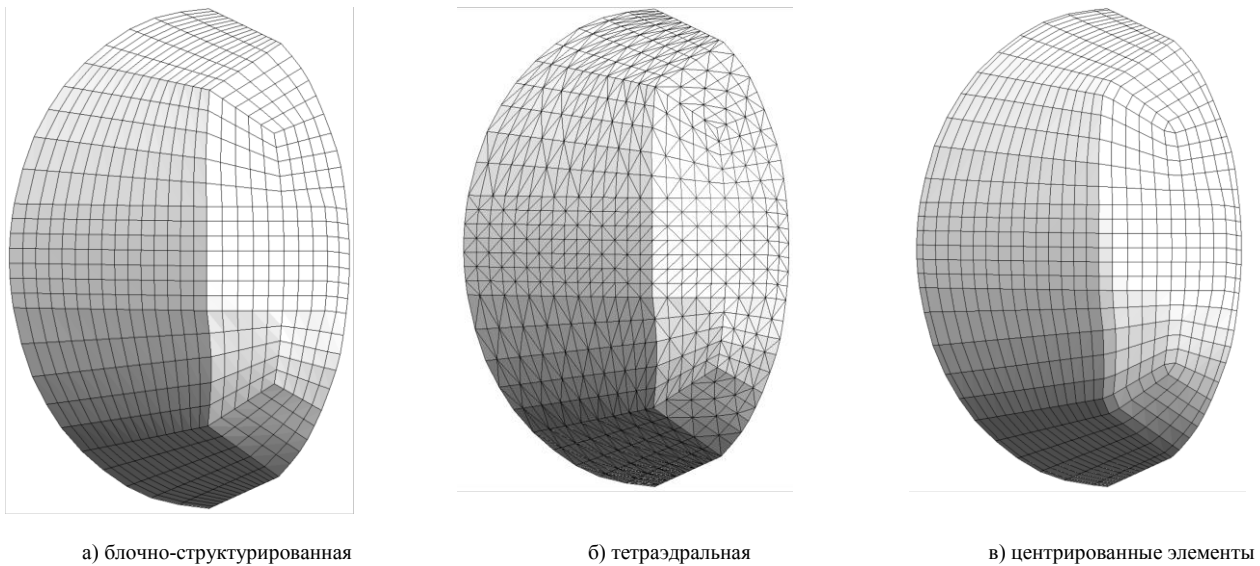


Рис. 5. Различные типы сеток для области внешнего обтекания полусферы

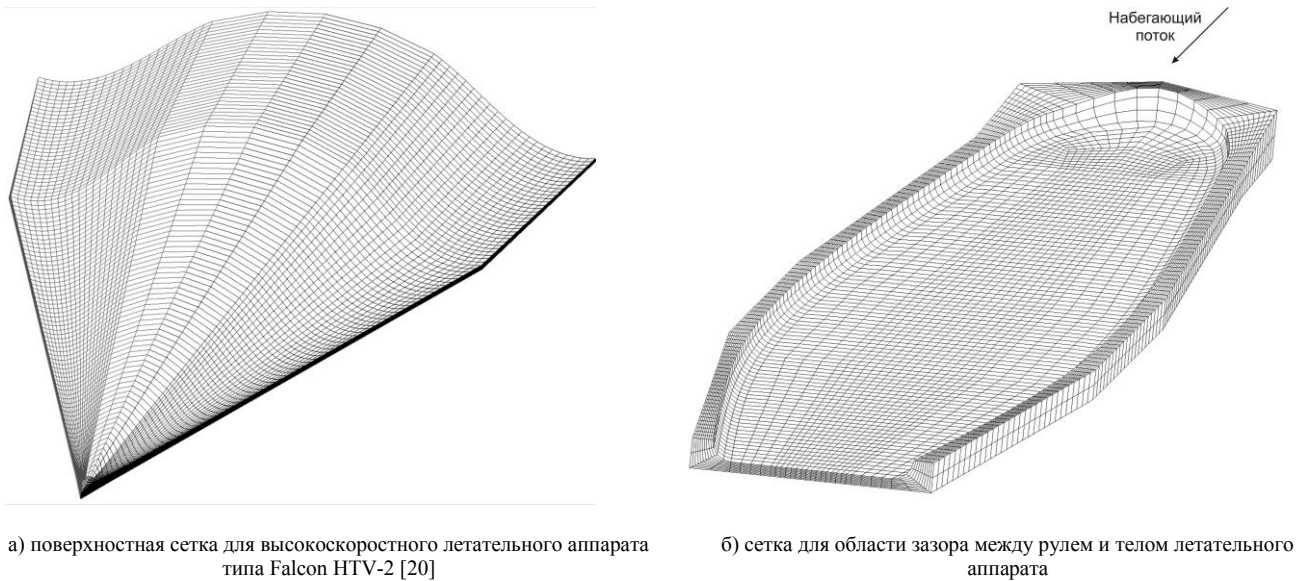


Рис. 6. Примеры генерации блочно-структурированных адаптивных сеток

состыковать соседние элементы, применяется разбиение на 6 тетраэдров. Существенным отличием полученных конечно-элементных сеток является согласованность сеточных линий с движением потока во всей расчетной области по сравнению с сетками, у которых все ребра элементов ориентированы произвольным образом. Это позволяет более качественно выделять различные особенности течения, такие как ударные волны, контактные разрывы и волны разрежения. На рис. 6, в показан вид центрированных контрольных объемов. Они построены вокруг узлов начальной гексаэдральной сетки. Видно, что в угловых узлах O-грид блока гексаэдральные элементы вырождаются в треугольные призмы. Однако расчет на таких элементах не является существенной проблемой для методов контрольных объемов. Также видно, что элементы вблизи границ имеют меньший размер по сравнению с остальными.

На рис. 6 показаны блочно-структурированные адаптивные сетки для реальных сложных криволинейных расчетных областей: сетка на поверхности высокоскоростного летательного аппарата типа Falcon НТВ 2 [20] и для области зазора между рулем и корпусом летательного аппарата. Область зазора имеет локальное расширение вблизи входа потока для захвата скачка уплотнения. В данных областях сетка должна быть достаточно мелкой для хорошего разрешения полей температуры и теплового потока.

Существенной особенностью предложенного способа построения сеток для сложных криволинейных областей является возможность их применения в том числе и для конечно-разностных методов.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведено описание информационных технологий для генерации блочно-структурированных адаптивных сеток. Рассматриваются способы автоматизированного компьютерного построения геометрий расчётных областей сложной формы, алгоритмы работы с блочно-структурированными квазинепрерывными сетками для некоторых типов областей; алгоритмы генерации тетраэдральных сеток и сеток с элементами, центрированными относительно узлов исходных сеток; алгоритмы генерации фиктивных узлов и ячеек. Генерируемые сетки могут быть двухмерными, двухмерными осесимметричными (в цилиндрических координатах) или трёхмерными. Разработанные технологии были реализованы в препроцессоре SIGMA, который состоит из модуля трёхмерного геометрического моделирования и модуля генерации адаптивной сетки.

Основными преимуществами предложенной методики генерации адаптивной сетки являются: 1) структурированность ячеек сетки и гексаэдральность их формы, которые сохраняются во всей сложной криволинейной расчетной области; 2) возможность применения сгенерированных сеток для конечно-разностных методов; 3) согласованность сеточных линий с движением потока во всей расчетной области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] В.Д. Лисейкин, Ю.И. Шокин, И.А. Васева, Ю.В. Лиханова, Технология построения разностных сеток. Новосибирск: Наука, 2009.
- [2] R. Shneiders, "Refining Quadrilateral and Hexahedral Element Meshes," Proceedings of 5th International Conference on Numerical Field Simulations, pp. 699-708, 1996.
- [3] M. Farrashkhalvat, J.P. Miles, Basic Structured Grid Generation. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2003.
- [4] C. Geuzaine, J.-F. Remacle, "Gmsh: a three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities," International Journal for Numerical Methods in Engineering, vol. 79, no. 11, 2009, pp. 1309-1331.
- [5] H. Si, "TetGen, a Delaunay-Based Quality Tetrahedral Mesh Generator," ACM Trans. on Mathematical Software, vol. 41, no. 2, Article no. 11, February 2015.
- [6] S.V. Reznik, K.V. Mikhailovskiy, P.V. Prosuntsov, "Modeling the heat and mass transfer in the pores of the thermal protection carbon-carbon frame during the gas-phase deposition of silicon carbide," MATEC Web Conf., vol. 92, Article no. 01075, 2017.
- [7] V.V. Kulik, A.N. Parkin, E.S. Navasardyan, "Numerical modeling procedure for micromachined cryogenic cooler elements using ANSYS Fluent software and viscous flow in a small-diameter channel with heat transfer as an example," Chem. Petrol. Eng., vol. 52, no. 7-8, pp. 531-538, November 2016.
- [8] I.K. Marchevskii, V.V. Puzikova, "Numerical simulation of the flow around two circular airfoils positioned across the stream using the LS-STAG method," J. Mach. Manuf. Reliab., vol. 46, no. 2, 2017, pp. 114-119.
- [9] V.V. Shumaev, V.V. Kuzenov, "Development of the numerical model for evaluating the temperature field and thermal stresses in structural elements of aircrafts," J. Phys.: Conf. Series, vol. 891, no. 1, Article no. 012311, 2017.
- [10] V.V. Kuzenov, A.O. Dobrynina, V V Shumaev, "Calculating processes of laminar and turbulent heat transfer around the elements of the aircraft," J. Phys.: Conf. Series, vol. 980, no. 1, Article no. 012023, 2018.
- [11] В.В. Кузенов, С.В. Рыжиков, "Радиационно-гидродинамическое моделирование контактной границы плазменной мишени, находящейся во внешнем магнитном поле," Прикладная физика, № 3, 2014, С. 26-30.
- [12] R. Schneiders, "A Grid-based Algorithm for the Generation of Hexahedral Element Meshes," Engineering with Computers, vol. 12, 1996, pp. 168-177.
- [13] J.F. Thompson, B.K. Soni, N.P. Weatherill, Handbook of grid generation, CRC Press, Boca Raton, 1999.
- [14] Ю.И. Димитриенко, А.А. Захаров, "Автоматизированная система для моделирования газовых потоков методом ленточных адаптивных сеток," Информационные технологии, № 6, 2009, С. 12-16.
- [15] Ю.И. Димитриенко, А.А. Захаров, М.Н. Коряков, "Разработка программного обеспечения для численного моделирования в задачах гиперзвуковой аэрогазодинамики перспективных летательных аппаратов," Программные системы: теория и приложения: электрон. научн. журн., т. 3, № 4(13), С. 17-26, 2012.
- [16] P.R. Eiseman, "Control Point Grid Generation," Computers Math. Applic, vol. 24, no. 5/6, pp. 57-67, 1992.
- [17] G. Albertelli, R.A. Crawfis, "Efficient subdivision of finite-element datasets into consistent tetrahedra," in IEEE Visualization, November 1997, R. Yagel, H. Hagen, Eds. Phoenix, AZ, pp. 213-220.
- [18] J. Dompierre, P. Labbé, M.G. Vallet, R. Camarero, "How to Subdivide Pyramids, Prisms and Hexahedra into Tetrahedra," in 8th International Meshing Roundtable. Lake Tahoe, California, 10-13 October 1999.
- [19] К.Н. Волков, В.Н. Емельянов, Течения и теплообмен в каналах и вращающихся полостях. М.: Физматлит, 2010.
- [20] <http://flagman.top/ru/about-war/lockheeds-marilyn-hypersonic-weapons/>

Информационные основы обучения моделированию на примере асинхронизированного генератора

Ерёменко В.Г, Нгуен Хыу Нам, Жирнова Н.Б.:

каф. ЭКАО и ЭТ

НИУ «МЭИ»

Москва, РФ

e-mail ZhironovaNB@mail.ru

Аннотация — Асинхронизированный генератор предназначен для генерирования напряжения постоянной частоты при переменной частоте вращения. Создание системы модельно-ориентированного проектирования генераторов с заданным качеством электроэнергии является актуальной задачей. Разработанная информационная база применяется в учебной и исследовательской деятельности.

Ключевые слова — моделирование; асинхронизированный синхронный генератор; автономные электротехнические комплексы; преобразователь частоты; частота скольжения; баланс мощностей

I. ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных направлений изучения автономных электротехнических комплексов является обучение с использованием электрических машин двойного питания (МДП), например асинхронизированных синхронных генераторов (АСГ). Электроэнергетические системы — это комбинации электронных преобразователей энергии и электромеханических устройств: двигателей и генераторов. Чтобы улучшить эффективность таких систем и увеличить КПД, необходимо использовать энергетические электронные устройства и сложные системы управления, которые невозможно рассчитать аналитически с помощью традиционных методов и инструментальных средств анализа. Система является настолько нелинейной, что единственный способ её изучения — это смоделировать все нелинейности. Для быстрого моделирования энергосистем студенты могут использовать библиотеку Power System Blockset [26]. Библиотека Blockset использует среду Simulink. Можно не только быстро рисовать топологию схемы, но и проводить анализ схемы во взаимодействии с механическими, тепловыми, управляющими, и другими частями модели. Интенсификация процесса инженерной подготовки предполагает дистанционные лабораторные и исследовательские проекты с использованием математических моделей электротехнических систем и комплексов. На кафедре ЭКАО и ЭТ НИУ «МЭИ» ведутся работы по разработке интернет-лаборатории в области электротехники. Недостаточно освещены вопросы моделирования и анализа динамических режимов АСГ для различных нагрузок с применением автоматического регулирования возбуждения (АРВ).

II. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Типичная схема МДП — АСГ с параллельным питанием ротора показана на рис. 1. Статор и ротор снабжаются трехфазными напряжениями, которые принимают разную амплитуду и частоту, чтобы достичь нужных рабочих условий машины (скорость, крутящий момент и т. д.).

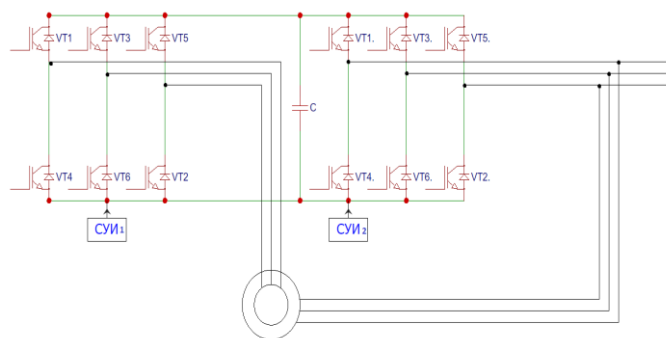


Рис. 1. Общая схема машины двойного питания — асинхронизированного синхронного генератора с параллельным питанием ротора, СИУ1,2 — системы управления инверторов 1 и 2

Области использования таких машин — это ветрогенераторы с переменной скоростью привода, малые гидроэлектростанции, дизельные привода с уменьшенной частотой вращения на холостом ходу. АСГ, питаемые от широтно-импульсных преобразователей (инверторов), постепенно заменяют двигатели постоянного тока, и обеспечивают современные методики управления, такие как управление обмоткой возбуждения или прямое управление вращающим моментом. Стало возможным получить ту же самую гибкость в быстродействии и управлении вращающего момента, как для машин постоянного тока. При помощи выпрямителя в структуре преобразователя частоты (ПЧ) переменное входное напряжение преобразуется в постоянное напряжение. Благодаря инвертору на управляемых ключах получается напряжение, необходимое для питания нагрузки или роторной обмотки. Это достигается с помощью трехфазного преобразователя частоты, обеспечивающего обмен энергией между ротором и сетью. Можно записать

баланс мощностей обмоток. При скорости выше синхронной роторная обмотка отдает активную мощность $P_p = (+s) \cdot P_c$, а при скорости ниже синхронной потребляет $P_p = (-s) \cdot P_c$. При мощности нагрузки P_n мощность статорной обмотки согласно рис. 1 будет $P_c = P_n / (1+s)$ при скорости выше синхронной или $P_c = P_n / (1-s)$ при скорости ниже синхронной.

Реактивная мощность обеспечивается инвертором, подключённым к роторной обмотке, за счёт опережающей коммутации транзисторов и работе конденсатора в цепи постоянного тока. На рис. 2 приведена схема управления АСГ стабильной частоты, работающим при переменной частоте привода, в режиме реального времени [2]. Использован высокоуровневый язык MATLAB для разработки алгоритма управления.

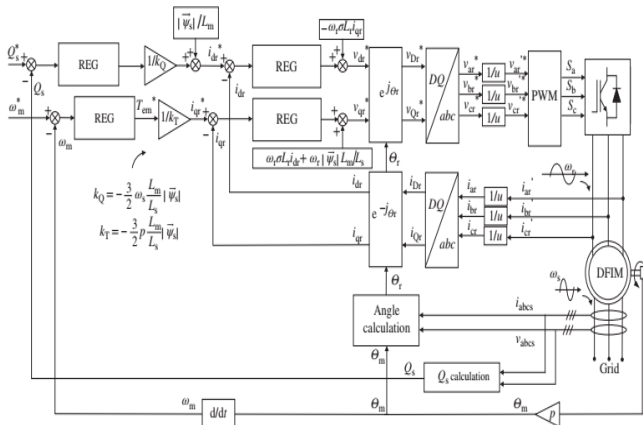


Рис. 2. Схема фазового управления асинхронизированного синхронного генератора, где REG – широтно-импульсный регулятор; θ_r – угловое положение ротора; i_{abc} – токи фаз abc; U_d – напряжение по оси d; U_q – напряжение по оси q

Реализация схем осуществляется на высокой частоте коммутации транзисторов (4-8[кГц]). На статор подается трехфазное напряжение непосредственно из сети с постоянной амплитудой и частотой [1]-[3]. Ротор также снабжается трехфазными напряжениями, которые принимают разную амплитуду и частоту, зависящими от ω_r . Уравнение, которое связывает ω_s (частота статорных напряжений и токов), ω_r (частота напряжений и токов ротора) и ω_m (электрическая скорость ротора), выглядит следующим образом: $\omega_s = \omega_r + \omega_m$; а $\omega_r = s \cdot \omega_s$, где скольжение машины s определяется так:

$$s = \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s} = \frac{\omega_r}{\omega_s} \quad (1)$$

При скорости выше синхронной $U_n = U_c + U_p = U_c + s \cdot U_c = (1+s) \cdot U_c$, соответственно $U_c = U_n / (1+s)$, где U_n – напряжение нагрузки, $U_c(p)$ – напряжение статора (ротора). При скорости ниже синхронной $U_n = U_c - U_p = U_c - s \cdot U_c = (1-s) \cdot U_c$, соответственно $U_c = U_n / (1-s)$. При скорости выше синхронной

$P_n = P_c + P_p = P_c + (s \cdot P_c) = (1+s) \cdot P_c$, соответственно $P_c = P_n / (1+s)$. При скорости ниже синхронной $P_n = P_c - P_p = P_c - (s \cdot P_c) = (1-s) \cdot P_c$, соответственно $P_c = P_n / (1-s)$.

Статорные и роторные обмотки можно соединить последовательно. В результате исследовательской работы аспиранта получен патент на полезную модель [4]. АСГ с последовательным питанием ротора [4] изображён на рис. 3.

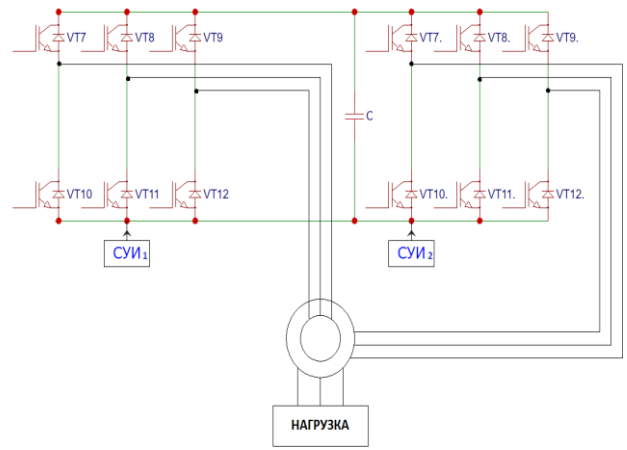


Рис. 3. Асинхронизированный синхронный генератор с последовательным питанием ротора

Из данного описания следует, что при работе выше синхронной скорости напряжение статорной обмотки при последовательном соединении уменьшается за счёт вольтодобавки роторной обмотки. Это уменьшает требуемую реактивную мощность возбуждения. Для сглаживания пульсаций тока и напряжения последовательно в силовые цепи на выходе инвертора включены в каждую фазу сглаживающие дроссели.

Связь между мощностью статора (N_s) и мощностью ротора (N_r) показана через коэффициент u :

$$u = \frac{N_s}{N_r} \quad (2)$$

Некоторые конструктивные изменения могут влиять на этот коэффициент, в то время как индуцированная ЭДС статора (E_s) и ротора (E_{rs}) связаны уравнением

$$\underline{E}'_{rs} = s \frac{E_s}{u} \quad (3)$$

Электрические уравнения эквивалентной стационарной схемы, включая потоки статора и ротора, суммируются следующим образом:

напряжения:

$$\underline{V}_s = R_s \underline{I}_s + j\omega_s L_{\sigma s} \underline{I}_s + j\omega_s L_m (\underline{I}_s + \underline{I}_r) \quad (4)$$

$$\frac{\underline{V}_r}{s} = \frac{R_r}{s} \underline{I}_r + j\omega_s L_{\sigma r} \underline{I}_r + j\omega_s L_m (\underline{I}_s + \underline{I}_r), \quad (5)$$

поток:

$$\underline{\Psi}_s = L_m(\underline{I}_s + \underline{I}_r) + L_{\sigma s} \underline{I}_s = L_s \underline{I}_s + L_m \underline{I}_r \quad (6)$$

$$\underline{\Psi}_r = L_m(\underline{I}_s + \underline{I}_r) + L_{\sigma r} \underline{I}_r = L_m \underline{I}_s + L_r \underline{I}_r, \quad (7)$$

где: $V_{s(r)}$ — напряжение статора (ротора), $I_{s(r)}$ — ток статора (ротора), $R_{s(r)}$ — сопротивление статора (ротора), $L_{\sigma s(r)}$ — индуктивность статора (ротора), L_m — взаимная индуктивность, $\Psi_{s(r)}$ — потокосцепление статора (ротора), $L_s = L_m + L_{\sigma s}$ является индуктивностью статора и $L_r = L_m + L_{\sigma r}$ является индуктивностью ротора.

Подставляя уравнения напряжения статора и напряжения ротора (4) - (5) в силовые выражения, можно получить выражения мощности, показывающие их зависимость от параметров, токов и скольжения машины:

$$P_s = 3 R_s |\underline{I}_s|^2 + 3 \omega_s L_m \operatorname{Im} \{ \underline{I}_s \underline{I}_r^* \}$$

$$P_r = 3 R_r |\underline{I}_r|^2 - 3 s \omega_s L_m \operatorname{Im} \{ \underline{I}_s \underline{I}_r^* \}, \quad (8)$$

$$Q_s = 3 \omega_s L_s |\underline{I}_s|^2 + 3 \omega_s L_m \operatorname{Re} \{ \underline{I}_r \underline{I}_s^* \}$$

$$Q_r = 3 s \omega_s L_r |\underline{I}_r|^2 + 3 s \omega_s L_m \operatorname{Re} \{ \underline{I}_s \underline{I}_r^* \}. \quad (9)$$

Вектор состояния АСГ состоит из потоков статора и ротора, где σ — коэффициент рассеяния:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \underline{\Psi}_s \\ \underline{\Psi}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_s}{\sigma L_s} & \frac{R_s L_m}{\sigma L_s L_r} \\ \frac{R_r L_m}{\sigma L_s L_r} & -\frac{R_r}{\sigma L_r} + j \omega_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{\Psi}_s \\ \underline{\Psi}_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \underline{r}_s \\ \underline{r}_r \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Добавляя уравнение механического движения, описывающее поведение ротора:

$$T_{em} - T_{load} = J \frac{d\Omega_m}{dt} \quad (11)$$

с инерцией ротора J , угловым положением ротора Ω_m и крутящим моментом T_{load} , приложенным к валу, мы составим модель МДП, которая также может использоваться для компьютерного моделирования.

В эквивалентном способе классических методов векторного управления [3]-[5] векторное управление МДП выполняется в синхронно вращающихся dq -координатах, в которых ось d совмещена с вектором сети (рис. 4.).

При выборе равных пропорционально-интегральных (ПИ) регуляторов для обеих петель, используя компенсацию перекрестных терминов и пренебрегая влиянием преобразователя источника напряжения и возможными задержками в вычислении или измерениях, эквивалентный замкнутый контур системы обоих токовых

петель равен системе второго порядка с двумя полюсами и нулем, которая может быть установлена классической теорией управления путем выбора соответствующих коэффициентов усиления ПИ регуляторов.

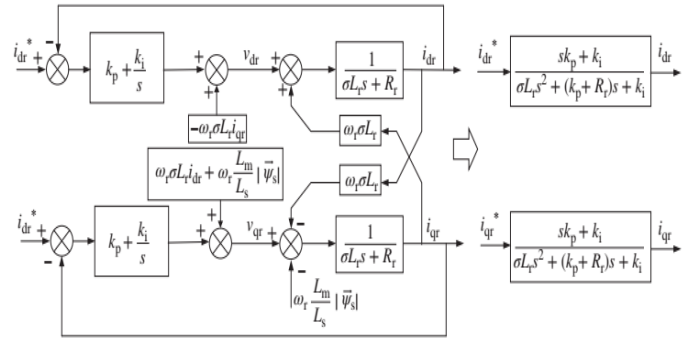


Рис. 4. Эквивалентная система регулирования тока с замкнутым контуром с пропорционально-интегральными регуляторами, $k_{p(i)}$ — коэффициенты приведения, $i_{d(q)}$ — ток по оси d (q)

Трёхфазную систему можно моделировать как три независимые системы. Эквивалентные однофазные системы показаны на рис. 5. Напряжения, создаваемые силовым электронным преобразователем, заменены источниками переменного напряжения. Эти выходные напряжения переменного тока преобразователя, относящиеся к нейтральной точке n , а также выходной ток преобразователя, обозначаются субиндексом f .

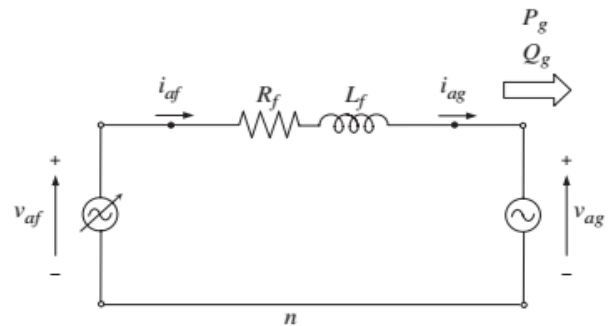


Рис. 5. Упрощенная модель однофазной системы с фильтром L

Напряжение U_{af} и ток i_{af} на рис. 5. смещены на угол относительно друг друга. Присутствуют реактивная и активная мощности. Напряжение U_{ag} и ток i_{ag} на рис. 5. не смещены ($\cos \varphi = 1$), подключены к сети и обеспечивают чистую активную мощность. Это показывает возможность АСГ генерировать чистую активную мощность. Для управления АСГ используется только однофазная система управления в осях dq . Напряжения фаз abc преобразуются в dq напряжения по их собственному расчетному углу. Это преобразование обычно используется в электрических моделях трёхфазных машин, и известно как Park-преобразование. Оно позволяет устранить зависимость

индуктивности от времени с помощью приведения статорных и роторных координат к фиксированной или вращающейся системе координат. Статорные координаты приводятся к ротору. Токи I_d и I_q представляют собой два постоянных тока, протекающих в двух эквивалентных обмотках ротора (d -обмотка находится непосредственно на той же самой оси, что и обмотка поля, а q -обмотка находится на перпендикулярной оси), которые будут создавать тот же самый поток, что и токи статора I_a , I_b и I_c . После этого вычисленная q -составляющая напряжения проходит через ПИ регулятор, изменяя расчетную угловую скорость до тех пор, пока q -составляющая не будет равна нулю, а это означает, что процесс синхронизации был стабилизирован. Эта система должна постоянно работать, так как угол не является постоянной величиной, а изменяется в соответствии с угловой скоростью сетевого напряжения. Асинхронизированный генератор выгодно использовать при скорости выше синхронной, когда обе обмотки ротора и статора работают в генераторном режиме. Асинхронизированный генератор обеспечивает стабильную частоту как при скорости выше, так и ниже синхронной. Источником реактивной мощности является обмотка ротора, намагничивающая машину [5]-[19], [21].

Расширена методика автоматизированного проектирования электромеханических систем [20] за счёт

включения модели АСГ. Модель АСГ представлена на рис. 6., а результаты моделирования — на рис. 7. и 8.

На рис. 6. приведена имитационная модель АСГ, реализованная в среде MATLAB. Исследование АСГ показало значительный фазовый сдвиг напряжения статора АСГ относительно фазы управляющего напряжения, достигающий приблизительно 180° , при изменении скорости привода от максимума до минимума. Объясняется это изменением направления вращения поля ротора при проходе через синхронную скорость. Собранный информационная база по АСГ используется в учебных программах бакалавриата и магистратуры [22]-[25]. В своих работах студенты показывают примеры моделирования АСГ в системе MATLAB с использованием стандартных библиотек силовой электроники Power Electronics и т.д., что может рожать нестандартные технические решения, интересные для патентования. С помощью комбинации программных средств студенты могут самостоятельно создавать и исследовать большее количество вариантов автономных электроэнергетических и электротехнических комплексов.

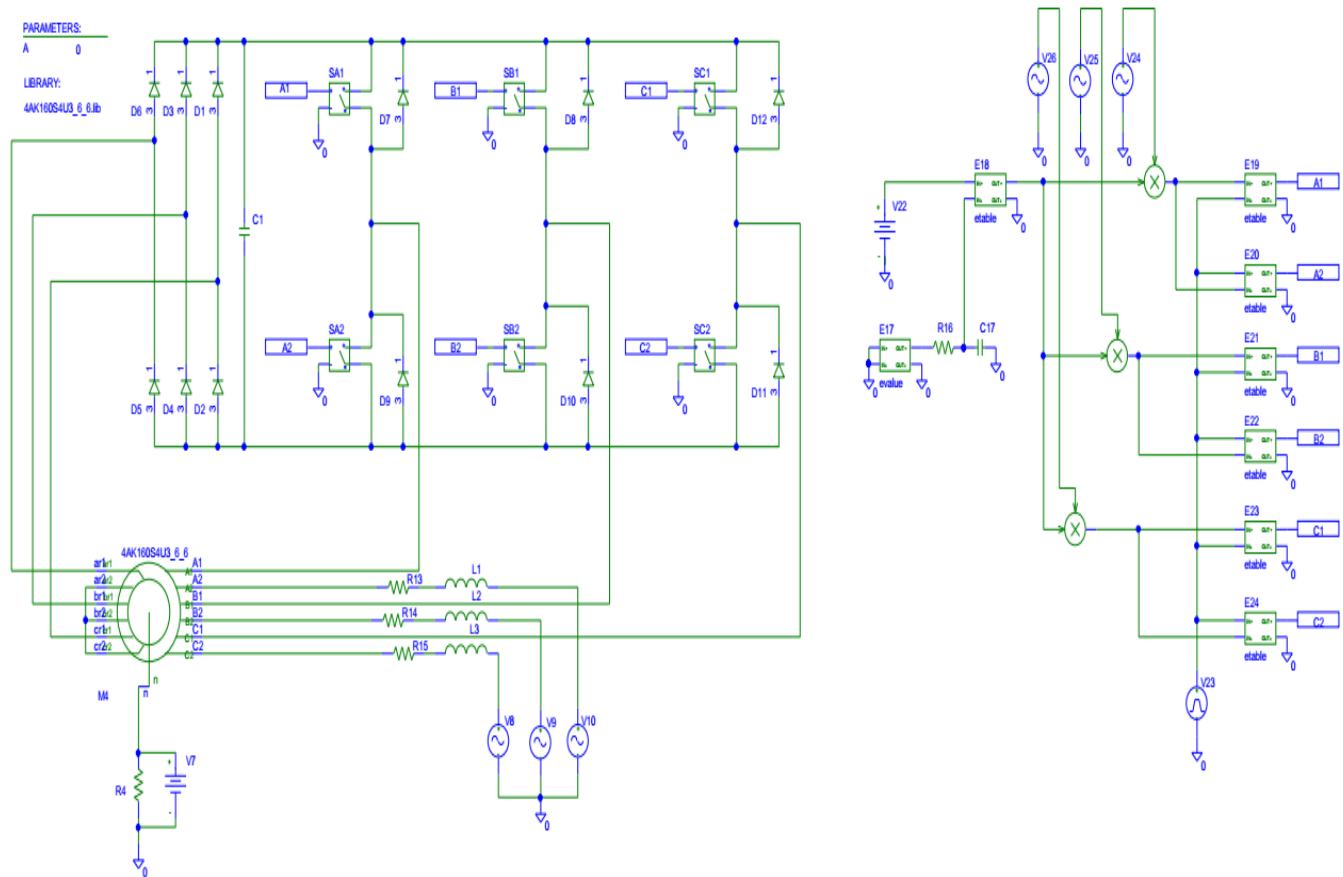


Рис. 6. Схема модели АСГ

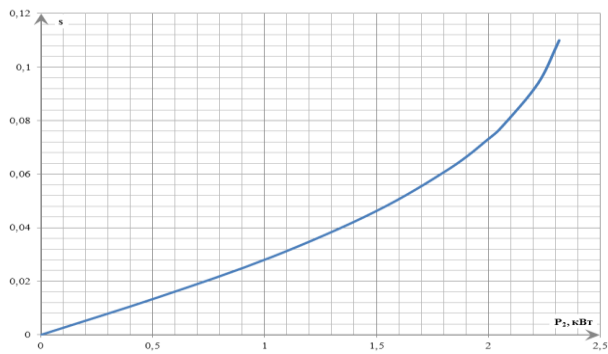


Рис. 7. Зависимость скольжения от полезной мощности

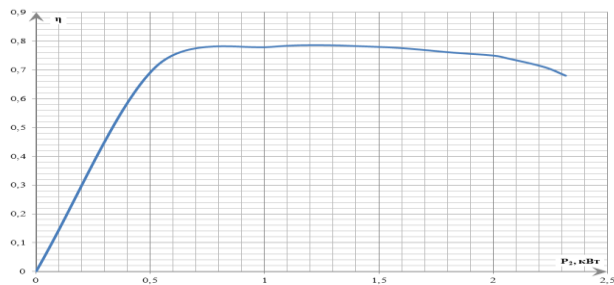


Рис. 8. Зависимость КПД от полезной мощности

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для быстрого моделирования энергосистем студенты использовали библиотеку Power System Blockset [26]. Библиотека Blockset использует среду Simulink. Студенты не только быстро получали топологию схемы, но и проводили анализ схемы во взаимодействии с механическими, тепловыми, управляющими, и другими частями модели. Электрические части модели взаимодействовали с обширной библиотекой моделирования Simulink, и для расчётов использовался пакет MATLAB. В [26] показаны возможности библиотеки Blockset для моделирования типичных электрических энергосистем. АСГ может использоваться или в генераторном, или в двигательном режимах. АСГ объединен с устройствами силовой электроники, чтобы моделировать приводы. Перспективно дальнейшее развитие систем моделирования для новых областей автономной электроэнергетики: нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, аварийных и резервных систем электроснабжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

[1] Felix A. Farret, M. Godoy Simões. Modeling and Analysis with Induction Generators. CRC Press, 2015, 468 p.
 [2] C.R. Kelber, "Aktive dämpfung der doppelt-gespeisten Drehstrommaschine," Ph.D. dissertation, Technischen Universität Carolo-Wilhelmina, 2000, (in German).
 [3] C.R. Kelber and W.Schumacher, "Active damping of flux oscillations in doubly-fed ac machines using dynamic variation of the system's structure," in Proc. Power Electronics and Applications (EPE), Graz, Austria, Aug., 27-29 2001.

[4] Патент РФ на полезную модель №151 665 U1 МПК H02P9/38 H02K19/26 Асинхронизированный синхронный генератор Ерёмко В.Г, Берилев А.В, Нгуен Хыу Нам., опубли. 10.04.2015 Бюл.№10.
 [5] Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В. Силовая электроника. М.: Издательский дом МЭИ, 2007г. – 632 с.
 [6] Беспалов В.Я., Котеленец Н.Ф. Электрические машины. М.: Издательский центр «Академия», 2006г. – 320 с.
 [7] Остривов В.Н. Проектирование электронных преобразователей для регулируемых электроприводов. М.: «Издательство МЭИ», 2013. 76 с.
 [8] Москаленко В.В. Проектирование электротехнических устройств: учебное пособие для студентов. М.: «Издательство МЭИ», 2001. 128 с.
 [9] Уильямс Б. Силовая электроника: приборы, применение, управление. М.: «Издательство Энергоатомиздат», 1993. 240 с.
 [10] Копылов И.П. Проектирование электрических машин. М.: «Издательство Юрайт», 2011. 767 с.
 [11] Ганжа, В.Л., «Основы эффективного использования энергоресурсов: теория и практика энергосбережения», Минск: Белорусская наука, 2007.
 [12] Обухов С.Г., Микрогидроэлектростанция (Микрогидроэлектростанция), Томск: Томский политехнический университет, 2009.
 [13] Торопцев Н.Д., Асинхронные генераторы для автономных систем, Москва: Знак, 1997.
 [14] Радин В.И., Брускин Д.Е., Зорохович А.Е. Электрические машины: асинхронные машины (Электрические машины: индукционные машины), Копылов И.П., ред., Москва: Высшая школа, 1988.
 [15] Встровский, А.Л., Федий, К.С., Архипцев М.Г., Спирин Э.А., Система управления индукционным генератором для возобновляемых источников энергии, Изв. Томск. Политехи. Университет, 2014, том 324, вып. 4.
 [16] Розанов Ю., Рывкин С., Чаплыгин Е., Воронин П., Основы силовой электроники, Флорида: CRC Press, 2016.
 [17] Розанов Ю.К., Рывкин С.Е., Чаплыгин Е.Е., Справочник по силовой электронике (Power Electronics, Handbook), Розанов Ю.К., ред., Москва: MPEI, 2014.
 [18] Адхикари С. и Розанов Ю.К. Неактивный компенсатор мощности: моделирование и управление, Материалы 7-й Международной Конференции по электротехнике и вычислительной технике (ICETEC), Дакка, 2012.
 [19] Горякин Д.В. и Mytsyk G.S., Трёхфазная схема мостового инвертора в режиме компенсации реактивной мощности, «Практическая силовая электроника», 2012, вып. 1.
 [20] Орлов И.Н. Маслов С.И. Системы автоматизированного проектирования электромеханических устройств: Учеб. пособие для вузов. М.: Энерго-атомиздат 1989. - 296 с.
 [21] Рывкин С.Е., Зиборов Г.Б., Ель Алами А. Современные методы управления микро-гидроэлектростанциями с асинхронным генератором Elektrotechnika, 2017, No. 8, pp. 67–73.
 [22] Мигучкин А.С. Малогабаритный асинхронизированный генератор, Магистерская диссертация, НИУ «МЭИ», 2016г.
 [23] Трудов Д.Д. Асинхронизированный синхронный генератор, Выпускная квалификационная работа бакалавра, НИУ «МЭИ», 2017г.
 [24] Щербуняев П.С. Асинхронизированный синхронный двигатель, Выпускная квалификационная работа бакалавра, НИУ «МЭИ», 2017г.
 [25] Щеглов Е.Д. Асинхронизированный синхронный генератор, Выпускная квалификационная работа бакалавра, НИУ «МЭИ», 2017г.
 [26] Power System Blockset User's Guide COPYRIGHT 1998 - 2000 by TEQSIM International Inc., a sublicense of Hydro-Quebec, and The Mathworks Inc. https://www.mathworks.com/help/releases/R13sp2/pdf_doc/phymod/physmod/powersys/powersys.pdf

Расчет надежности систем электропитания центров обработки данных

А.В. Захаров, О.Ю. Гусев, Г.Ч. Чо
ФГБОУ ВО Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва, Россия

Аннотация - Объекты информационной инфраструктуры предъявляют повышенные требования к надежности электропитания. Простой сервисов, обеспечиваемых центрами обработки данных, приводят к необратимым потерям данных, нарушению работы финансовых и промышленных предприятий и материальному ущербу. На этапе проектирования систем электропитания, при проведении технико-экономического обоснования и сопоставлении альтернативных вариантов, проводят расчеты надежности, позволяющие оценить математическое ожидание ущерба, вызванного отказами оборудования систем электропитания. Для электроустановок с несколькими источниками разных типов и разветвленной распределительной сетью расчет параметров надежности может быть весьма трудоемкой задачей. Современные программные комплексы позволяют автоматизировать подобные расчеты, учитывая как единичные отказы оборудования, так и наложения отказов на нерабочие состояния элементов, зависимые отказы, пропускную способность сети, продолжительность ручного и автоматического ввода резервного питания. Одним из таких комплексов является *NEPLAN*. В образовательном процессе, при выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ, связанных с проектированием систем электропитания, использование современных программных комплексов, повышает качество разрабатываемых решений. В докладе, на примере анализа надежности электропитания центра обработки данных, рассматривается использование *NEPLAN* при сопоставлении альтернативных вариантов электрической схемы. Рассмотренный расчет, с небольшими изменениями, может использоваться при проведении ТЭО главных схем и схем электропитания собственных нужд электроустановок, востребованных в учебном и профессиональном проектировании.

Ключевые слова — надежность, коэффициент готовности, электропитание, центр обработки данных, технико-экономическое обоснование, проектирование, электроустановка

I. ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных задач проектирования электроустановок является выбор оптимального схемного решения, удовлетворяющего критериям нормального функционирования в условиях расчетных возмущений. При проведении технико-экономического обоснования решений, учитываются как капиталовложения в электроустановку, так и ожидаемый ущерб от отключения электропитания потребителей, вызванный отказами

электротехнического оборудования. Как специалисты проектных организаций, студенты электроэнергетических специальностей занимаются такими расчетами при выполнении курсовых и квалификационных работ, связанных с разработками главных схем электрических соединений электроустановок. Весьма актуальна задача расчета надежности электропитания для объектов информационной инфраструктуры. Перерывы электропитания могут приводить к отключениям коммерческих сервисов, что приводит к ущербу от упущенной выгоды или простою технологического процесса на производстве. Для объектов информационной инфраструктуры, как правило, рассчитывают коэффициент готовности сервиса, выражаемый в ожидаемом количестве часов перерывов его предоставления в год либо в процентах. Так, сервис с коэффициентом готовности 80 % может иметь 1752 ч простоя в год, а 99 % - 87,6 ч в год. Коэффициент готовности сервиса, в первую очередь, зависит от надежности электропитания оборудования, на базе которого он реализован.

II. ТРЕБОВАНИЯ К НАДЕЖНОСТИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Типичным объектом информационной инфраструктуры являются центры обработки данных (ЦОД). Предоставление сервисов осуществляется приложениями, установленными на промышленных компьютерах центра – серверном оборудовании. Надежность функционирования ЦОД условно можно оценить по надежности трех составляющих - программного обеспечения, системы электропитания и системы кондиционирования помещений ЦОД. Существует международная классификация ЦОД разработанная и поддерживаемая организацией *Uptime Institute LLC*. Классификация позволяет сопоставлять мощность, производительность и коэффициент готовности ЦОД. В соответствии с [1] различают 4 класса топологий ЦОД: *Tier I*, *Tier II*, *Tier III*, *Tier IV*. Классы отличаются уровнем резервирования источников электроэнергии и цепей ее распределения. В первом классе, *Tier I*, преимущественно используемом в 1970-х годах, используются компоненты без резервирования и радиальная схема электропитания серверного оборудования, [2]. Перерывы электропитания со стороны сетевого источника резервируются дизель-генераторной установкой (ДГУ), имеющей ограничение по продолжительности непрерывной работы 8 часов. Кратковременные перерывы электропитания, а также провалы и выбросы напряжения демпфируются

источниками бесперебойного питания (ИБП). В качестве ИБП может использоваться как традиционные системы с аккумуляторными батареями, так и другие типы накопителей электроэнергии. Например, ИБП, использующие кинетическую энергию вращающегося маховика в качестве источника электроэнергии в течение нескольких минут, необходимых для перевода нагрузки с сетевого источника на ДГУ. Характерной особенностью является отключение компьютеров ЦОД при отказах в цепях электропитания или проведении плановых работ по обслуживанию электроустановки. Ожидаемый коэффициент готовности инфраструктуры ЦОД этого класса составляет 99,671 %. Во втором классе, *Tier II*, применяется резервирование ответственных компонентов электроустановки, например, дизель-генераторов и ИБП. Однако, как и в первом классе, используется радиальная схема подключения электроприемников. Обслуживание компонентов, имеющих резервирование, может происходить без отключения серверного оборудования. Ожидаемый коэффициент готовности инфраструктуры ЦОД этого класса составляет 99,741 %. Особенностью третьего класса, *Tier III*, применяющемуся с конца 1980-х годов, является наличие нескольких взаиморезервирующих цепей электропитания и каналов охлаждения, что позволяет проводить работы по обслуживанию любого оборудования без отключения нагрузки. Ожидаемый коэффициент готовности ЦОД этого класса составляет 99,982 %. Отключение компьютеров ЦОД возможно при наложении отказов на неработоспособное состояние оборудования системы. Наиболее высокий класс, *Tier IV*, появившийся в 1994 году, предполагает использование серверных стоек с двумя входами электропитания в каждом. Все компоненты резервируются и предусматривается несколько взаиморезервирующих цепей распределения электроэнергии и технологическое резервирование системы охлаждения. Характерной особенностью 4 класса является устойчивость ЦОД к отказам компонентов и ожидаемый коэффициент готовности на уровне 99,995 %.

III. РАСЧЕТНЫЕ УСЛОВИЯ

В специализированном программном комплексе *NEPLAN*, предназначенном для многофакторного анализа электроустановок, в рамках учебного проектирования, на основе схемы электропитания ЦОД, близкой к топологии класса *Tier III*, был произведен расчет параметров надежности электропитания серверного оборудования при различных вариантах резервирования источников питания. В качестве расчетных возмущений рассматривались следующие виды отказов: единичный отказ элемента расчетной схемы, одновременные отказы и наложения отказа одного элемента на восстановительный ремонт другого элемента (множественные отказы), единичный отказ элемента расчетной схемы с наложением на плановый ремонт другого элемента.

На рисунке 1 изображена расчетная схема электропитания ЦОД. Ответственных потребителей данного класса ЦОД разделяют на три основные группы: система кондиционирования серверного оборудования

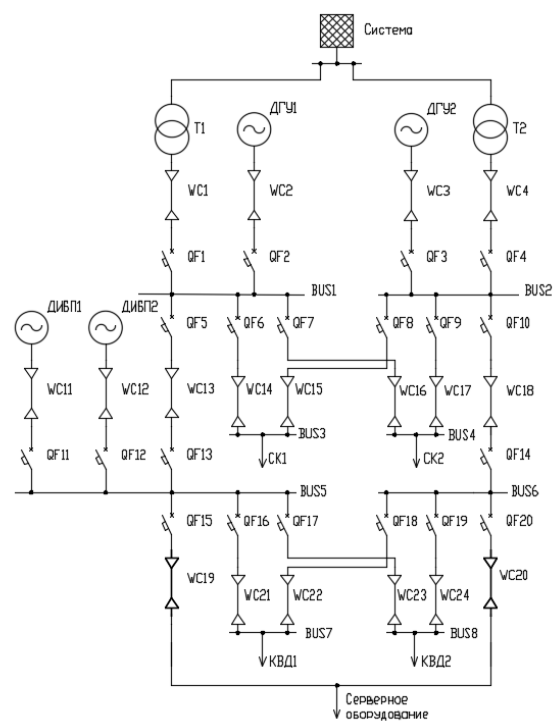


Рис. 1. Расчетная схема электропитания ЦОД

(СК), критически важная двигательная нагрузка (КВД) и система электропитания серверного оборудования. В нормальном режиме работы электроприемники ЦОД получают питание от сетевого источника – распределительной подстанции 20 кВ через понижающий трансформатор с низшим номинальным напряжением 0,4 кВ. ДГУ резервирует сетевой источник. Автоматический выключатель ДГУ в нормальном режиме отключен, но находится под контролем устройства автоматического ввода резервного питания (АВР). При исчезновении напряжения на сетевом источнике производится запуск ДГУ. После выхода ДГУ на номинальную мощность, производится включение выключателя QF2. Мощность ДГУ выбирается исходя из суммарной мощности всех электроприемников ЦОД.

В соответствии с концепцией обеспечения гарантированного электропитания, предусмотрены динамические источники бесперебойного питания (ДИБП), защищающие потребителей от кратковременных перерывов электроснабжения и снижения качества электроэнергии. В качестве ДИБП, в рассматриваемой задаче, используются ДГУ с маховиком. В нормальном режиме работы электроустановки электрическая энергия сетевого источника преобразуется в кинетическую энергию маховика. При ухудшении качества энергии на выводах генератора, подключенного к маховику, запасенная в нем кинетическая энергия преобразуется обратно в электрическую энергию. Класс *Tier III* предусматривает наличие второго канала питания, состоящего из второго понижающего трансформатора, подключенного к тому же сетевому источнику, второго ДГУ и второго ввода питания нагрузки ЦОД. В нормальном режиме работы питание нагрузки

производится от сетевого источника по одному каналу. Второй канал отключен. При исчезновении напряжения на нагрузке, электропитание обеспечивает второй канал. В расчетной модели системы электропитания, реализованной в NEPLAN, ДИБП представлен как синхронный генератор. В нормальном режиме он отключен от системы электропитания. При исчезновении напряжения на вводе питания на BUS5 производится включение в работу синхронного генератора без выдержки времени за счет наличия маховика в составе ДИБП. При отказе или выводе в ремонт выключателя QF15 или кабельной линии WC19 электропитания серверного оборудования осуществляется через выключатель QF20 и кабельную линию WC20. Время автоматического ввода резервного питания составляет 15 секунд. Время оперативных переключений на резервный источник электроэнергии составляет 1 час.

В расчете ожидаемой доступности электропитания серверного оборудования ЦОД были приняты следующие параметры элементов расчетной схемы, рис. 1:

Силовой трансформатор: $S_{ном} = 1 \text{ МВА}$; $U_{вн} = 20 \text{ кВ}$;

$U_{нн} = 0,4 \text{ кВ}$;

Кабельные линии (все линии принимались с одинаковыми параметрами): $L = 0,9 \text{ км}$; $r_{уд} = 0,05 \text{ Ом/км}$; $x_{уд} = 0,04 \text{ Ом/км}$; $c_{уд} = 0,1 \text{ мкФ/км}$;

ДГУ: $S_{ном} = 1,2 \text{ МВА}$; $U_{ном} = 0,4 \text{ кВ}$; $\cos\phi_{ном} = 0,85$;

ДИБП: $S_{ном} = 0,8 \text{ МВА}$; $U_{ном} = 0,4 \text{ кВ}$; $\cos\phi_{ном} = 0,85$;

Серверное оборудование: $S_{ном} = 0,5 \text{ МВА}$; $U_{ном} = 0,4 \text{ кВ}$; $\cos\phi_{ном} = 0,85$;

Эквивалентный двигатель критически важной двигательной нагрузки (КВД): $S_{ном} = 0,12 \text{ МВА}$; $U_{ном} = 0,4 \text{ кВ}$; $\cos\phi_{ном} = 0,85$;

Система кондиционирования (СК): $S_{ном} = 0,25 \text{ МВА}$; $U_{ном} = 0,4 \text{ кВ}$; $\cos\phi_{ном} = 0,85$.

Надежность каждого из элементов сети задается следующими показателями: параметр потока отказов ω , 1/год; среднее время восстановления $T_{в}$, ч.; частота текущих ремонтов μ , 1/год; продолжительность текущего ремонта $T_{р}$, ч. Информация о параметрах надежности элементов расчетной схемы принималась по [3, 4] и представлена в таблице 1.

Таблица 1. ПАРАМЕТРЫ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ

Элемент схемы	Параметр потока отказов, ω , 1/год	Время восстановления, $T_{в}$, ч	Частота ремонтов, μ , 1/год	Продолжительность ремонта, $T_{р}$, ч
Трансформатор	0,016	50	0,25	6
Кабельная линия	0,1 ^а	24	1	2
Автоматический выключатель	0,05	4	0,33	10
ДГУ	1,816	25,08	-	-
ДИБП	1,816	25,08	-	-
Сетевой источник	0,33	72	0,33	40

^а параметр потока отказов ω , 1/год км.

Надежность электропитания серверного оборудования анализировалась по следующим показателям [5]:

частота отключения нагрузки F , 1/год

$$F = \sum F_i, \quad (1)$$

средняя продолжительность отключения T , ч

$$T = \sum T_i, \quad (2)$$

ожидаемая ежегодная продолжительность отключения Q , ч/год

$$Q = F \cdot T, \quad (3)$$

коэффициент готовности электропитания узла нагрузки $ASAI$, %

$$ASAI = \frac{8760 - Q}{8760} \cdot 100\%, \quad (4)$$

Частоту и продолжительность отключения нагрузки в случае одиночных отказов формируют все элементы цепи питания нагрузки и элементы, имеющие с этой цепью общий узел. Расчеты проводились по следующим выражениям:

$$F_i = \omega_i, \quad (5)$$

где ω_i – параметр потока отказа i -го элемента, 1/год.

$$T_i = \frac{\sum \omega_i \cdot T_{в,i}}{\sum \omega_i}, \quad (6)$$

где $T_{в,i}$ – среднее время восстановления питания нагрузки, ч.

Под множественными отказами понимается отказ элемента цепи питания нагрузки во время восстановления другого элемента.

$$F_i = \omega_1 \cdot (\omega_2 \cdot \frac{T_{в2}}{8760}) + \omega_2 \cdot (\omega_1 \cdot \frac{T_{в1}}{8760}), \quad (7)$$

$$T_i = \frac{T_{в1} \cdot T_{в2}}{T_{в1} + T_{в2}}, \quad (8)$$

При наложении отказа первого элемента на плановый ремонт второго элемента используется следующая формула:

$$F_i = \frac{\omega_1 \mu_2 T_{p2}}{8760}, \quad (9)$$

где μ_2 – частота текущих ремонтов второго элемента расчетной схемы, 1/год, T_{p2} – продолжительность текущего ремонта второго элемента, ч.

$$T_i = \frac{T_{в1} \cdot T_{p2}}{T_{в1} + T_{p2}}, \quad (10)$$

Порядок переключений при отказе или выводе в ремонт элементов схемы электропитания, теряемая мощность, время перерыва питания, время автоматического ввода резерва доступны для просмотра в журнале событий. На рисунке 2 показан пример записи устранения последствий единичного отказа.

В момент времени 00:00:00 происходит отказ автоматического выключателя ДИБП1. Срабатывают выключатели смежных присоединений. Потребляемая серверным оборудованием мощность снижается до нуля. Выдаваемые мощности основного источника и ДИБП также становятся равными нулю. По команде автоматического ввода резерва замыкается выключатель резервной кабельной линии серверного оборудования, и потребляемая мощность серверного оборудования возрастает до 100%. Выдаваемая сетевым источником мощность становится равной 0,627 МВт.

В работе проведены расчеты следующих вариантов схемы электропитания:

- питание только от сетевого источника (системы), резервирование сетевого источника отсутствует;
- питание от сетевого источника, резервное питание от ДГУ;
- питание от сетевого источника, резервное питание от ДИБП;
- питание от сетевого источника, резервное питание от ДГУ и ДИБП;
- питание от сетевого источника, резервное питание от двух ДИБП;

- питание от сетевого источника, резервное питание от двух ДИБП и двух ДГУ.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ И ИХ АНАЛИЗ

Результаты расчетов параметров надежности электропитания ЦОД для разных вариантов схем приведены в таблице 2.

Таблица 2. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ЦОД ДЛЯ РАЗНЫХ СХЕМ

№	Схема электропитания	F, 1/год	T, ч	Q, ч/год	ASAI, %
1	Система	1,342	27,938	37,493	99,575
2	Система + ДГУ	1,389	0,801	1,112	99,987
3	Система + ДИБП	0,399	1,253	0,499	99,994
4	Система + ДГУ + ДИБП	0,398	0,755	0,300	99,997
5	Система + 2 ДИБП	0,430	0,567	0,244	99,997
6	Система + 2 ДИБП + 2 ДГУ	0,430	0,566	0,243	99,997

При отсутствии резервных источников электроэнергии, вариант 1, ожидаемая продолжительность перерывов электропитания серверного оборудования превышает 37 часов в год. При резервировании сетевого источника ДГУ многократно снижается ежегодная продолжительность отключения нагрузки. Среднее время простоя серверного оборудования формируется из одиночных отказов, вызывающих отключение нагрузки на время автоматического ввода резерва, и отказов одного из элементов резервного питания во время ремонта или восстановления элемента основного питания.

Если резервирование сетевого источника производится с помощью ДИБП, вариант 3, влияние на надежность электропитания серверного оборудования одиночных отказов элементов, расположенных, выше сборок ДИБП, пренебрежимо мало. Это резко снижает продолжительность перерывов питания серверного оборудования.

Применение одновременно ДГУ и ДИБП в дополнение

	Время ЧЧ:ММ:СС	тип	ID элемент а	Имя элемента	Rнагр (%)	Разница Pген (МВт)	Pген (МВт)
Событие 1: Авария							
Событие 1: Авария	00:00:00						
Элементы отключений		Выключатель	11576	Выключатель ДИБП1			
Отключение от защиты		Выключатель	10967	Выключатель Л1			
		Выключатель	11286	КЛ КВД1			
Пострадавшие нагрузки		Нагрузка	11198	компьютер	0,000		
Пострадавшие центры питания/блоки ген		Фидер	10932	Система		-0,627	-0,000
		Генератор	11460	ДИБП1		-0,800	-0,000
Событие 2: Отключение выключателя							
Событие 2: Отключение выключателя	00:00:15						
Участвующие элементы		Разъединитель	11576	Выключатель ДИБП1			
		Разъединитель	11576	Выключатель ДИБП1			
Событие 3: Включение выключателя							
Событие 3: Включение выключателя	00:00:15						
Участвующие элементы		Выключатель	11393	Выключатель КЛ серверное оборудование резерв			
		Разъединитель	11393	Выключатель КЛ серверное оборудование резерв			
Пострадавшие нагрузки		Нагрузка	11198	компьютер	100,000		
Нагрузки, снабжаемые полностью							
Пострадавшие центры питания/блоки ген		Фидер	10932	Система		0,627	0,627

Рис. 2. Пример записи множественного отказа в журнале событий.

к сетевому источнику, вариант 4, еще больше снижает продолжительность перерывов питания нагрузки. Наибольший вклад в ожидаемую продолжительность простоя серверного оборудования вносит наложение отказа ДИБП на плановый или восстановительный простой сетевого источника или ДГУ.

При использовании сетевого источника и двух ДИБП, вариант 5, перерывы электропитания серверного оборудования возможны только при совместном отказе линий подключения серверного оборудования WC19 и WC20. Единичные отказы источников электроэнергии, а также наложения отказа одного источника на неработоспособное состояние другого, практически не увеличивает ожидаемую продолжительность отключения, т.к. все три источника могут принимать нагрузку без задержки.

Схема электропитания потребителя с дублированными ДИБП и дублированными ДГУ, вариант 6, обеспечивает наименьшую продолжительность отключения нагрузки, из рассмотренных вариантов, однако, сокращение продолжительности отключения не превышает 10 секунд, по отношению к варианту резервирования двумя ДИБП, вариант 5.

Серверное оборудование ЦОД, получающее электропитание только от одного сетевого источника, по средней продолжительности простоя не соответствует требованиям, предъявляемым даже к Tier I (ожидаемое время простоя 28,8 ч/год). Коэффициенту готовности для Tier III, 99,982%, соответствуют следующие варианты 2 – 6.

Результаты расчета свидетельствуют о том, что наибольший эффект снижения ожидаемой ежегодной продолжительности перерывов электропитания дает установка первого резервного источника электроэнергии. Продолжительность перерывов электропитания в рассматриваемой схеме сокращаются на 97% при установке ДГУ и 98,7% при установке ДИБП. Установка второго резервного источника приводит к меньшему снижению перерывов электропитания. Так, установка второго ДГУ, в дополнение к ДИБП, сокращает ежегодную продолжительность перерывов на 40%, а установка второго ДИБП – на 51%. Дальнейшее увеличение степени резервирования источников приводит к незначительному сокращению перерывов электропитания. Установка двух резервных ДГУ к имеющимся двум резервным ДИБП приводит к сокращению ежегодных перерывов электропитания не более, чем на 4%. Учитывая стоимость ДГУ и ДИБП,

эффективным проектным решением могут быть варианты системы электропитания со 2 по 5 из таблицы 2. Первый вариант обладает большой продолжительностью перерывов электропитания вследствие отсутствия резервного источника, а шестой вариант предполагает повышенные капиталовложения без ощутимого эффекта от повышения надежности. Среди перечня возможных эффективных решений, выбор производят на основе технико-экономического расчета с учетом удельной стоимости ущерба от простоя серверного оборудования по причине отключения электропитания, которая существенно зависит от вида оказываемого сервиса.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчет надежности с применением программных комплексов позволяет учитывать большее количество факторов и видов расчетных возмущений, чем в ручном расчете, что повышает точность результатов. Такие расчеты должны стать обязательными не только в профессиональном, но и в учебном проектировании электроустановок.

Продемонстрирован вариативный расчет надежности системы электропитания ЦОД, который может быть использован для оценки достаточности или избыточности степени резервирования источников электроэнергии с учетом величины удельного ущерба от простоя серверного оборудования ЦОД.

Следует продолжить разработку расчетной модели инфраструктуры ЦОД для оценки надежности с учетом технологических систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] ANSI/TIA-942-2005. Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers.
- [2] UPTIME INSTITUTE. WHITE PAPER. Tier Classifications Define Site Infrastructure Performance. By W. Pitt Turner IV, PE, John H. Seader, PE, Vince Renaud, PE, and Kenneth G. Brill.
- [3] Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1989.
- [4] IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems, IEEE Std 493-2007, Revision of IEEE Std 493-1997. N.Y.: IEEE, 2007.
- [5] IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices, IEEE Std 1366-2003, Revision of IEEE Std 1366-1998. N.Y.: IEEE, 2004.
- [6] NEPLAN User's Guide Electrical, Version 5.
- [7] Nesgaard C., Fault Tolerant Power Systems. January 2004.

Применение компьютерного моделирования в инженерном образовании на примере проектирования автомобильных шин

В.С. Ижуткин, А.Д. Зонов, А.А. Борисов
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва, Россия
izhutkin@yandex.ru / zonoffalexander@gmail.com

Аннотация — Рассматривается компьютерная модель оценки износостойкости протектора шин при действии различных сил в зоне соприкосновения протектора с дорожным покрытием, а также ее применение при подготовке специалистов с высшим техническим образованием. Для обучения разработан ряд упражнений по использованию компьютерной модели.

Ключевые слова — математическая модель, программная реализация, визуализация, износостойкость протектора.

I. ВВЕДЕНИЕ

Износостойкость протектора автомобильных шин требует постоянного контроля и долгосрочного прогноза. Существует два вида испытаний шин на износ протектора – это дорожные и стендовые испытания. Второй более эффективен, так как позволяет с высокой степенью точности моделировать влияние основных эксплуатационных факторов и конструктивных параметров на износостойкость протектора.

В работе [1] (см. также [2,3]) предложена математическая модель износостойкости шин протектора, учитывающая действия касательных P_x , боковых P_y и вертикальных P_z сил в зоне контакта шины с дорожной поверхностью. На ее основе в данной работе реализована компьютерная модель, где выполнено численное решение системы уравнений математической модели с визуализацией результатов и создан обучающий комплекс для подготовки инженеров.

II. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

На износостойкость шин влияют многие эксплуатационные факторы (состояние дорожного покрытия, рельеф местности, вид дорог, условия движения, состояние дорожного покрытия, климатические условия), а также конструктивные параметры автотранспортных средств. При стендовых испытаниях можно имитировать влияние каждого из вышеперечисленных факторов на работу сил,

действующих в зоне контакта шины с дорогой, которые определяют износостойкость протектора.

Ряд исследователей предложили различные зависимости износостойкости протектора шин от совместного действия боковой и продольной сил, действующих в пятне контакта:

$$J = J_0 + B_1 \left(\frac{P_x}{P_z} \right)^k + B_2 \left(\frac{P_y}{P_z} \right)^m + B_3 \left(\frac{P_x P_y}{P_z} \right)^n = \\ = J_0 + B_1 \mu_x^k + B_2 \mu_y^m + B_3 (\mu_x \mu_y)^n, \quad (1)$$

где $B_{1,2,3}$ – коэффициенты, характеризующие конструкцию шины; k, m, n – степени влияния данных параметров на износ шины.

Отношения $\mu_x = \frac{P_x}{P_z}$ и $\mu_y = \frac{P_y}{P_z}$ по своей природе являются коэффициентами трения шины с дорогой или поверхностью стенда. В зависимости от режима нагрузки в автомобильной терминологии используется понятие «коэффициенты качения». Эти коэффициенты всегда меньше единицы, что позволяет предложить для оценки износостойкости шин в зависимости от сил, действующих в зоне контакта, следующую зависимость:

$$J = J_0 (1 + \mu_x)^k (1 + \mu_y)^m. \quad (2)$$

Преимуществом применения формулы (2) является то, что при отсутствии влияния боковой силы и, ограничиваясь членами биномиального ряда до двух или трех соответственно, формула (2) имеет линейную или квадратичную зависимость.

В работе [1] были представлены результаты обработки экспериментальных данных стендовых испытаний для различных комплектов шин, что позволяет с достаточно высокой степенью точности применять формулу (2) для оценки износа протектора шин от сил, действующих в пятне контакта.

III. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОКРЫШЕК АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

Программный комплекс позволяет следить за оценкой износостойкости шин для различных видов транспортных средств, изменяя при этом показатели влияния продольной (k) и боковой (m) сил, интенсивность износа протектора шины ведомого колеса (J_0), а также вносить изменения в конструкцию автомобиля (усиленный корд, направленность рисунка). Также комплекс может оценивать максимальную скорость, которую можно развить с учетом действия ряда факторов, а также среднюю цену на рынке за данный тип покрышек. С точки зрения обучающей направленности комплекса стоит отметить наличие справки, информации о модели и ряда упражнений по работе с моделью.

Визуализация математической модели представлена на Рис.1.

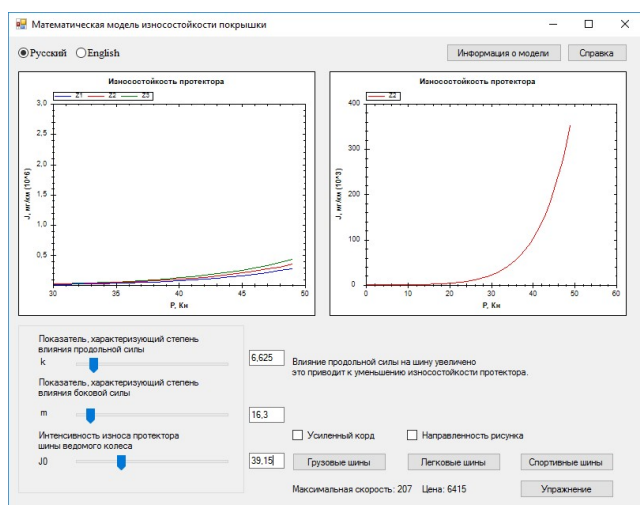


Рис. 1. Фрагмент пользовательского интерфейса программного комплекса по изучению износостойкости покрышек автомобильных шин.

Программный комплекс разработан с помощью объектно-ориентированного языка программирования C# в среде разработки Visual Studio 2015. Основными причинами использования C# является скорость разработки и удобство отладки. Комплекс разработан для работы под управлением операционной системы семейства Windows, начиная с версии Windows XP.

Структурная схема программного комплекса представлена на Рис.2.

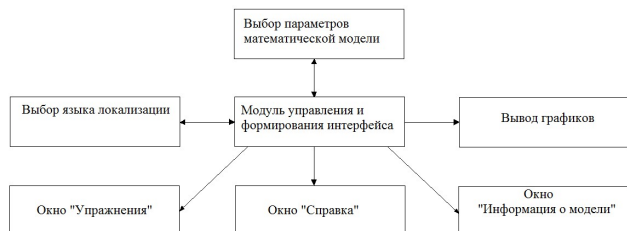


Рис. 2. Структурная схема программного комплекса.

IV. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРОВ

Важной особенностью в процессе обучения является объяснение различных свойств математических моделей. Например, при изменении параметров модели динамически визуализировать результат, сопровождая его текстовым объяснением причин поведения модели.

Проиллюстрируем использование разработанного комплекса в обучающих целях. Стоит отметить, что увеличение износостойкости шин (J_0) ведет к увеличению скоростных характеристик (Рис.3).

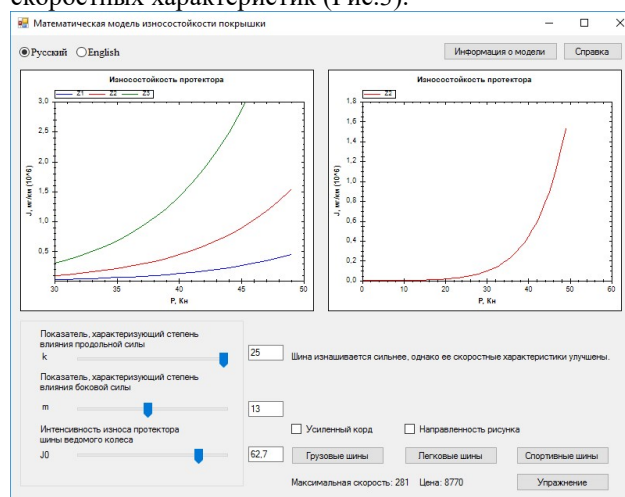


Рис. 3. Результат моделирования при увеличении износа шин.

Влияние боковых сил связано с массой автомобиля, а также с видом и качеством дорожного покрытия. Следовательно, уменьшение коэффициента m ведет к уменьшению боковой силы, что приводит к увеличению износостойкости (Рис. 4).

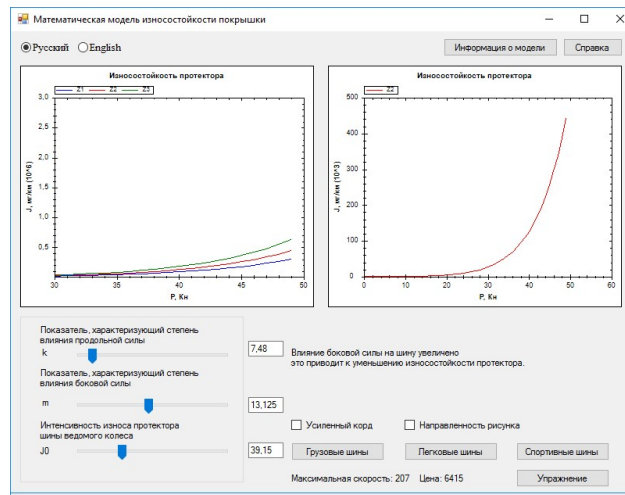


Рис. 4. Результат моделирования при уменьшении влияния боковой силы.

Влияние продольных сил связано с разностью давления на оси автомобиля и прямо влияет на управляемость автомобиля. Уменьшение давления в шине ведет к

увеличению коэффициента качения, из чего следует, что при увеличении показателя влияния продольной силы уменьшается износостойкость протектора (Рис.5).

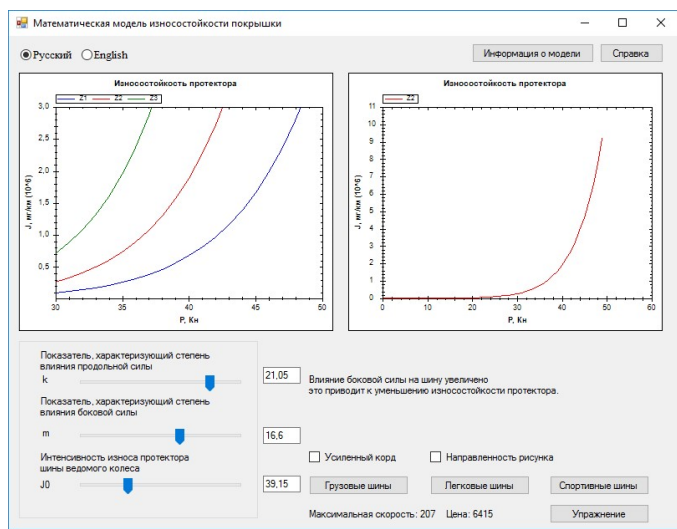


Рис. 5. Результат моделирования при увеличении влияния продольной силы.

Компьютерная модель также позволяет получать оценку износостойкости покрышек для различных видов автомобильных шин: грузовые, легковые и спортивные.

Условия эксплуатации грузовых автомобилей сильно отличаются от легковых, поэтому в конструкцию шин вносятся ряд изменений (размеры, вид рисунка протектора и др.), благодаря чему покрышки имеют высокую износостойкость, но низкое сцепление с дорогой на высоких скоростях (Рис.6).

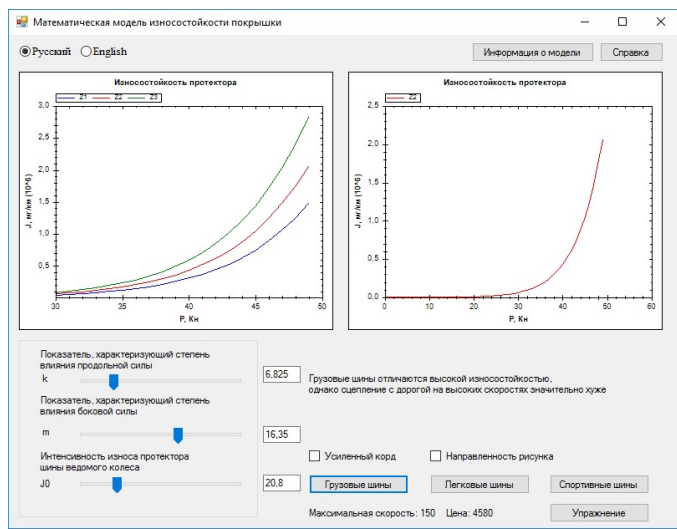


Рис. 6. Результат моделирования при использовании грузовых покрышек.

Легковые покрышки преимущественно подходят для использования в повседневной жизни. Они обладают высокой износостойкостью, при этом они обладают сцеплением на высоких скоростях и мокрой дороге (Рис.7).

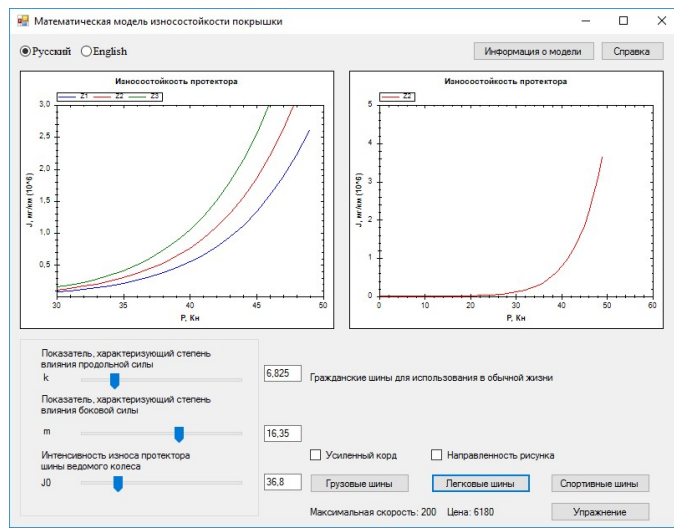


Рис. 7. Результат моделирования при использовании легковых покрышек.

Спортивные покрышки выдерживают высокие скорости и другие нагрузки, что существенно влияет на их износостойкость (Рис.8).

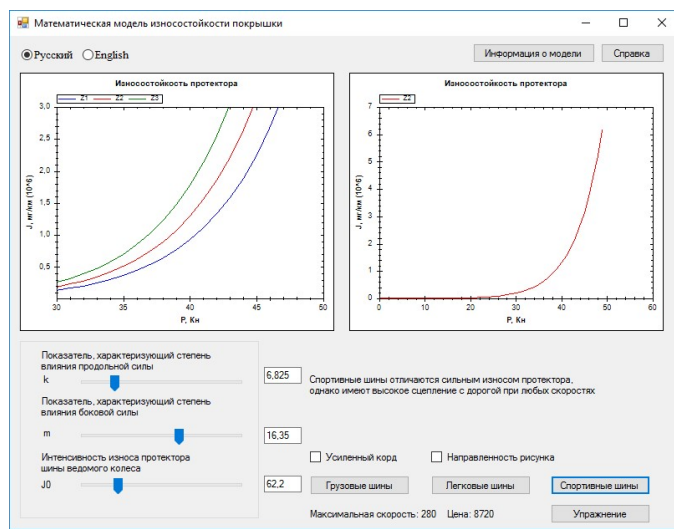


Рис. 8. Результат моделирования при использовании спортивных покрышек.

Блок «Упражнение» автоматически меняет значения модели на значения из «Упражнения» (Рис.9). Пользователь должен с помощью математической модели решить задачу, после чего проверить свой результат (Рис.10).

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализована компьютерная модель оценки износостойкости протектора автомобильных шин, важной частью которой является обучающий комплекс, позволяющий студенту ознакомиться с математической моделью, прочитать теоретический материал, оценить возможности программы и самостоятельно выполнить упражнения, предусмотренные в модели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Клепик Н.К. Оценка износостойкости протектора автомобильных шин на основании стендовых испытаний с использованием биномиального ряда / Н. К. Клепик, В. Н. Тарновский, Д. С. Клементьев // Каучук и резина. – 2008. – № 2. – С. 30–31.
- [2] Автомобильные шины. Конструкция, механика, свойства, эксплуатация: монография/О.Б. Третьяков, В.А. Гудков, А.А. Вольнов, В.Н. Тарновский. –М.: КолоС: Химия, 2007. – 432с.
- [3] Г.М. Косолапов. Исследование износостойкости протектора автомобильных шин в условиях стендовых испытаний/Г.М. Косолапов, В.Н. Тарновский//Труды ВолгПИ. – Волгоград. –1976. – с. 48–50.
- [4] Бухин Б.Л. Исследование неравномерности износа легковых радиальных шин// Проблемы шин и резинорезиновых композитов 4 симпозиум.-М., 1991.-с. 172-184.
- [5] Захаров Н.С., Петров А.И. Влияние условий эксплуатации на надежность шин// Проблемы шин и резинорезиновых композитов. : М-лы 9 симпозиума,- М.: НИИШП, 1998,- с. 148-154.
- [6] Полонов А.М., Смирнов А.Г. Математическая модель взаимодействия колесного движителя с опорной поверхностью // Проблемы шин и резинорезиновых композитов 5 симпозиум.-М., 1993. -с. 77-79.
- [7] Третьяков О.Б. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент по определению напряженно-деформированного состояния шин //Проблемы шин и резинорезиновых композитов 4 симпозиум.-М., 1991. с. 12-22.
- [8] Baker C.S., Wallace T.R. Исследование износостойкости шин грузовых автомобилей // Т. Nat., Rubber Res., 1986.- № 4.-pp 270-285.
- [9] Baker C. S. L., Wallace I. R. Natural rubber truck tyre compounds for improved wear performance. «L. Nat, Rubber Res.», 1986, L, № 4, с. 270 285.
- [7] Fluegge Larry H., Sparks Lasepli D., Vekselman Ieya W. Tire treadwear experiment using taguchimethods. «SAE Techn. Pap. Ser.», 1988, № 880580, 1 2.

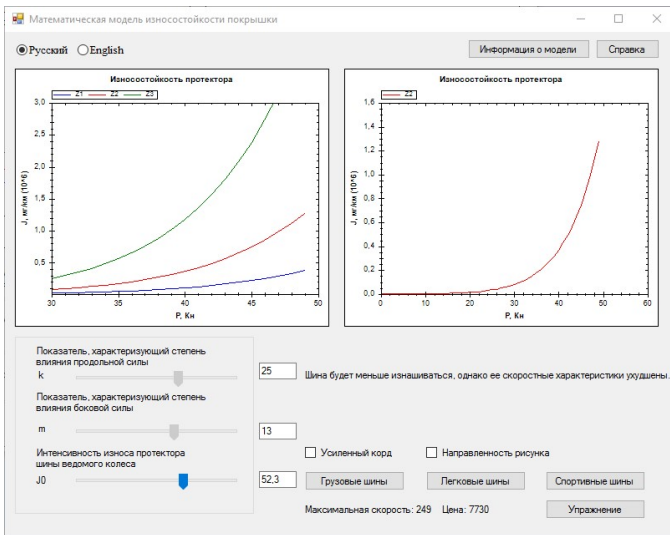


Рис. 9. Работа программного комплекса в режиме «Упражнения».

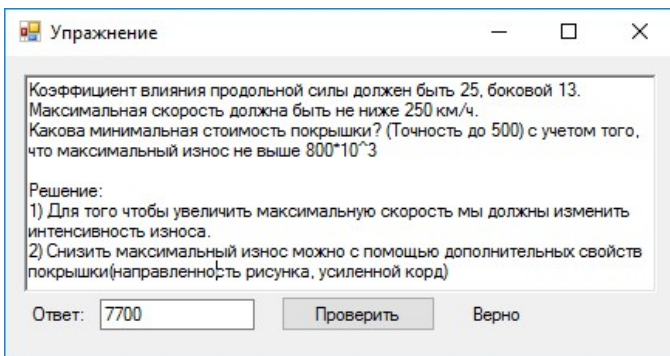


Рис. 10. Блок «Упражнения» комплекса.

Блок «Информация о модели» позволяет подробнее узнать о возможностях комплекса (Рис.11).

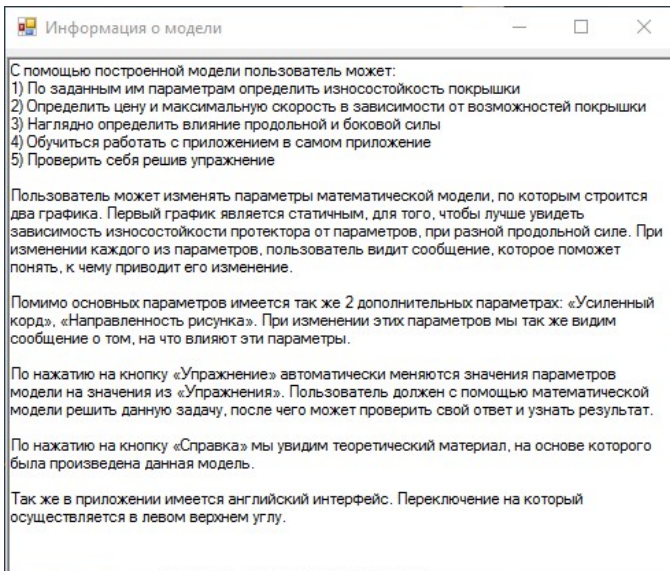


Рис. 11. Блок «Информация о модели».

Компьютерное моделирование процессов СВЧ термообработки диэлектриков

С.Г. Калганова, С.В. Тригорлый, В.В. Захаров

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

г. Саратов, Россия

E-mail: vadim.zaharoff2016@yandex.ru

Аннотация — Приведен опыт авторов по компьютерному моделированию процессов сверхвысокочастотной (СВЧ) термообработки диэлектриков, описываемых дифференциальными уравнениями в частных производных. Приведены результаты моделирования процессов СВЧ нагрева, сушки и плавления диэлектриков.

Ключевые слова — СВЧ нагрев, сушка, плавление, диэлектрик

I. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы наблюдается всевозрастающий интерес к применению СВЧ технологий для термообработки различных материалов [1, 2]. Это связано как с известными преимуществами СВЧ нагрева перед традиционными видами нагрева (объемное тепловыделение, безинерционность, управляемость и пр.) [3], так и с развитием математических моделей процессов, происходящих при СВЧ термообработке. Существенным обстоятельством является развитие численных методов моделирования процессов СВЧ термообработки, появление высокопроизводительных компьютеров и современного программного обеспечения, позволяющего решать мультидисциплинарные связанные технические задачи, описываемые дифференциальными уравнениями в частных производных. На наш взгляд для моделирования процессов СВЧ термообработки материалов в наибольшей степени подходит программное обеспечение COMSOL Multiphysics, в котором реализованы такие численные методы моделирования как метод конечных элементов и метод граничных элементов. Приведем краткое описание моделей и результаты моделирования процессов СВЧ нагрева, сушки и плавления диэлектриков с использованием указанного программного обеспечения.

II. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ МОДЕЛЕЙ

A. Общее описание моделей

Математическое описание задач СВЧ термообработки диэлектриков основано на системе уравнений электродинамики и теплопроводности [4]. В зависимости от конкретных условий термообработки математическая модель может дополнительно включать уравнения тепломассопереноса, термомеханики, гидродинамики и пр. [5].

B. Уравнения электродинамики

Электродинамическая часть задачи, как правило, неизменна и представляет собой систему уравнений Максвелла, которая при описании волновых процессов преобразуется к волновым уравнениям Гельмгольца [6]. Уравнение Гельмгольца для вектора напряженности электрического поля \mathbf{E} и соответствующие граничные и начальные условия задаются в виде:

$$\nabla \times (\mu_r^{-1} \nabla \times \mathbf{E}) - k_0^2 \left(\varepsilon'_r - \frac{j\sigma}{\omega \varepsilon_0} \right) \mathbf{E} = 0, \quad (1)$$

$$\mathbf{n} \times \mathbf{E} = 0, \quad (2)$$

$$[\mathbf{H}_2 - \mathbf{H}_1, \mathbf{n}] = 0, \quad (3)$$

$$[\mathbf{n}, \mathbf{E}_2 - \mathbf{E}_1] = 0, \quad (4)$$

$$\mathbf{n}(\mathbf{D}_2 - \mathbf{D}_1) = 0, \quad (5)$$

$$\mathbf{n}(\mathbf{B}_2 - \mathbf{B}_1) = 0, \quad (6)$$

$$\mathbf{E}(0) = 0, \quad (7)$$

где μ_r – относительная магнитная проницаемость, $k_0 = \omega \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$ – волновое число, ε'_r – относительная диэлектрическая проницаемость (действительная часть), $\sigma = \omega \varepsilon_0 \varepsilon''_r$ – электрическая проводимость, $\omega = 2\pi f$ – угловая частота, ε_0 – электрическая постоянная, ε''_r – эффективный коэффициент потерь (мнимая часть диэлектрической проницаемости), f – частота электромагнитного поля, \mathbf{n} – единичный вектор нормали к поверхности, \mathbf{H}_1 , \mathbf{H}_2 , \mathbf{E}_1 , \mathbf{E}_2 – векторы

напряженности магнитного и электрического поля; \mathbf{D}_1 , \mathbf{D}_2 , \mathbf{B}_1 , \mathbf{B}_2 , – векторы электрической и магнитной индукции для сред 1 и 2 соответственно.

С. Уравнения теплопроводности и теплопереноса

В задачах СВЧ нагрева ограничиваются заданием уравнения теплопроводности с граничными и начальными условиями в виде [7]:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial \tau} - \nabla \cdot (\lambda \nabla T) = q_v, \quad (8)$$

$$-\mathbf{n} \cdot \mathbf{q} = h_m (T_{amb} - T_1), \quad (9)$$

$$-\mathbf{n} \cdot \mathbf{q} = \varepsilon \sigma_r (T_{amb}^4 - T_r^4), \quad (10)$$

$$T_1 = T_2, \quad (11)$$

$$\lambda_1 \left(\frac{\partial T_1}{\partial \mathbf{n}} \right)_S = \lambda_2 \left(\frac{\partial T_2}{\partial \mathbf{n}} \right)_S, \quad (12)$$

$$T(0) = T_0, \quad (13)$$

где ρ – плотность, c_p – удельная теплоемкость, T – температура, τ – время, λ – коэффициент теплопроводности, q_v – мощность внутренних источников теплоты, h_m – коэффициент теплоотдачи с поверхности, T_{amb} – температура окружающей среды, T_1 – температура поверхности объекта, ε – коэффициент излучения, σ_r – постоянная Стефана-Больцмана, T_r – температура излучающей среды, T_1 , T_2 – температуры сопрягающихся поверхностей теплообмена областей 1 и 2, λ_1 , λ_2 – коэффициенты теплопроводности областей 1 и 2, \mathbf{n} – вектор нормали к поверхности раздела S , T_0 – начальная температура тела.

Связь задач электродинамики и теплопроводности осуществляется через мощность внутренних источников теплоты, определяемую по формуле:

$$q_v = 0,5 \omega \varepsilon_0 \varepsilon_r'' \cdot |\mathbf{E}|^2. \quad (14)$$

В задачах мягкой СВЧ сушки (при $T < 100$ °С) вместо (8) используются уравнения теплопереноса [8]:

$$c_p \rho_0 \frac{\partial T}{\partial \tau} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + \frac{\varepsilon_0 r_0}{c_m} \frac{\partial U}{\partial \tau} + q_v, \quad (15)$$

$$(1 - \varepsilon_0) \frac{\partial U}{\partial \tau} = \nabla \cdot (a_d \delta \nabla T + a_d \nabla U), \quad (16)$$

где ε_0 – критерий фазового перехода, r_0 – удельная теплота парообразования, U – влагосодержание, a_d – коэффициент диффузии влаги, δ – относительный коэффициент термодиффузии.

Граничные и начальные условия в задаче теплопереноса задаются в виде:

$$-\lambda \nabla T + h_m (T_{amb} - T) - (1 - \varepsilon_0) r_0 \alpha_m \rho_0 (U - U_{amb}) = 0, \quad (17)$$

$$a_d \delta \nabla T + a_d \nabla U + \alpha_m (U - U_{amb}) = 0, \quad (18)$$

$$T(0) = T_0, \quad (19)$$

$$U(0) = U_0, \quad (20)$$

где α_m – коэффициент массоотдачи, U_{amb} – влагосодержание окружающей среды, U_0 – начальное влагосодержание тела.

В задачах СВЧ плавления имеет место подвижная фазовая граница (фронт плавления). Существуют различные методы моделирования задач с подвижными границами, которые можно условно разделить на методы с выделением и без выделения фазовой границы. Энтальпийная форма записи уравнения теплопроводности, часто применяемая для описания задач плавления, задается в виде:

$$\rho \frac{\partial H}{\partial \tau} - \nabla \cdot (\lambda \nabla T) = q_v, \quad (21)$$

где H – энтальпия.

На границе раздела фаз задается граничное условие Стефана:

$$\rho L (\mathbf{v} \times \mathbf{n}) = (\mathbf{q}_1 - \mathbf{q}_2) \times \mathbf{n}, \quad (22)$$

где L – скрытая теплота плавления, \mathbf{v} – скорость перемещения фазовой границы, \mathbf{q}_1 , \mathbf{q}_2 – тепловые потоки к фазовой границе из жидкой (среда 1) и твердой (среда 2) фаз.

III. ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧ И РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

A. Спекание керамики в высокотемпературной СВЧ рабочей камере

Технологии высокотемпературного СВЧ нагрева особенно актуальны для термообработки керамических и композиционных материалов [1, 9, 10]. Значительное внимание уделяется вопросам математического моделирования процессов СВЧ спекания керамики [11].

Авторами разработана и испытана высокотемпературная СВЧ рабочая камера на базе двух нерегулярных прямоугольных волноводов, частично заполненных обрабатываемым материалом, работающая на частоте 2,45 ГГц, схема которой приведена на рис. 1.

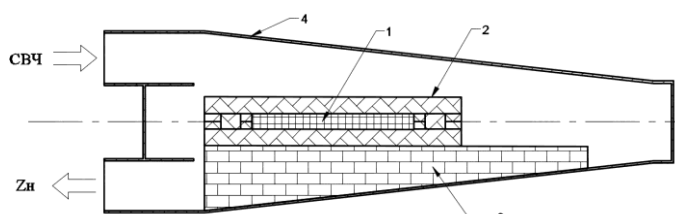


Рис. 1. Схематическое изображение СВЧ рабочей камеры: 1 – керамическая заготовка, 2 – огнеупорная форма, 3 – теплоизоляция, 4 – корпус камеры, СВЧ – ввод СВЧ энергии, Зн – балластная нагрузка

В таких волноводах ширина узкой стенки изменяется вдоль распространения электромагнитной волны. Закон изменения и длина волновода рассчитывается, исходя из условий наилучшего согласования камеры с СВЧ генератором, при этом обеспечивается максимально равномерное распределение температуры в обрабатываемом изделии.

Для данной рабочей камеры были проведены численные и натурные эксперименты СВЧ термообработки керамики. В высокотемпературных процессах, таких, как спекание керамики целесообразно учитывать температурные зависимости электро- и теплофизических свойств не только нагреваемой заготовки, но и конструктивных элементов рабочей камеры. Математическая модель, реализованная в COMSOL Multiphysics, основанная на уравнениях (1) – (7), (8) – (13), в общей сложности учитывает десять температурных зависимостей электро- и теплофизических свойств материалов, таких как $\epsilon_r(T)$, $\rho(T)$, $c_p(T)$, $\lambda(T)$.

В расчетах принимались следующие параметры СВЧ генератора: частота – 2,45 ГГц, мощность СВЧ излучения изменялась от 1,4 кВт до момента времени 50 мин, после чего увеличивалась до 2,2 кВт.

Результаты моделирования температурных полей в керамической заготовке приведены на рис. 2, 3.

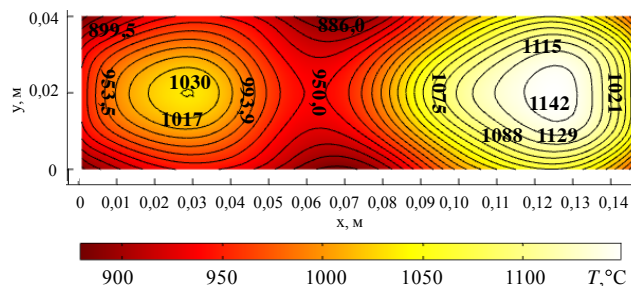


Рис. 2. Изотермы в зонах максимального нагрева керамической заготовки для момента времени 60 мин в продольном горизонтальном сечении

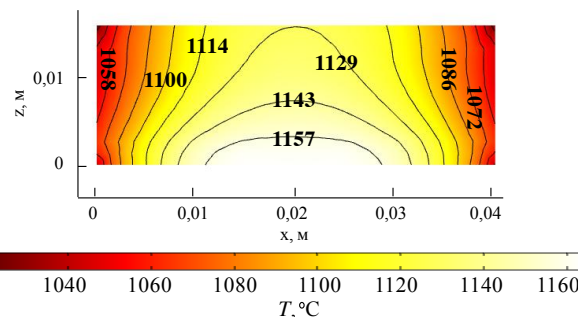


Рис. 3. Изотермы в зонах максимального нагрева керамической заготовки для момента времени 60 мин в поперечном сечении

По длине заготовки имеются два температурных максимума, один из которых занимает около 40 % заготовки, другой – около 20 %, при этом разность температур в их пределах составляет 5 и 7 % соответственно.

По результатам моделирования и испытаний установки сделан вывод о том, что разработанная модель может быть использована на стадии разработки высокотемпературных СВЧ камер для оптимизации их конструкции с целью получения требуемой равномерности и темпа нагрева изделий.

B. Мягкая СВЧ сушка плоского объекта в камере лучевого типа

На рис. 4 показана камера лучевого типа неограниченного объема в виде рупорной антенны для СВЧ сушки плоского диэлектрика – плиты из асбоцемента. Цель задачи – определение полей напряженности электрического поля, температуры и влагосодержания в процессе СВЧ сушки диэлектрика. В качестве основных исходных данных для данной задачи приняты $U_0=0,5$ кг/кг, $U_{amb}=0,39$ кг/кг, мощность СВЧ излучения $p_{in}=300$ Вт. Математическая модель, реализованная в COMSOL Multiphysics, основана на уравнениях (1) – (7), (15) – (20). В модели учтено изменение диэлектрических свойств асбоцемента ϵ'_r , ϵ''_r в зависимости от его влагосодержания в процессе сушки.

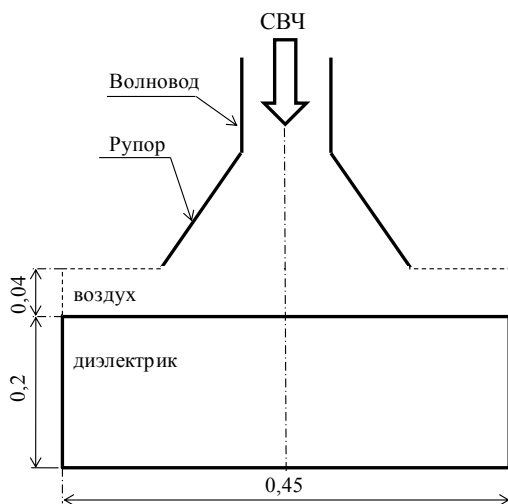


Рис. 4. Геометрическая модель задачи

Моделирование проводилось для частоты СВЧ генератора 2,45 ГГц и 0,915 ГГц при соответствующих размерах рупорной антенны.

Результаты моделирования на частоте 2,45 ГГц для момента времени $\tau=24$ ч приведены на рис. 5 – 7.

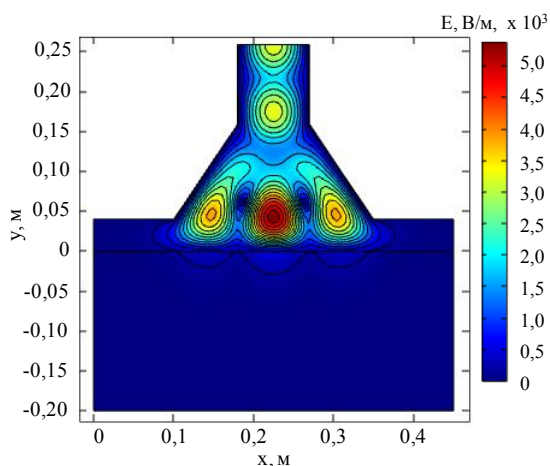


Рис. 5. Распределение электрического поля в воздухе и диэлектрике

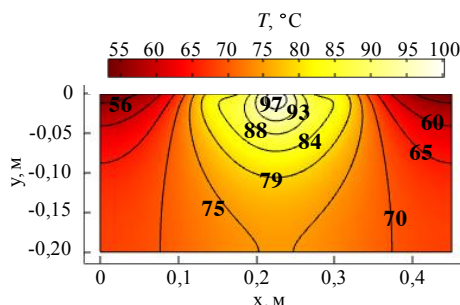


Рис. 6. Распределение температурного поля в диэлектрике

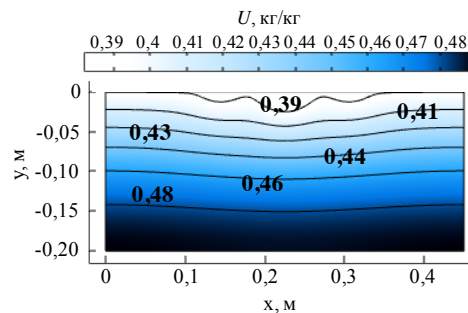


Рис. 7. Распределение поля влагосодержания в диэлектрике

По результатам моделирования установлено существенное влияние изменения ϵ'_r и ϵ''_r в функции влагосодержания на напряженность электрического поля, температуру и влагосодержание. Расхождение результатов моделирования с учетом и без учета указанных зависимостей составляет: для поля температуры – 2,5–14,3 %, для поля влагосодержания – 0,25–1,3 %.

Также установлено влияние частоты СВЧ генератора на распределение влагосодержания по глубине диэлектрика. Средняя неравномерность влагосодержания между поверхностью ($x=0,225$ м, $y=0$ м) и центром ($x=0,225$ м, $y=-0,1$ м) диэлектрика составляет: на частоте 2,45 ГГц – 19 %, на частоте 0,915 ГГц – 2,9 %. Максимальная температура нагрева диэлектрика через 24 ч сушки составляет: на частоте 2,45 ГГц – 98°C, на частоте 0,915 ГГц – 59°C. Скорость сушки всего объема диэлектрика на частоте 0,915 ГГц выше, чем на частоте 2,45 ГГц.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что полученные поля напряженности электрического поля, температуры и влагосодержания качественно соответствуют известным представлениям о процессах тепло- и массопереноса, происходящих при сушке капиллярно-пористых диэлектриков в поле СВЧ [4], [8].

С. Плавление диэлектрика в поле СВЧ

На рис. 8 показана камера лучевого типа неограниченного объема в виде рупорной антенны, предназначенная для плавления льда, имеющего тонкий слой воды на поверхности.

Целью моделирования является определение полей напряженности электрического поля и температуры, а также определение положения и формы границы фазового перехода при плавлении льда. Для данной задачи приняты следующие основные исходные данные: $p_{in}=1500$ Вт, $f=2,45$ ГГц, начальная температура льда $T_0=-5$ °C. Математическая модель, реализованная в COMSOL Multiphysics, основана на уравнениях (1) – (7), (9), (11), (13), (21), (22). Для решения использовался интерфейс деформируемой сетки конечных элементов. Для задания изменения формы и положения фазовой границы использовалось граничное условие (22).

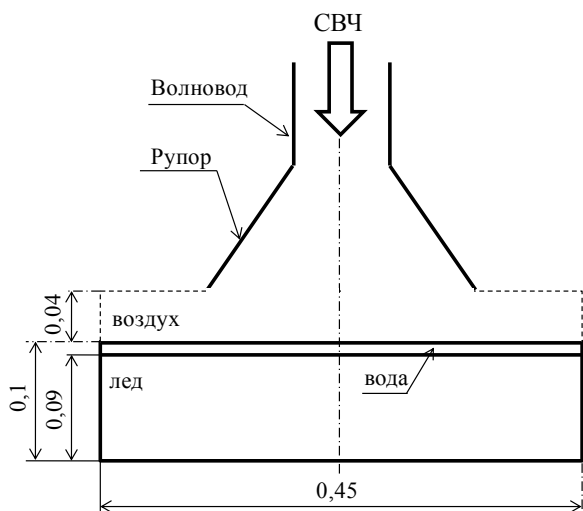


Рис. 8. Геометрическая модель задачи

Результаты моделирования для момента времени $\tau = 24$ ч приведены на рис. 9, 10.

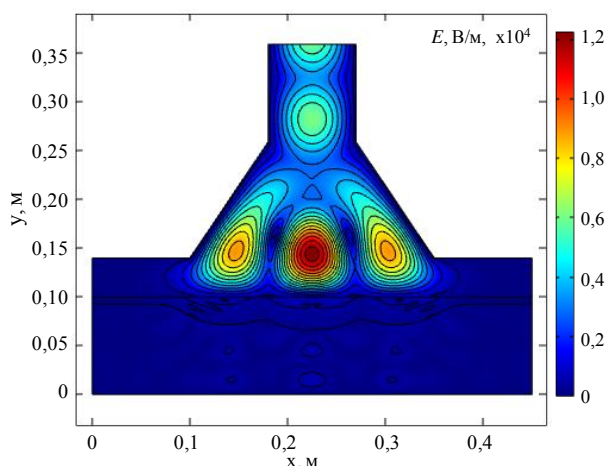


Рис. 9. Распределение электрического поля при СВЧ плавлении

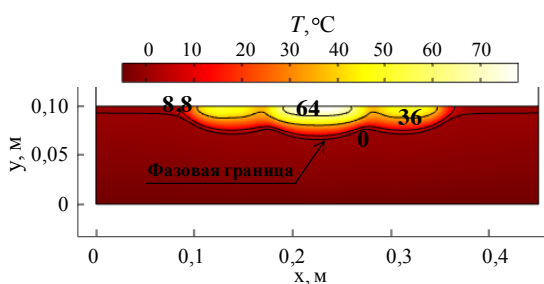


Рис. 10. Распределение температурного поля при СВЧ плавлении

Из рисунков видна качественная сходимость конфигурации электрического и температурного полей. Кривой линией обозначена граница раздела фаз, форма и

положение которой изменяется во времени. За время плавления максимальная глубина проплавления льда составила около 4 см. Для увеличения глубины проникновения электромагнитной волны целесообразно вести плавление на более низкой частоте 0,915 ГГц.

IV. ВЫВОДЫ

На основании проведенных авторами численных и натуральных экспериментов по СВЧ термообработке диэлектриков можно сделать вывод о целесообразности применения программного обеспечения COMSOL Multiphysics для математического моделирования процессов СВЧ нагрева, сушки и плавления с целью их оптимизации и создания энергоэффективных СВЧ электротехнологических установок.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность профессору Архангельскому Ю.С. за поддержку при постановке задач моделирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] **Быков Ю.В.** Микроволновая высокотемпературная обработка материалов / Ю.В. Быков, К.И. Рыбаков, В.Е. Семенов // Вакуумная СВЧ электроника (сборник обзоров). Под ред. М. И. Петелина. Нижний Новгород: Институт прикладной физики РАН. 2002. С. 26–35.
- [2] **Бикбулатов И.Х.** Применение электромагнитного излучения СВЧ диапазона в химической технологии / И.Х. Бикбулатов, Р.Р. Даминов, Н.С. Шулаев, Е.А. Шулаева // Бутлеровские сообщения. 2009. Т. 18. № 8. С. 1–28.
- [3] **Балашов В.М.** Конкурентоспособные ресурсосберегающие технологии микроволнового промышленного нагрева / В.М. Балашов, П.В. Губкин, И.Р. Карпова // Вопросы радиоэлектроники. 2008. Т. 1. №1. С. 107–116.
- [4] **Архангельский Ю.С.** СВЧ электротермия / Ю.С. Архангельский. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т. 1998. 408 с.
- [5] **Комаров В.В.** Формулировки математических моделей процессов взаимодействия электромагнитных волн с диссипативными средами в СВЧ-нагревательных системах / В.В. Комаров // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2010. Том 13. № 4. С. 57–63.
- [6] **Вайнштейн Л.А.** Электромагнитные волны / Л.А. Вайнштейн. М.: Радио и связь. 1988. 440 с.
- [7] **Исаченко В.П.** Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. М.: Энергия. 1968. 472 с.
- [8] **Лыков А.В.** Теория сушки / А.В. Лыков. М.: Энергия. 1968. 472 с.
- [9] **Argawal D.** Microwave Sintering of Ceramics, Composites and Metallic Materials, and melting of Glasses / D. Argawal // Transactions of The Indian Ceramic Society. Vol.65(3) July-September. 2006. P. 129–144.
- [10] **Sudiana I. Nyoman.** High Frequency Microwave Sintering of Alumina Ceramics / I. Nyoman Sudiana, Seitaro Mitsudo, Shunsuke Inagaki, La Ode Ngkoimani, Haji Aripin, Edi Cahyono // Recent Advances on Computational Science and Applications. Seoul, South Korea, September 5-7. 2015. P. 50–54.
- [11] **Кожевников В.Ю.** Математическое моделирование спекания керамических материалов в СВЧ электромагнитном поле / В.Ю. Кожевников // Вестник СГТУ. 2006. №4 (19). Выпуск 4. С. 109–117.

Использование компьютерного моделирования для исследования частотных свойств длинной силовой линии питания аэродромной светосигнальной системы

Комлев Иван Владимирович
Кафедра ЭКАОиЭТ
ФГБОУ ВО НИУ "МЭИ"
г. Москва, Россия

Аннотация — В этой статье объяснена цель изучения частотных свойств силовой линии светосигнальной системы. Описана её структура и построение компьютерной модели. Представлены результаты моделирования на основе которых определены ключевые параметры для дальнейшей разработки требуемых устройств и сделаны выводы.

Ключевые слова — аэродромная светосигнальная система; передача информации по силовой линии; неоднородная длинная линия; компьютерная модель

I. ВВЕДЕНИЕ

Для управления наземным движением воздушных судов используются аэродромные светосигнальные системы (АСС) с большим количеством огней, включённых в сеть питания, называемую кабельным кольцом (КК) [1]. Отечественные АСС не позволяют использовать в одном КК более одной независимо управляемой группы огней и для каждой группы необходимо своё КК. По этой причине на крупных российских аэропортах, где требуется до 500 групп огней, используются импортные АСС. Они позволяют включать в одно КК более одной группы огней за счёт применения дополнительных устройств индивидуального управления огнями. Эти устройства используют дополнительный информационный канал связи, по которому передаются команды управления. Наиболее распространённым и надёжным способом реализации такого канала связи в АСС является способ передачи информации по силовой линии [2][3]. Такое решение не требует прокладки дополнительных линий связи и создания специальных условий для радиопередачи. Но при разработке отечественной АСС с индивидуальным управлением существует ряд проблем. Основная проблема — это возникновение негативных волновых эффектов отражения высокочастотного сигнала (ВЧС) в длинной линии КК (до 10 км), приводящих к его затуханию. Так как линия КК по своей структуре очень специфична, то возникла необходимость проведения исследования её частотных свойств. Это исследование позволило правильно определить параметры несущего сигнала и передатчика.

II. СТРУКТУРА ЛИНИИ КАБЕЛЬНОГО КОЛЬЦА

A. Структура кабельного кольца применяющейся отечественной светосигнальной системы.

Структура КК отечественной АСС Луч-4МС (см. рис. 1) представляет собой последовательную цепь галогеновых огней (до 150 шт., рис. 2.d), образующих одну группу огней с возможной суммарной мощностью до 20 кВт. Огни соединены между собой отрезками высоковольтного одножильного кабеля длиной от 25 м до 1000 м (рис. 2.b). По КК протекает стабилизированный переменный ток, с частотой 50 Гц и действующим значением от 3 до 6.6 А (в зависимости от требуемой степени яркости). Стабилизирует ток тиристорный регулятор яркости (РЯ, рис. 2.a) [4]. В зависимости от требуемого количества огней он позволяет модульно изменять установленную мощность КК за счёт изменения числа трансформаторов, первичные обмотки которых включены параллельно, а вторичные последовательно, тем самым увеличивая максимальное выходное напряжение. Так как напряжение КК может составлять до 5000 В, каждый огонь подключается в КК через изолирующий трансформатор тока (ТАОЗ, рис. 2.c). В местах подключения огней к КК экран соседних отрезков кабеля соединяется и заземляется.

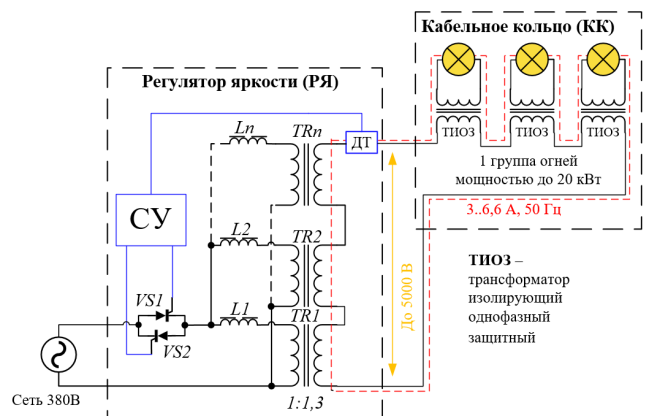


Рис. 1. Структура кабельного кольца отечественной светосигнальной системы Луч-4МС производства АО "ГОКБ Прожектор"

III. ПОСТРОЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ

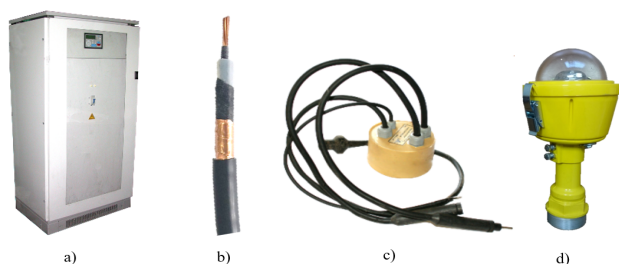


Рис. 2. Фотографии элементов светосигнальной системы Луч-4МС: а – регулятор яркости, б – кабель, с – изолирующий трансформатор тока, d – галогеновый огонь.

В. Структура кабельного кольца разрабатываемой светосигнальной системы с индивидуальным управлением огнями по силовой линии

Структура КК с индивидуальным управлением огнями (рис. 3) должна содержать несколько дополнительных блоков. Чтобы обеспечить возможность независимо включать и выключать каждый огонь необходимо к каждому огню добавить устройство контроля и переключения (УКиП), которое сможет принимать команды управления с помощью ВЧС, переключать огонь в соответствии с командой, следить за состоянием лампы (перегорание) и отсылать ответную информацию о состоянии огня. Поэтому в своём составе УКиП должны иметь приёмник, передатчик, коммутирующий элемент и питающий преобразователь собственных нужд. Помимо ведомых УКиП в структуре должен быть ведущий приёмопередатчик – модем последовательной цепи (МПЦ), который должен тоже иметь в составе приёмник и передатчик. Чтобы оградить УКиП и МПЦ от высокого потенциала КК они расположены на вторичной стороне ТИОЗ. В процессе работы РЯ создаёт высшие гармоники, которые могут затруднить приём ВЧС, поэтому РЯ шунтируется фильтром последовательной цепи (ФПЦ), что не позволяет помехам от РЯ попасть в КК, также он позволяет пройти ВЧС в обход РЯ без ослабления.

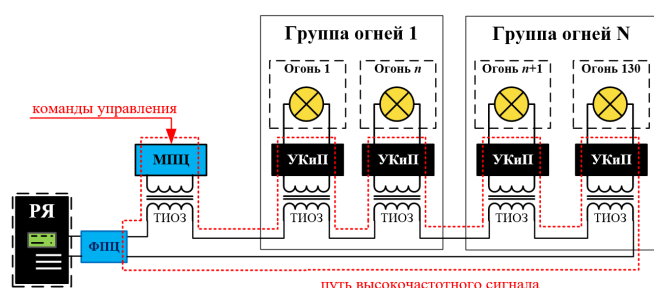


Рис. 3. Структура кабельного кольца с системой индивидуального управления огнями

А. Анализ структуры кабельного кольца возможные допущения при моделировании.

Как видно из рис.3 структура КК с индивидуальным управлением огнями состоит из более чем 500 элементов, поэтому исследование проводилось с применением имитационного компьютерного моделирования (ИКМ). В качестве среды моделирования использовался программный комплекс Altium Designer с модулем simulation. В библиотеках этой среды уже имеются требуемые для построения модели блоки (трансформаторов, участков длинной линии, индуктивностей, конденсаторов и т.д.) необходимо только задать их параметры.

Линия КК представляет собой длинную последовательную цепь, потребители в которой включены последовательно. Такое подключение создаёт неоднородность линии, что затрудняет её анализ в таком виде. Для возможности анализа линии известными методами и инструментами необходимо провести упрощение структуры введя определённые допущения, которые не приведут к значительному отклонению результата.

Первое допущение, которое можно ввести – это представление однопроводной линии как двухпроводной. Такое допущение возможно исходя из того, что кабель, которым соединены огни имеет экран и его можно представить, как двухпроводный коаксиальный кабель. Это допущение позволит использовать стандартные методы анализа длинной линии.

Второе допущение – сопротивление ФПЦ для несущего сигнала во много раз меньше сопротивления РЯ. Это справедливо, так как выходная цепь регулятора яркости представляет собой обмотку трансформатора с очень большим значением индуктивности (более 1 Гн), а сопротивление ФПЦ менее 10 Ом.

Третье допущение – частотные свойства КК не зависят от величины силового тока, протекающего в нём. Это условие линейности цепи КК, которое предполагает, что ТИОЗ не насыщаются.

Четвёртое допущение – передатчик является идеальным источником синусоидального напряжения на несущей частоте.

Пятое допущение – точки заземления являются общей точкой для всей модели.

Пятое допущение – приёмники являются идеальными датчиками тока, способные отделить сигнал на несущей частоте от силового тока.

Эти допущения позволяют исключить РЯ из модели и исследовать прохождение по КК только информационного сигнала без силового; МПЦ заменить источником синусоидального напряжения; УКиП заменить токовым щупом. Это в значительной степени упрощает задачу. С принятыми допущениями схема компьютерной модели кабельного кольца выглядит следующим образом (рис. 4)

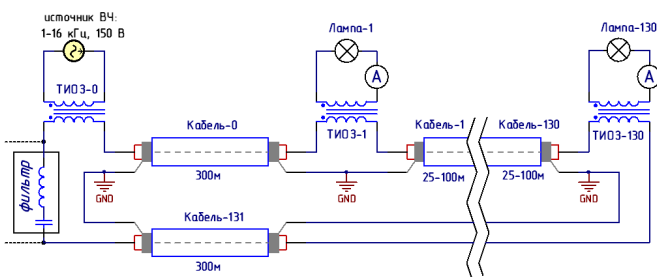


Рис. 4. Схема компьютерной модели кабельного кольца в среде Altium Designer

В. Параметры элементов структуры компьютерной модели

Чтобы компьютерная модель была близка по свойствам к реальному КК, то параметры моделей элементов были определены экспериментальными измерениями светосигнального оборудования Луч-4МС производства АО “ГОКБ Проектор”

Параметры кабеля:

- погонное активное сопротивление – 8 мОм/м;
- погонная индуктивность – 0,3 мкГн/м;
- погонная ёмкость – 120 пФ/м;
- волновое сопротивление – 50 Ом;
- длина отрезка – 25..100 м;
- общая длина КК – 5 км.

Параметры ТИОЗ:

- индуктивность первичной обмотки – 260 мГн;
- индуктивность вторичной обмотки – 265 мГн;
- коэффициент магнитосвязи – 0,9998.

Параметры лампы:

- активное сопротивление – 4,6 Ом.

Параметры фильтра:

- для частоты 1 кГц: $C_f = 211$ мкФ, $L_f = 120$ мГн;
- для частоты 2 кГц: $C_f = 105$ мкФ, $L_f = 60$ мГн;
- для частоты 4 кГц: $C_f = 53$ мкФ, $L_f = 30$ мГн;
- для частоты 8 кГц: $C_f = 27$ мкФ, $L_f = 15$ мГн;
- для частоты 16 кГц: $C_f = 27$ мкФ.

Для моделирования в качестве ведущего передатчика (МПЦ) использовался источник синусоидального напряжения с амплитудой 150 В. Моделирование проводилось для различных частот от 1 до 150 кГц. Измерение уровня сигнала проводилось путём получения осциллограмм тока КК на вторичной стороне ТИОЗ через каждые 100 м.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Результатами моделирования стали 57 осциллограмм тока ВЧС, создаваемого источником ВЧС снятых на разных расстояниях и для разных частот источника ВЧС. Для удобства восприятия информации все осциллограммы для одной частоты изображены на одном графике (рис. 5), но окрашены разными цветами.

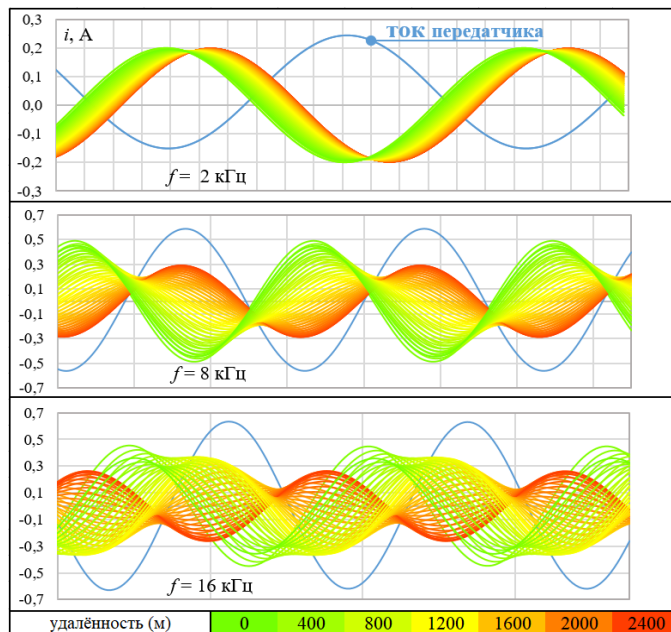


Рис. 5. Осциллограммы тока сигнала в зависимости от удалённости от передатчика для разных частот

По осциллограммам (рис. 5) можно понять изменение амплитуды и фазы сигнала в зависимости от его удалённости от источника.

А. Анализ затухания сигнала в зависимости от частоты

Анализируя осциллограммы видно, что на частоте 2 кГц изменение амплитуды сигнала в зависимости от удалённости незначительно, тогда как на 8 кГц в некоторых точках амплитуда падает более чем в 2 раза. На частоте 16 кГц - уже более чем в 5 раз. Используя данные из полученных осциллограмм можно построить график зависимости коэффициента усиления сигнала от погонной длины КК (рис. 6).

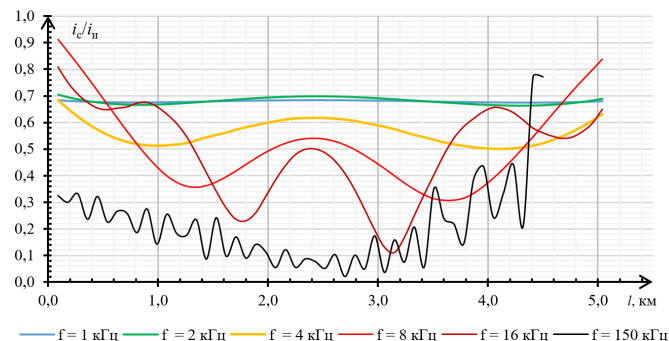


Рис. 6. График зависимости усиления сигнала от погонной длины КК

По графику (рис. 6) можно увидеть, что на частотах начиная с 4 кГц и выше возникает значительное ослабление сигнала в некоторых точках, что говорит о возникновении эффекта отражения сигнала в длинной линии. Можно также заметить на всех частотах присутствует постоянный уровень усиления сигнала 0,7. Это происходит в следствии того, что часть тока источника ВЧ протекает как ток холостого хода ТИОЗ и не попадает в КК.

Если бы оценка проводилась в классическом виде как для однородной длинной линии, то длину волны можно было бы рассчитать по (1) и (2) [5].

$$\lambda = v/f \quad (1)$$

$$v = 1/\sqrt{L \cdot C} \quad (2)$$

где v - фазовая скорость распространения электромагнитной волны, а L и C погонная индуктивность и ёмкость кабеля. Для частоты 8 кГц и линии с вышеуказанными параметрами кабеля длина волны составляет 21 км, что значительно больше длины линии 5 км и эти эффекты затухания сигнала должны были отсутствовать и эту частоту уже можно было бы выбрать в качестве несущей. Тогда как ИКМ показало, что максимальная оптимальная частота составляет 2 кГц.

В. Анализ затухания сигнала в зависимости от индуктивности рассеяния ТИОЗ

Анализируя уравнение (2) видно, что фазовая скорость зависит от индуктивности КК, которую в большей степени составляют индуктивности рассеяния ТИОЗ. Можно предположить, что чем меньше индуктивность рассеяния, тем менее выражены точки ослабления сигнала. Проведённое компьютерное моделирование на фиксированной частоте и для разных индуктивностей рассеяния ТИОЗ подтвердило (рис. 7), это предположение. Из этого можно сделать вывод, что уменьшение индуктивности рассеяния позволит в качестве оптимальной выбрать более высокую частоту, что позволит передавать информацию с более высокой скоростью.

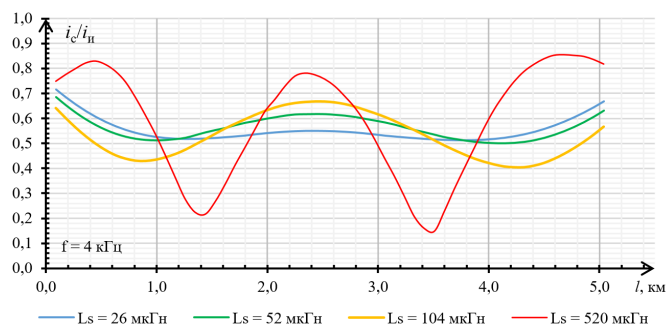


Рис. 7. График зависимости усиления сигнала от погонной длины кабельного кольца для разных индуктивностей рассеяния изолирующих трансформаторов

С. Определение эквивалентного сопротивления кабельного кольца

Также на основе полученных значений тока источника ВЧС, делая поправку на ток холостого хода ТИОЗ, можно определить эквивалентное сопротивление КК для разных частот (рис. 8).

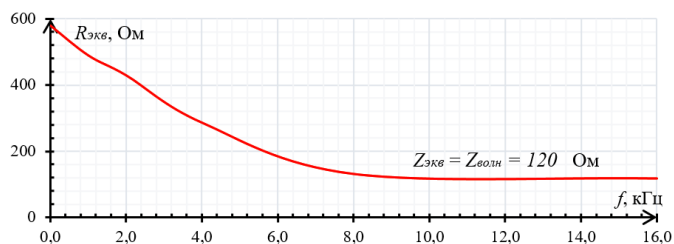


Рис. 8. График зависимости эквивалентного сопротивления кабельного кольца от частоты сигнала

Из этого графика видно, что на частоте более 8 кГц эквивалентное сопротивление постоянно и равно по величине 120 Ом. Это значение и есть эквивалентное волновое сопротивление КК. Полученное волновое сопротивление значительно больше волнового сопротивления кабеля (50 Ом).

По графику эквивалентного сопротивления (рис. 8) также можно определить необходимое напряжение передатчика. Если в качестве приёмника использовать датчик тока, то было экспериментально определено, что оптимально минимальная амплитуда тока высокочастотной составляющей, которую можно успешно демодулировать составляет 80 мА (при максимальной амплитуде силового тока 20 А), значит минимальное напряжение передатчика должно составлять 33,6 В.

В. Выводы

Компьютерное моделирование позволило исследовать затухание сигнала в неоднородной сети с нестандартной топологией и большим количеством элементов, которое провести с помощью расчётов было бы практически невозможно. В ходе исследования были определены основные параметры передатчика, по которым были разработаны и произведены успешно работающие опытные образцы устройств (УКиП и МПЦ).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Фрид Ю.В. "Электросветосигнальное оборудование аэропортов. Транспорт", 1988.
- [2] ADB SAFEGATE, "ASP® Manual", 2010.
- [3] Traver Gumaer, Easthampton MA(US), "Power factor correction for constant current input with power line communication", U.S. Patent 2014/0328415 A1, Nov. 6, 2014.
- [4] А.В.Берг, А.В.Бериллов, В.А. Сергеев, А.В. Мирошниченко, Г. С. Мызык, "Регулятор стабилизатор переменного тока 10. Патент РФ № 2364916 G05F 1/30, 20.08.2009 Бюл №23.
- [5] Баскаков С. И. "Радиотехнические цепи с распределёнными параметрами", М: Высш. школа, 1980.

Описание принципа работы цифровой технологии встроенной обработки токового сигнала устройства определения дугового пробоя (УОДП)

И.В. Королев, П.В. Валуев, О.С. Щербачева
ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»
Москва, Россия
KorolevIV@mpei.ru

Аннотация — данная статья предназначена для специалистов в области электробезопасности и пожарной безопасности. В ней раскрывается принцип работы аналогового и логического блока, которые предназначены для цифровой обработки токового сигнала в устройствах определения дугового пробоя. Материал демонстрирует прикладной характер информационных технологий в современной модульной защитной аппаратуре до 0,4 киловольт, который также будет полезен студентам электротехнических и энергетических специальностей.

Ключевые слова — устройство определения дугового пробоя; УОДП; дуговой пробой; обработка токового сигнала дуги.

I. ВВЕДЕНИЕ

Согласно статистическому отчету NFPA (National Fire Protection Association — Национальная Ассоциация по Пожарной защите в США) 11% всех электрических пожаров приходится именно на дуговые пробой. Велики значения материального ущерба и жертв. Актуальность УОДП доказывается тем, что с момента активного внедрения регламентирующих и предписывающих положений в регламентах NEC (National Electric Code — Национальный Свод Правил по Эксплуатации Электроустановок, аналог ПУЭ в РФ) с 2005 по 2015 год наблюдается стойкий тренд на снижение негативных данных по пожарам в отчетах NFPA [1].

Дуговые пробой в цепях до 0,4 киловольт бывают двух видов: последовательные и параллельные. Последовательные случаются по причине прерывания нормального пути прохождения тока через проводник в силу дефектов проводника и/или изоляции, в то время как параллельные случаются по тем же причинам между проводниками. Хотя поведение обоих их видов продиктовано одними математическими уравнениями, все же есть некоторые различия, выраженные в значениях тока дуги [1].

II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИМИКРИРУЮЩИХ И МАСКИРУЮЩИХ ДУГУ ИСТОЧНИКОВ. НЕОБХОДИМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ФИКСИРОВАНИЯ ДУГИ

В последовательных дуговых пробоях поведение дуги зависит от импеданса (нагрузки), в параллельных же

источник тока, а не нагрузка устанавливает количество тока, способного проходить через дугу, и таким образом меняет ее параметры [2].

Различия в этом позволяют УОДП дифференцировать пробой от других аварийных состояний. Наблюдения показывают, что в случае параллельных дуговых пробоев значение тока дуги примерно в 15 раз выше, чем в случае последовательных (при испытаниях 60 герц и 120 вольт) [2], но кратность тока все равно недостаточна для срабатывания стандартных автоматических выключателей, а по причине отсутствия при таких неисправностях тока на землю, УЗО (устройство защитного отключения) также не в состоянии будет определить дуговой пробой.

Дуговой пробой также может создавать широкополосный шум в пределах от десятков герц до гигагерца. Паттерн энергии такого шума можно отнести к так называемому “розовому шуму”, с которым УОДП сравнивает текущие паттерны в защищаемой сети. Наблюдения показывают, что на уровень энергии, содержащейся в спектре широкополосного шума, может влиять среда, несущая шум (ветвь), а также количество тока, протекающего через дугу. Чем больше ионизация в воздушном зазоре, тем меньше количество широкополосных шумов. Данные наблюдения одни из основополагающих в алгоритме анализа микропроцессором УОДП наличия дуги в защищаемой цепи.

Дуговой разряд фиксируется УОДП, и цепь прерывается, если выполняется ряд условий с целью избегания ложных срабатываний: 1. Посредством микропроцессора значения широкополосного шума, коррелирующие с величиной тока и генерируемые дугой, должны совпадать с некоторой моделью, названной PINK, чьи параметры соответствуют параметрам “розового шума”. 2. В этом частотном спектре и в спектре радиочастот по причине прохождения основной составляющей переменного тока через ноль, должны возникать зазоры при нулевых значениях тока (рис. 1. D), и паттерн дуги должен коррелировать с кривой основной составляющей переменного тока. 3. Если имеют место быть резкие скачки токов, дальнейшие повторяющиеся в скором времени пики не должны иметь значения ниже определенных пороговых (отстройка от пусковых токов) 4.

Данные пункты должны выполняться на время большее или равное пяти полупериодам главной составляющей переменного тока [2].

Помимо явления мимикрии устройств под дуговой разряд, существует опасное явление его маскировки. В проводниках происходят наводки шумов через электростатические или емкостные связи в частотах, пределы которых лежат в спектре обнаружения алгоритмического модуля УОДП для распознавания дуги по принципу сопоставления ее параметров частот с параметрами спектра “розового шума” [3]. Данную проблему УОДП может решать, анализируя паттерны частотного спектра в разных точках удаления от него. Существуют оптимальные диапазоны затухания в нормальном и аварийном режиме (50 мегагерц затухания на каждые 15,2 метра от УОДП при дуге частотой в гигагерц; если же он на этом расстоянии видит затухание в диапазоне 5-50 гигагерц, то вероятно помимо широкополосной связи по линии питания, в цепи присутствует дополнительные радиочастотные помехи, маскирующие дугу) [2].

III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ДУГОВЫХ ПРОБЕОВ И ОТСТРОЙКА ОТ ВОЗМОЖНЫХ ПОМЕХ В ЦЕПИ

Обработка аналогового сигнала выполняется аналоговым блоком (операционные усилители и транзисторы), а выход представляет собой серию логических сигналов, которые интерпретируются логическим блоком, таким как микроконтроллер.

Сигнал, представленный переменным током на рис. 1. А, используется для генерации сигнала, отвечающего за наличие или отсутствия (значение 1 или 0) зоны перехода тока через ноль (“Zero Crossing Mask”, рис. 1. D).

Ресивером в виде зависимости напряжения от времени подается второй сигнал, представляющий энергию радиочастотного спектра в линии в текущее время. Сигнал известен как “Received Signal Strength Indicator”, (RSSI), (рис. 1. E).

Затем выделяется базовое значение шума в радиочастотном спектре, характерное для постоянного тока, вызванного сторонней электроникой в защищаемой цепи, качеством линии и другими случайными условиями. От этого значения УОДП, а точнее, от значения RSSI — отстраивается (“ZC Minimum tracking signal”, рис. 1. E-F).

Из-за этих отклонений часть аналоговой схемы принимает входящий RSSI сигнал и удаляет из него смещение постоянного тока следующим способом (рис. 1. F):

1. Пока сигнал “Zero Crossing Mask” = 1 (ток в зоне перехода через ноль), происходит запись значения RSSI в память внутри блока логического управления (записывается минимум RSSI (рис. 1. E));
2. При дальнейшем попадании в зону отсутствия перехода тока через ноль (“Zero Crossing Mask” = 0) из действительного к тому времени значения RSSI вычитается записанный минимум RSSI из п.1. (рис. 1. F);
3. Сбрасывается записанное ранее в п.1. значение RSSI, и все повторяется заново.

Такой подход помогает дифференцировать сигналы, которые могут вызывать неверные срабатывания, т.к. некоторые приборы могут генерировать широкополосную радиочастотную составляющую (обозначается сигналом “ZC Minimum tracking signal” на рис. 2. E — зеленая линия), которая не создает пробелов вокруг нулевых переходов, что будет служить сигналом наличия маскировки: т.е., если сигнал имеет высокий уровень RSSI (RSSI of The Arc Fault coupled AC current with DC offset) при пробелах в зоне нулевого перехода (рис. 2. E, пробел между 3 и 4 зонами) или пробелы не идут в ряд с “Zero Crossing Mask” = 1 в области пересечения нуля (на рисунках не представлено), то тогда значение минимального уровня сигнала RSSI (п.2.) будет близко к высоким значениям RSSI. Таким образом микроконтроллер УОДП получает маленькое значение разницы между значением RSSI в области перехода тока через ноль и минимальным значением RSSI, записанным ранее по п.1. Такая маленькая разница между этими двумя значениями будет нехарактерна для дуги. (меньше — рис. 2. F(4), чем для сигнала с дуговым разрядом рис. 2. F(2)).

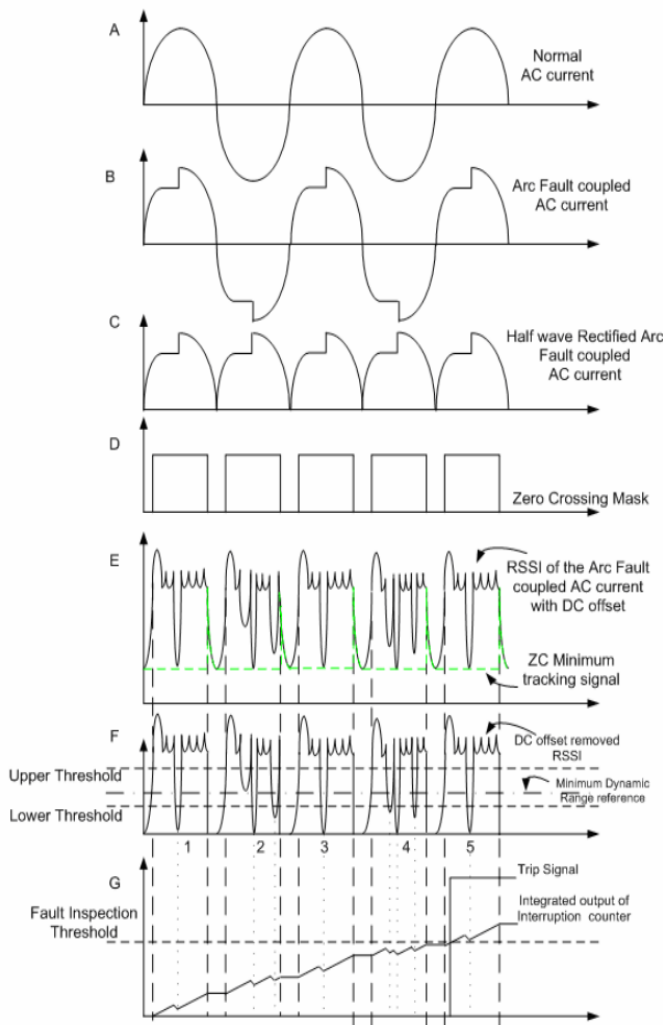


Рис. 1. Описание метода обнаружения УОДП последовательного дугового пробоя

Модель сигнала RSSI с уже вычтенным базовым значением постоянного тока (DC offset removed RSSI) затем сопоставляется с тремя пороговыми значениями (рис. 1. F и рис. 2. F). Два порога являются относительными к функциональному диапазону RSSI (максимальное амплитудное значение — 100%), а один — его абсолютная величина. Она используется для удостоверения в том, что функциональный диапазон измененного RSSI (с вычтенной составляющей DC тока — DC offset removed RSSI) выше его минимального порогового значения. Если это не соблюдено, то оценка других двух порогов бессмысленна. Другие два порога представляют процент примерно 60% и 25% от всего функционального диапазона (Upper threshold и Lower threshold). Эти сравнения используются для генерации логических выходов, которые отражают, является ли измененный сигнал RSSI (DC offset removed RSSI) выше или ниже соответствующего порогового значения. Условие, показывающее, что RSSI превышает заданный порог, приведет к увеличению интегратора (счетчика), (рис. 1. G и рис. 2. G). Если условие показывает, что RSSI ниже такого порога, значение счетчика будет уменьшаться. Кроме того, постоянный частый и резкий переход сверху вниз до порога будет считаться “прерыванием” сигнала RSSI за пределами области пересечения нуля. Это прерывание может быть использовано как дополнительный дифференциатор между дуговым пробоем и помехой, похожей на него, т.к. дуговой пробой имеет малое количество таких прерываний.

Хаотическая природа дуги и испарение точек контакта из-за ее высокой температуры допускает небольшое затухание широкополосного побочного радиочастотного спектра дуги. Количество таких разрешенных прерываний устанавливается по-разному для каждого порога. Когда превышено это количество прерываний, интегратор сбрасывается до начального значения, которое будет нулевым (рис. 2. F и рис. 2. G, зоны 5).

Дуговой пробой фиксируется в защищаемой ветви, когда этот интегратор (счетчик) достигает превышенного порога срабатывания (Fault Inspection Threshold).

В итоге процесс дифференциации дуги от помех происходит в алгоритмическом блоке, состоящем из двух логических выходов. Для конечного анализа оба они берут информацию о RSSI, о ее первой производной и времени удержания пикового значения этой первой производной. Эти сигналы сравниваются с порогами, и каждый из них влияет на счетчик по-разному. Если сигнал удержания пика первой производной от RSSI ниже установленного порога, то счетчик разрешается только уменьшать. Если сигнал первой производной выше установленного порога **только** вне зон пересечения током нуля, то тогда интегратор устанавливается на начальное значение (ноль), (рис. 2 F и G, конец зоны 5).

Таким образом для того, чтобы система интерпретировала сигнал в качестве дугового пробоя, а не помехи и соответственно инициировала повышение значения интегратора пробоя, должно быть выполнено два условия: 1. Первая производная RSSI по времени больше

определенного предельного значения, 2. RSSI достигает, как минимум, порогового значения, и оно фиксируется определенное время. Как только значение на интеграторе пробоя поднимается выше порогового, микроконтроллер отправляет выключателю команду на выключение.

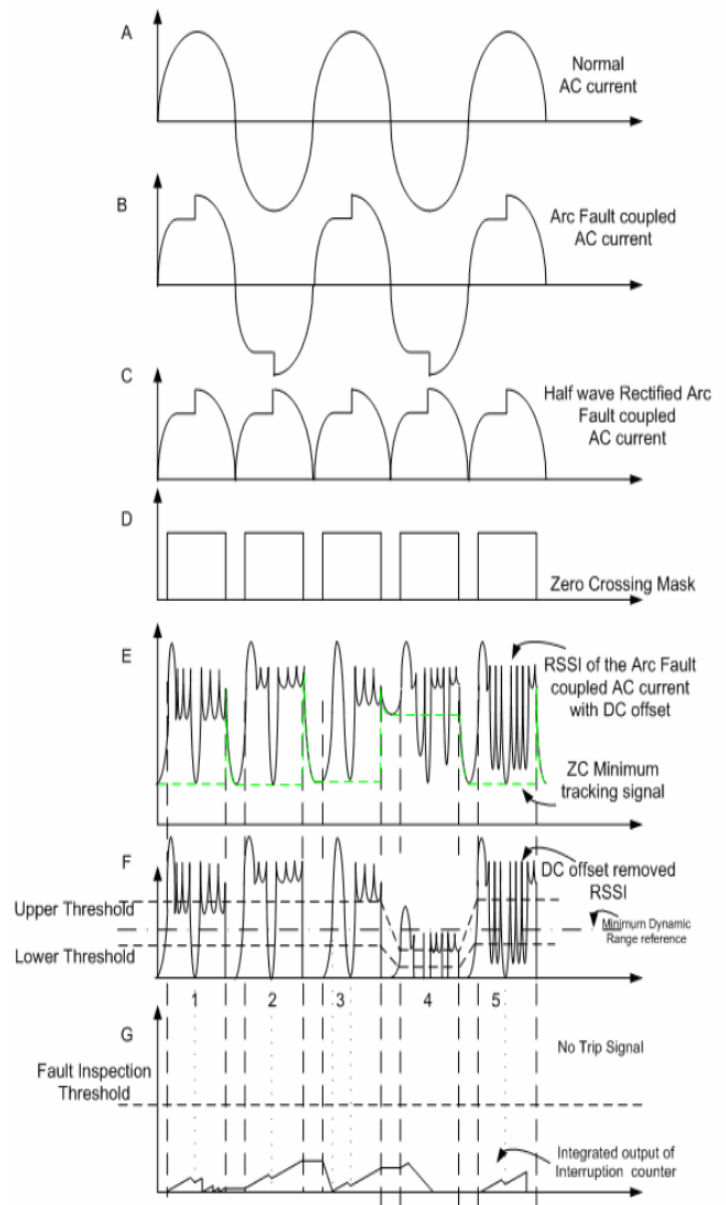


Рис. 2. Описание метода обнаружения помех УОДП

IV. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ДУГОВОГО ПРОБОЯ

Операция расчета, выполняемая микроконтроллером для определения параллельного дугового пробоя, требует относительно мало времени по сравнению с общим алгоритмом (20%), но это не связано с тем, что определение параллельных дуговых пробоев требует меньше усилий, чем в случае последовательных. Причина, скорее, заключается в том, что некоторые характеристики сигнала, которые рассчитываются для определения последовательных пробоев, могут быть использованы для

расчета параллельных дуговых пробоев. Алгоритм расчета параллельных дуговых пробоев включает определение не только $dRSSI/dt$, но и производной по току dI/dt . Функция определения параллельных дуговых пробоев не активируется до тех пор, пока значение dI/dt не превысит порогового значения $G6$ (рис. 3). Если при этом $RSSI$ будет больше предельного значения $G2$ (рис. 3), то полуволна тока будет также интерпретирована в качестве дугового тока, и интегратор пробоя сработает по значению, пропорциональному дуговому току. Если спустя некоторое время другой полуволны дуги не возникает, то интегратор пробоя снова отключается. Если в течение определенного временного периода возникает достаточное количество полуволн дуги, то интегратор пробоя достигает порогового значения $G8$ (рис. 3), и микроконтроллер отправляет команду на включение установленного защитного устройства [4].

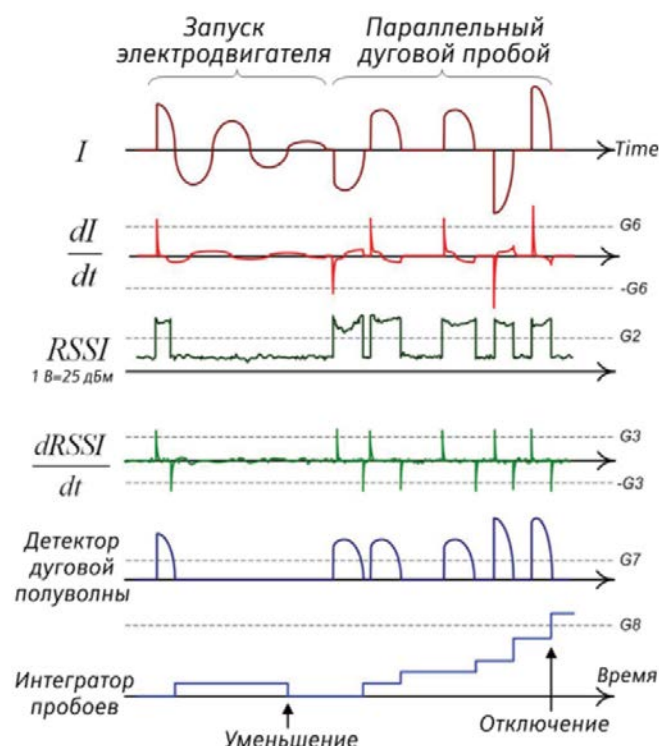


Рис. 3. Метод обнаружения параллельного дугового пробоя УОДП

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Королев И.В., Кондратьева О.Е., Валуев П.В., Локтионов О.А., "Анализ целесообразности применения устройств обнаружения дугового пробоя для комплексной защиты от пожаров, вызванных неисправностями электрооборудования", Электроэнергия. Передача и распределение, №47(2), Москва, 2018, p.108.
- [2] C. Restrepo, "Arc Fault Detection and Discrimination Methods," Siemens Energy and Automation Residential Product Division, Norcross, 2007, pp. 3-8.
- [3] D. Bailey, E Wright, "Practical Fiber Optics", Newnes, 2003, pp.50-52.
- [4] ООО "Сименс", Сектор "Инфраструктуры и городов", "Устройство определения дугового пробоя 5SM6. Технологическое руководство", Siemens AG, 2012, pp.28-29.

Комплекс программных средств моделирования и верификации для разработки специализированных СБИС

М.Г. Кузин, И.В. Шевченко

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

Москва, Россия

KuzinMG@mpei.ru, ShevchenkoIV@mpei.ru

А.А. Малуй

ФГУП «НИИ «Квант»

Москва, Россия

Аннотация — В докладе представлена система моделирования цифровых вычислительных устройств, дополняющая библиотеку проектирования моделей системного уровня - SystemC

Ключевые слова — моделирование; верификация; СБИС; программное обеспечение

I. ВВЕДЕНИЕ

Задача создания специальных цифровых вычислителей на базе заказных сверхбольших интегральных схем (СБИС) является весьма трудоемкой и дорогостоящей. Типовой цикл разработки включает множество стадий (см. Рис. 1).

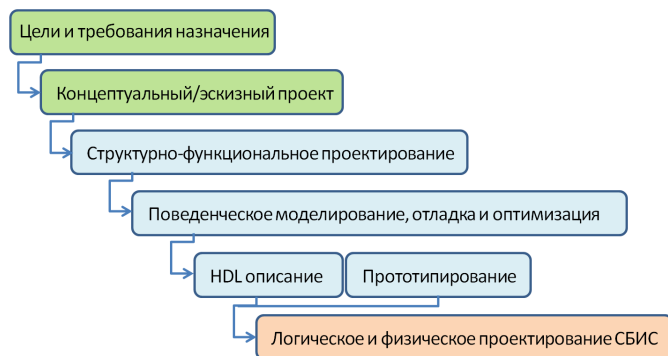


Рис. 1 Этапы проектирования СБИС

На первых этапах формулируются цели разработки и детализируются функции, выполняемые создаваемым устройством.

Затем прорабатываются концептуальные варианты организации устройства, выбираются технологии разработки. Эти этапы являются ключевыми для успешной реализации специальных вычислителей, однако они не требуют использования специального программного обеспечения.

Следующими этапами являются этапы разработки функциональной и структурной схемы устройства, поведенческого и потактового моделирования и оптимизации для достижения требуемых характеристик.

На этих этапах обычно стараются абстрагироваться от низкоуровневых деталей реализации для обеспечения скорости моделирования и полноты верификации.

На следующих этапах разрабатывается описание устройства на специализированных языках описания аппаратуры (HDL или RTL-описание) и производится прототипирование устройства с использованием программируемых логических интегральных схем (ПЛИС).

Наконец на заключительном этапе HDL-описание преобразуется в типовые компоненты для заданной технологии производства интегральных схем, которые размещаются на кристалле заданной площади и конфигурации и передаются на производство в виде файлов формата GDSII. Все эти этапы разработки требуют привлечения высококвалифицированных кадров и использования сложного специализированного программного обеспечения.

В настоящий момент существует несколько ключевых разработчиков такого программного обеспечения (в основном в США и Европе), поставляющих отдельные компоненты или целые пакеты средств разработки по весьма значительным ценам. И если на финальных стадиях логического и топологического проектирования СБИС отказаться от использования специализированного коммерческого ПО невозможно, то для начальных этапов разработки, таких как функциональное и потактовое моделирование существует ряд разрозненных свободно доступных средств.

Наибольшее распространение из таких средств получила библиотека создания моделей SystemC[1] распространяемая под свободной лицензией компанией Accellera. Данная библиотека, являющаяся надстройкой над стандартным языком Си++, позволяет описывать структуру вычислителя в виде классов-модулей с определенными портами ввода/вывода, соединенными сигнальными интерфейсами. Также в состав библиотеки входит среда моделирования, позволяющая скомпилировать модель в отдельное приложение и выполнить ее на обычном персональном компьютере. Библиотека позволяет получить результаты выполнения

моделирования в файле в формате value change dump (VCD)[2].

В то же время, данная библиотека не предлагает удобной единообразной среды моделирования. Ввод исходных данных в модель требует написания отдельного программного кода для каждого тестового набора данных, а отладка модели в основном предполагает использование стандартных отладчиков Си++ приложений. Кроме того, в составе библиотеки SystemC отсутствуют удобные средства визуализации результатов моделирования, которые позволили бы связать получаемый в результате моделирования VCD файл с функциональной схемой моделируемого устройства.

Для упрощений и унификации процесса моделирования нами был разработан software development kit (SDK) для библиотеки SystemC, а также визуализатор результатов моделирования flgraph.

II. SDK для SYSTEMC

Для моделирования устройств был разработан SDK на языке C++, дополняющий библиотеку SystemC. SDK состоит из библиотеки вспомогательных классов, упрощающих моделирование, отдельной программы для верификации модели и собственного языка выражений с JIT компилятором. Структурная схема SDK приведена на Рис. 2.



Рис. 2 Структурная схема SDK

Основными компонентами, контролирующими процесс моделирования, являются классы сценария и терминатора.

Сценарий запускает потактовое моделирование схемы и изменяет значения указанным сигналам в определенные такты. Для этого на вход сценария подается текстовый файл, в котором записаны значения сигналов. Каждая запись в этом файле имеет следующую структуру: <такт> <имя сигнала> <значение>, где значение это число с разрядностью не больше 64 бит, записанное в 10-чной или 16-чной системе счисления. Кроме того, в начале файла указывается максимальное количество тактов, в течение которых будет производиться моделирование.

Для запуска моделирования схемы сценарий вычисляет количество тактов между двумя последовательными записями в текстовом файле, после чего вычисляет время, учитывая указанное пользователем время полутака, в течение которых схема должна работать, далее запускает схему на полученное время. Моделирование продолжается до тех пор, пока не выполнится максимальное количество тактов указанное в начале текстового файла или не сработает терминатор. Сценарий можно использовать для изменения внешних сигналов для взаимодействия с моделью и внутренних сигналов модели для отладки. Важно отметить, что при изменении сценария нет необходимости перекомпилировать модель вычислителя. Пример файла сценария приведен на следующем рисунке.

```
1505
1 start 0
1 din 0
1 com_reg 0
14 start 1
14 din 0
14 com_reg 1
15 start 0
15 din 0
15 com_reg 0
17 start 0
17 din 0x6161616161616160
```

Рис. 3 Пример файла сценария

SDK имеет возможность прерывать моделирование по заданным условиям, за это отвечает класс терминатор. Терминатор - это блок (модуль SystemC), автоматически встраиваемый в схему моделирования, проверяющий на каждом такте значения сигналов по специальным условиям остановки, которые записываются в отдельном текстовом файле с помощью собственного языка выражений, включающего в себя функции, побитовые операторы: >, >=, <, <=, ==, !=, |, &, взятие отдельного бита или некоторого диапазона битов сигнала с помощью оператора «[]». Файл состоит из функций, которые объявляются ключевым словом «def». Функция имеет список аргументов с именами сигналов. Внутри функции описывается логическое выражение, результат которого анализируется в дополнительном блоке схемы - «терминаторе». Если функция вернет значение «true», то моделирование останавливается и выводится соответствующее сообщение. Каждая функция из файла компилируется внутренним JIT-компилятором, реализованном на базе LLVM[3], в машинный код, что существенно ускоряет их выполнение. Терминатор вызывает скомпилированные функции, подставляя в них значения сигналов на каждом такте. Пример файла терминатора приведен на следующем рисунке.

```
def func1( dout )
( dout [ 0 .. 3 ] = 0xA & 0x3 )
def func2( stat )
stat[ 0 .. 15 ] == 0xB230
def func3( hash_0 hash_1 hash_2 hash_3 hash_4 )
( hash_0 == 0x80 ) & ( hash_1 == 0x95 ) &
( hash_2 == 0x41 ) & ( hash_3 == 0x3C ) &
( hash_4 == 0xFF )
```

Рис. 4 Пример файла терминатора

При моделировании схемы, значения сигналов, указанных пользователем, добавляются в файл формата VCD. Просмотр этого файла можно осуществлять в виде временных диаграмм с помощью свободной программы GTKWave (лицензия GPL и MIT), а также с помощью специальной программы-визуализатора flgraph.

Верификатор — реализован в виде отдельной программы, входящей в состав SDK. Он предназначен для автоматизированного тестирования и верификации модели. Для этого создан упрощенный язык верификации, с помощью которого создаются примитивные синтаксические конструкции в текстовом файле, который затем подается на вход программе-верификатору. Тестовый файл верификации состоит из блоков UNIT, описывающих группу тестовых сценариев. Каждый такой блок делится на конструкции TEST и TESTWAY.

Конструкция TEST состоит из списка логических условий, которые проверяют значения сигналов в определенные такты или в некотором диапазоне тактов, при этом взаимный порядок выполнения условий не важен.

Конструкция TESTWAY состоит из списка условий, которые должны выполняться строго в заданном порядке. Каждое условие состоит из обозначения номера такта или диапазона тактов, модификатора выполнения, логического условия и количества тактов через которое должно проверяться следующее условие. Обозначение номера такта имеет следующий синтаксис: [начало диапазона .. конец диапазона]. Если номер такта начала диапазона пропущен, то условие проверяется с 0 такта. Если номер такта конца диапазона пропущен, то условие проверяется до последнего такта. Конструкция пропуска тактов выглядит следующим образом: [steps num], где num - количество тактов для пропуска. Модификаторы выполнения есть двух типов: выполнение условия хотя бы один раз за весь диапазон (символ @) и выполнение условия на каждом такте за весь диапазон (символ #).

Пример тестового файла верификатора приведен на следующем рисунке.

```
UNIT( myunit )
{
  TEST( test1 )
  {
    [ 40 ] @ ( sig1 == 50 & sig2 > 0x03 )
    [ 56 ] @ ( sig5[ 1..5 ] <= 0x001F )
    [ 1.. ] # ( sig10 == 123 | sig10 == 124 )
  }
  TESTWAY( test2 )
  {
    [ .. ] @ ( sig1 == 0 ) [ steps 50 ]
    [ .. ] @ ( sig2 == 1 )
    [ .. ] @ ( sig3 > 0x6F )
  }
}
```

Рис. 5 Пример тестового файла верификатора

Поскольку процесс всесторонней верификации модели сложного устройства предполагает использование большого числа тестов и сложных тестовых условий,

вычисление логических условий также ускорено с помощью JIT-компиляции на базе компилятора LLVM.

Применение разработанной SDK не требует больших усилий. Для использования SDK, необходимо создать класс модели, наследуемый от абстрактного класса «Imodel», и реализовать методы: «registerSignals», «createTraceFile» и «initialize». В «registerSignals» регистрируются сигналы, которые будут использоваться в сценарии. В «createTraceFile» регистрируются сигналы, которые будут выводиться в trace файл. В «initialize» создаются связи между блоками модели.

После этого необходимо создать объект шаблонного класса «Modeler», специализированный созданным классом модели и вызвать у этого объекта метод «run».

При запуске программы моделирования нужно с помощью опции «--input» указать файл сценария, с помощью опции «--output» указать выходной файл vcd, с помощью опции «--test» указать файл с условиями остановки.

Для использования верификатора необходимо на входе программы указать с помощью опции --vcd trace-файл и с помощью опции --test текстовый файл с описанием конструкций написанных на специальном верификационном языке. В процессе работы верификатор выдает информацию о каждом нарушении тестовых правил с указанием конкретного такта и значений сигналов, входящих в условие.

III. ВИЗУАЛИЗАТОР FLGRAPH

Визуализатор flgraph – утилита, предназначенная для отображения результатов работы вычислительного устройства на основе схемы самого устройства. Внешний вид окна визуализатора приведен на Рис. 6.

Программа загружает файл VCD, полученный в процессе моделирования вычислительного устройства, и отображает все изменения в любой момент времени, подсвечивая элементы на схеме устройства. Благодаря этому, становится намного проще следить за тем, в какой момент времени какие части устройства работают.

Функция поиска позволяет легко найти, когда заданной переменной было присвоено конкретное значение (или когда оно менялось вообще), а список наблюдения даёт возможность следить за изменениями множества переменных сразу.

Можно также запустить автоматическое воспроизведение изменений, чтобы программа сама проходила по тактам работы устройства и отображала, таким образом, анимированную схему. Если неудобно смотреть все изменения по одному такту, то можно указать диапазон наблюдения, что позволяет следить за изменениями переменных в течение больших интервалов времени.

В программе также реализован блок сбора статистики, который позволяет определить, как часто изменялось значение определенных сигналов в процессе моделирования.

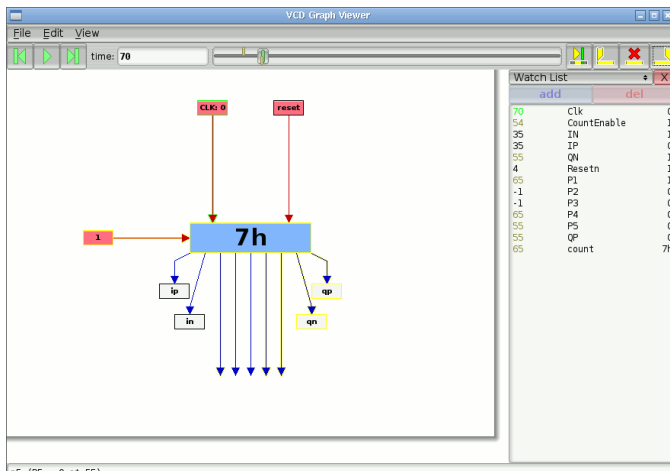


Рис. 6 Окно визуализатора flgraph

Для отображения схемы программа может загружать схемы как в виде графа формата .dot (GraphViz), так и в собственном формате OVR, который легко редактировать как в текстовом редакторе, так и в самой программе. В режиме редактирования можно как добавлять новые элементы схемы, так и модифицировать или удалять существующие. При необходимости можно создать схему с нуля.

Программа позволяет загрузить фоновое изображение в любом из популярных форматов (BMP, JPEG, GIF, PNG). Таким образом, можно дополнительно декорировать отображаемую в программе схему. Также в самой программе доступно множество настроек, позволяющих более точно указать, как должны отображаться разные элементы схемы.

Программа умеет работать с файлами VCD любых размеров. Слишком большие файлы в процессе считывания разбиваются на фрагменты, которые загружаются только тогда, когда они необходимы. Благодаря этому, программа не перегружает память компьютера даже при работе с многогигабайтными результатами моделирования.

Визуализатор flgraph позволяет запустить внешнее приложение и захватить его вывод в специальное окно. Это позволяет интегрировать его с верификатором. Визуализатор запускает верификатор, захватывает список ошибок верификации, и при клике на сообщении об ошибке верификации происходит автоматический переход к такту моделирования, на котором эта ошибка была обнаружена.

Программа flgraph написана на языке C++ с использованием кроссплатформенной библиотеки FLTK[4] и доступна на ОС Windows, Mac OS X и Linux.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный комплекс программных средств моделирования и верификации для разработки специализированных СБИС успешно применен во ФГУП «НИИ «Квант» в процессе разработки различных вычислительных устройств на СБИС.

Проведенные эксперименты по моделированию сложных, в том числе программируемых, вычислительных устройств показали, что скорость потактового моделирования с использованием разработанной библиотеки в 10 - 30 раз выше, чем при моделировании HDL-описаний в среде ModelSim.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] IEEE:1666-2011 - IEEE Standard for Standard SystemC Language Reference Manual. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6134619/> (дата: 05.05.2018)
- [2] IEEE:1364-2001 - IEEE Standard Verilog Hardware Description Language. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/954909/> (дата: 05.05.2018)
- [3] The LLVM Compiler Infrastructure. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://llvm.org/> (дата: 05.05.2018)
- [4] FLTK: Fast Light Toolkit [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.fltk.org/> (дата: 05.05.2018)

Применение пакета MatLab для анализа поверхности твердого тела методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии

А.В. Лубенченко¹, О.И. Лубенченко²,
Д.А. Иванов¹, И.В. Иванова¹

¹Кафедра общей физики и ядерного синтеза,

²Кафедра физики им. В.А. Фабриканта,
НИУ «МЭИ»,
г. Москва, РФ

Аннотация — В работе показана эффективность использования пакета MatLab для решения задач анализа твердого тела методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). Язык программирования высокого уровня, быстрые матричные библиотеки MatLab, Signal Processing Toolbox и Curve Fitting Toolbox позволили при решении задачи РФЭС использовать более сложные, физически обоснованные модели для химического, фазового анализа твердого тела и расчета толщин приповерхностных слоев с субмонослойной точностью. Данный подход активно используется при выполнении учебно-научных исследовательских работ студентов.

Ключевые слова — РФЭС, MatLab, фон РФЭС, послойный химический и фазовый анализ, учебно-научная исследовательская работа студентов

I. ВВЕДЕНИЕ

Одним из неразрушающих методов анализа поверхности твердого тела является рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). С помощью РФЭС проводят химический и фазовый анализ, находят относительные атомные концентрации элементов, определяют толщины слоев тонких пленок на поверхности твердого тела.

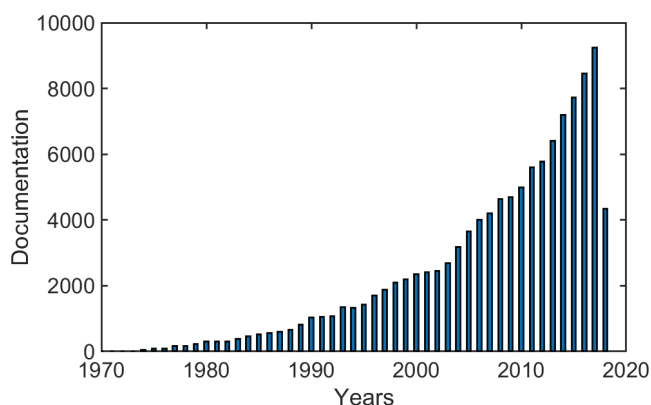


Рис. 1. Количество документов РФЭС по годам

На рис. 1 показана динамика изменения по годам количества статей, в которых используется метод РФЭС, по данным международной реферативной базы данных «Скопус» (Scopus). Это указывает на то, что востребованность метода РФЭС при проведении исследований поверхности твердого тела очень высока. При возрастающем количестве различных исследований возникает потребность в быстрых, автоматизированных расчетных программах, реализующих методы анализа твердого тела с помощью РФЭС. Кроме того, необходимо, чтобы алгоритмы этих программ были бы достаточно гибкими и могли «на ходу» подстраиваться под различные модели расчета. Пакет MatLab предоставляет все необходимые средства для создания таких программ.

Для определения послойного химического и фазового состава поверхности необходимо решить следующие задачи: 1) определить элементный состав поверхности твердого тела; 2) провести вычитание фона многократно неупруго рассеянных фотоэлектронов, 2) разложить линии на составляющие пики (найти интенсивности и положение пиков), 3) определить толщины слоев многослойной мишени. Вторая и третья задачи взаимосвязаны. Неизвестные параметры, от которых зависит расчет фона и пиков упруго рассеянных фотоэлектронов, должны быть определены совместно.

В работе для решения основных задач РФЭС используется пакет MatLab.

Рассматриваемые методы анализа поверхности твердого тела, реализованные с помощью MatLab, активно используются при выполнении учебно-научных исследовательских работ студентов, курсовых и выпускных квалификационных работ бакалавров и магистерских диссертаций. По данной тематике за последние 3 года защищены пять бакалаврских и семь магистерских работ. Ежегодно в научной группе работает 6-7 студентов.

II. ЭКСПЕРИМЕНТ

В работе рентгеновские фотоэлектронные спектры снимались с помощью модуля электронно-ионной спектроскопии на базе платформы Нанофаб 25 (НТ-МДТ). В

аналитической камере достигался сверхвысокий безмасляный вакуум порядка 10^{-8} Па. Спектры снимались электростатическим полусферическим энергоанализатором SPECS Phoibos 225. Калибровка энергоанализатора выполнялась с использованием образцов из Cu, Ag и Au. Энергетическое разрешение спектрометра по линии Ag $3d_{5/2}$ составляло 0.78 эВ для немонохроматического рентгеновского излучения Mg K_{α} . Все спектры были сняты с использованием Mg анода, при этом энергоанализатор работал в режиме FAT (Fixed Analyzer Transmission). Для обзорных спектров была установлена энергия замедления в линзе энергоанализатора $E_{\text{pass}} = 80$ эВ, для детальных — $E_{\text{pass}} = 20$ эВ.

Студенты активно участвуют в выполнении экспериментов, приобретая навыки работы на современном аналитическом оборудовании.

III. ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ

Цель элементного анализа – определение по пикам рентгеновского фотоэлектронного спектра химических элементов в твердом теле, от которого был снят спектр. Каждый элемент дает свой уникальный набор пиков. Расположение пиков в спектре зависит того с какой электронной оболочки электрон, формирующий данный пик, вылетит из атома и благодаря какому процессу он появился (фотоэлектронная или оже-эмиссия). Расположение фотоэлектронных пиков зависит от энергии рентгеновских фотонов. Пики могут быть смещены в пределах нескольких электрон-вольт за счет химического сдвига, зарядки мишени, неправильной тарировки энергоанализатора. Кроме пиков упруго рассеянных фотоэлектронов, в спектре есть пики, формирующиеся многократно неупруго рассеянными электронами, и пики, связанные с не монохромностью рентгеновского источника. Такие пики называют спутными. Все это значительно затрудняет идентификацию пиков и может привести к ошибкам.

Существующие программы обработки рентгеновских фотоэлектронных спектров, например, CasaXPS [1], имеют возможность автоматического определения элементного состава. Однако, использование автоматического определения в этих программах зачастую приводит либо к пропуску элементов, либо к нахождению явно несуществующих элементов. Особенно это становится очевидным если известна предыстория образцов (как и где были созданы и каким образом хранились эти образцы). Так как такие программы не имеют открытого кода, то нет возможности улучшить алгоритмы поиска и определения пиков РФЭС. Использование пакета Matlab с его богатыми библиотеками позволяет создать и реализовать более эффективные алгоритмы идентификации пиков РФЭС.

В работе автоматическую идентификацию пиков мы предлагаем проводить в два этапа. На первом этапе проводится поиск максимумов в спектре. Наилучший результат для определения положений пиков в спектре дает применение функции *findpeaks* (функция входит в Signal Processing Toolbox) с параметром 'MinPeakProminence' на уровне 1,5% от максимального значения в спектре. На втором этапе проводится поиск соответствия пиков по базам данных для различных элементов. В качестве критерия идентификации элемента выбрано попадание каких-

нибудь найденных максимумов спектра по энергии E в максимально возможное для каждого элемента интервалов по энергии $[E_{\text{min}}, E_{\text{max}}]$. Идентификация элемента и определение соответствующих пиков происходит при 90%-ном попадании в эти интервалы. Перед началом поиска для каждого элемента таблицы Менделеева формируется вектор E_{Base} энергий фотоэлектронных пиков и оже-пиков из базы данных "Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy" [2]. Далее выбирается средняя величина максимального химического сдвига ΔE_{cs} (в работе используется $\Delta E_{\text{cs}} = 5,2$ эВ). Для элементов, имеющих преимущественно положительную степень окисления, максимальные энергии в соответствующем интервале принимаются равными $E_{\text{max}} = E_{\text{Base}} + 3W$ (здесь W – энергетическое разрешение энергоанализатора), а минимальные энергии соответственно равны $E_{\text{min}} = E_{\text{Base}} - 3W - \Delta E_{\text{cs}}$. Если пик имеет дублетную структуру, то интервал уменьшается на соответствующую энергию спин-орбитального взаимодействия ΔE_{so} . Для элементов, имеющих преимущественно отрицательную степень окисления (например, O, N, F), $E_{\text{max}} = E_{\text{Base}} + 3W + \Delta E_{\text{cs}}$, $E_{\text{min}} = E_{\text{Base}} - 3W$.

Так как массив энергий максимумов в спектре E и массивы E_{min} и E_{max} имеют разные длины, то для проверки попадания в интервал $E_{\text{min}} \leq E \leq E_{\text{max}}$ мы предлагаем использовать MatLab-функцию *bsxfun* с соответствующими параметрами *@le* и *@ge*. Применение этой функции позволяет уменьшить время поиска по всем элементам до доли секунды.

На рис. 2 представлен пример элементного анализа пленки Nb на кремниевой подложке [3]. Сплошной линией дан обзорный спектр. Были обнаружены элементы: C, O, Nb. После операции вычитания фона определены относительные атомные концентрации: C – 22,1%; O – 46,4%; Nb – 31,5%.

Данный подход применяется в лабораторной работе «Определение относительной атомной концентрации элементов методом РФЭС» по курсу «Исследование поверхности в условиях вакуума и низких температур». Магистрантам предлагается по неизвестным спектрам провести элементный анализ, используя созданную ими самими программу в среде MatLab.

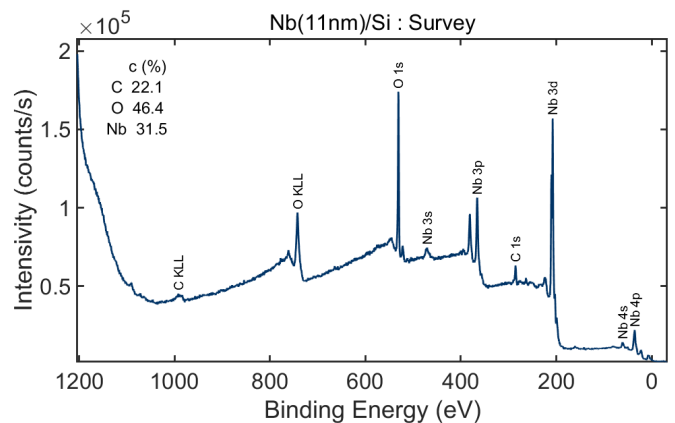


Рис. 2. Обзорный РФЭС спектр от пленки Nb на кремниевой подложке

IV. ВЫЧИТАНИЕ ФОНА

Для определения фона в интервале энергии от E_{\min} до E_{\max} , который учитывает неупругое рассеяние как в объёме, так и на поверхности, будем использовать подход, описанный в [4]:

$$\text{Background}(E) = A \int_E^{E_{\max}} F(E') x_{\text{SB}}(E - E') dE', \quad (1)$$

где $F(E)$ — экспериментально измеренный поток фотоэлектронов с энергией E , величина A вычисляется после определения значения фона при энергии E_{\min} , $x_{\text{SB}}(\Delta)$ — ортонормированное на единицу дифференциальное сечение неупругого рассеяния, которое в дальнейшем будем называть неупругой индикатрисой, Δ — потеря энергии. Функция $x_{\text{SB}}(\Delta)$ зависит от неупругих индикатрис рассеяния фотоэлектронов в объёме $x_{\text{B}}(\Delta)$ и поверхности $x_{\text{S}}(\Delta)$ и от параметра SEP (SEP – surface excitation parameter):

$$x_{\text{SB}}(\Delta) = x_{\text{B}}(\Delta) - \int_0^{\Delta} L_{\text{S}}(\Delta - \varepsilon) x_{\text{B}}(\varepsilon) d\varepsilon + L_{\text{S}}(\Delta), \quad (2)$$

где функция $L_{\text{S}}(\Delta)$ рассчитывается по формуле

$$L_{\text{S}}(\Delta) \approx \sum_{n=1}^N (-1)^{n+1} \frac{SEP^n}{n!} y_n(\Delta), \quad (3)$$

N — максимально учитываемая кратность неупругого рассеяния, $y_n(\Delta)$ — кратные неупругие индикатрисы, $y_1(\Delta) = x_{\text{S}}(\Delta)$, $y_n(\Delta) = \int_0^{\Delta} y_{n-1}(\Delta - \varepsilon) y_1(\varepsilon) d\varepsilon$. Если в формуле (2) не учитывать поверхностные потери энергии ($SEP = 0$), то получим формулу Тоугорда [5] для определения фона. Формулы для расчета SEP приведены в [6]. Параметр SEP зависит от энергии фотоэлектрона, состава и состоянии поверхности.

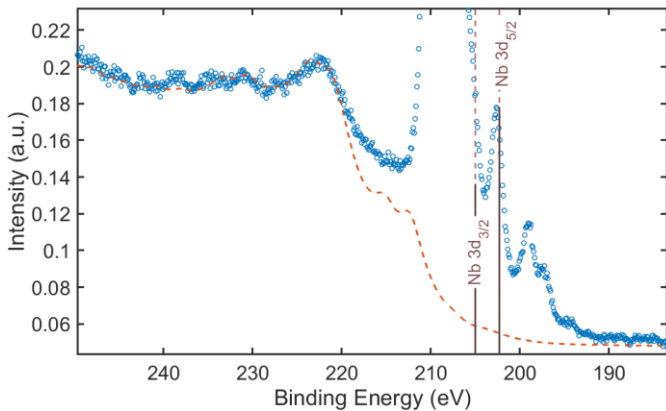


Рис. 3. Детальный РФЭС спектр линии Nb 3d от пленки Nb на кремниевой подложке

Для численного интегрирования по формулам (1) – (3) будем использовать метод дискретных ординат (ДО). В основе этого метода лежит применение квадратурной формулы с соответствующими узлами ξ_i и весами s_i . Введем сетку по энергии $E_i = E_{\min} + \xi_i$ и потери энергии $\Delta_j = \xi_j$. Используя метод ДО, заменим интегралы на квадратурные суммы. Например, формула (1) после замены будет иметь вид:

$$\text{Background}_i = A \sum_{j=1}^i F_j s_j x_{\text{SB } i-j+1}. \quad (4)$$

Введем операцию создания матрицы Тёплица следующего вида:

$$\text{Toeplitz}(a_i) = \begin{pmatrix} a_1 & 0 & \cdots & 0 \\ a_2 & a_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_N & a_{N-1} & \cdots & a_1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Тогда формулы (1) – (3) можно записать в матричном виде

$$\begin{aligned} \mathbf{Background} &= A \mathbf{x}_{\text{SB}} \mathbf{S} \mathbf{F}, \quad \mathbf{x}_{\text{SB}} = \mathbf{x}_{\text{B}} - \mathbf{L}_{\text{S}} \mathbf{S} \mathbf{x}_{\text{B}} + \mathbf{L}_{\text{S}}, \\ \mathbf{L}_{\text{S}} &\approx \sum_{n=1}^N (-1)^{n+1} \frac{SEP^n}{n!} \mathbf{y}_n, \\ \mathbf{y}_n &= \mathbf{y}_{n-1} \mathbf{S} \mathbf{y}_1 = \dots = (\mathbf{x}_{\text{S}} \mathbf{S})^n. \end{aligned} \quad (6)$$

где $\mathbf{x}_{\text{B}} = \text{Toeplitz}(x_{\text{B } i})$, $\mathbf{x}_{\text{S}} = \text{Toeplitz}(x_{\text{S } i})$, \mathbf{S} диагональная матрица из элементов s_i , вектор столбец $\mathbf{F} = (F_i)$.

В работе матричные вычисления (6) реализованы в системе MatLab. Расчет фона в интервале энергий 100 эВ с шагом 0,05 эВ занимает доли секунды.

На рис. 3 представлен пунктиром расчет фона по формулам (6) для тонкой пленки ниобия на кремниевой подложке, кружками дан экспериментальный детальный спектр линии Nb 3d.

Описанному методу вычитания фона была посвящена магистерская диссертация по теме «Учёт многократного неупругого рассеяния фотоэлектронов при исследовании тонких плёнок методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии», защищённая на кафедре ОФиЯС НИУ «МЭИ» в 2016 г.

V. РАЗЛОЖЕНИЕ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЛИНИИ

Для фазового и послыйного анализа поверхности твердого тела методом РФЭС необходимо разложить спектральные линии на составляющие парциальные пики. Структура спектральной линии, как правило, сложная. Различные парциальные пики могут формироваться за счет: спин-орбитального взаимодействия, химического сдвига, не монохромности рентгеновской пушки, многократного

неупруго рассеяния фотоэлектронов. Расстояние между этими пиками зачастую порядка или меньше средней полуширины пиков. Для спектральных линий, сформированными такими парциальными пиками, при разложении не выполняется критерий Рэлея. Разложение сложных спектральных линий РФЭС на составляющие возможно, если мы будем заранее знать форму (профиль) пиков, и как можно большее число параметров, влияющих на форму и положение пиков. Перечислим основные параметры пиков, влияющие на их положение: BE — энергия связи, ΔE_{SO} — энергия спин-орбитального взаимодействия, ΔE_{CS} — энергия химического сдвига; на ширину: γ — естественная ширина электронного уровня, W_{lv} — ширина линии рентгеновского излучения и W_{sp} — приборное уширение энергоанализатора; и асимметрию: α_{DS} — степень асимметрии.

Для расшифровки фотоэлектронных спектральных линий в работе использована следующая модель [4]:

1) Профиль $LS(E)$ каждого парциального пика фотоэлектронов с кинетической энергией E определяется свёрткой функций, описывающих естественную форму линии и приборное уширение. Естественную форму линии будем описывать выражением Доньях-Сунжича [7] $D(E, \gamma, \alpha_{DS})$ (при $\alpha_{DS} = 0$ выражение Доньях-Сунжича переходит в функцию Лоренца), а функцию приборного уширения $G(E, W)$ — функцией Гаусса ($W = \sqrt{W_{sp}^2 + W_{lv}^2}$ — приборное уширение).

2) Для учёта немонохромности рентгеновской пушки каждый пик описывается формулой

$$LS_1(E) = LS(E) + \sum_{k=1}^K I_{\text{satellite } k} LS(E + \Delta E_{\text{satellite } k}), \quad (7)$$

где $I_{\text{satellite } k}$ и $\Delta E_{\text{satellite } k}$ — относительные интенсивности и сдвиги по энергии сателлитов, эти параметры зависят от материала анода рентгеновской пушки.

3) Профиль спин-орбитальных дублетов задаётся формулой

$$LS_2(E) = (LS_1(E) + \alpha LS_1(E - \Delta E_{SO})) / (1 + \alpha), \quad (8)$$

где α — отношения интенсивностей линий спин-орбитального расщепления фотоэлектронного уровня (для p-оболочки $\alpha = 1/2$, d-оболочки $\alpha = 2/3$).

4) Анализируемая спектральная линия может состоять из пиков (дублетов) химически не связанного элемента и пиков элементов, находящихся в различных химически связанных состояниях. В этом случае профиль сложной спектральной линии будем описывать формулой

$$LS_{\Sigma}(E) = I_0 LS_2(E) + \sum_{j=1}^N I_j LS_2(E - \Delta E_{CSj}), \quad (9)$$

где N — количество химических связанных состояний элемента, I_j — интенсивность связанной группы пиков.

Для точного разложения сложной линии необходимо знание основных параметров пиков. Если они будут определены, то число варьируемых параметров сводится к минимуму и интенсивности связанной группы пиков можно найти с помощью фитинг-алгоритмов, например, алгоритма Левенберг-Маркардта. Этот алгоритм реализован в функции *fit* (функция входит в Curve Fitting Toolbox).

Параметры γ , BE , ΔE_{SO} находятся для каждого элемента из базы данных Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy [2]. Приборное уширение энергоанализатора W_{sp} зависит от режима работы энергоанализатора. Ширина линии рентгеновского излучения W_{lv} , параметры $I_{\text{satellite } k}$ и $\Delta E_{\text{satellite } k}$ зависят от анода и состоянии рентгеновской пушки. Эти величины в работе определены из тарировочных экспериментов на серебряной и золотой мишенях. Все детальные спектры были сняты при одних и тех же настройках, поэтому для всех расчётов были использованы одни и те же значения: $W_{lv} = 0,68$ эВ (Mg анод), $W_{sp} = 0,60$ эВ ($E_{\text{pass}} = 20$ эВ). Величина химического сдвига ΔE_{CS} зависит от степени окисления элемента z . С хорошей точностью она прямо пропорциональна степени окисления [8]:

$$\Delta E_{CS} = E_{CS1} z, \quad (10)$$

где E_{CS1} — энергия химического сдвига на одну степень окисления. Величина E_{CS1} зачастую неизвестна и может находиться с помощью подбора. Для пентаоксида ниобия мы использовали значение $\Delta E_{CS \text{ Nb}_2\text{O}_5} = 5.3$ эВ (степень окисления $z_{\text{Nb}_2\text{O}_5} = 5$). Степень асимметрии α_{DS} зависит от материала и состоянии поверхности. Величина α_{DS} также может быть подбираемым параметром.

В работе расчет по формулам (7) – (10) проводится в системе MatLab с помощью функции *fit* из Curve Fitting Toolbox.

На рис. 4 показан детальный РФЭС-спектр линии Nb 3d от Nb пленки на кремниевой подложке. Точками дан эксперимент; пунктиром — фон, рассчитанный по (6); пунктиром с точками — группы связанных пиков $LS_2(E)$ для каждого химически связанного состояния Nb, сплошной линией — рассчитанная по (9) спектральная линия. При расчете были рассмотрены все возможные степени окисления Nb (максимальная степень окисления ниобия $z_{\text{max}} = 5$). В каждой группе $LS_2(E)$ была учтена дублетная структура линии Nb 3d. С учетом сателлитных пиков (7) количество парциальных пиков в группе было равно 10. Соответственно, для описания линии было задействовано 60 взаимосвязанных парциальных пиков $LS(E)$. Причем число варьируемых параметров было только семь. Это интенсивности связанных шести групп пиков (Nb, Nb₂O, NbO, Nb₂O₃, NbO₂, Nb₂O₅) и степень асимметрии α_{DS} . Необходимо отметить, что решение подобной задачи с помощью популярной программы обработки рентгеновских фотоэлектронных спектров CasaXPS [1] не представляется возможным. Это связано с тем, что в программе CasaXPS не заложена физическая модель формирования спектральной линии РФЭС.

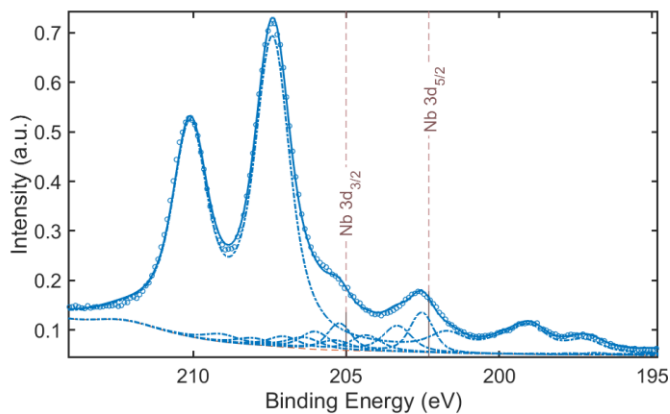


Рис. 4. Детальный РФЭС спектр линии Nb 3d от пленки Nb на кремниевой подложке

VI. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СЛОЁВ

Реальная приповерхностная область твердого тела может состоять из нескольких слоев. В работе [4] приведена простая формула для расчёта толщин многослойной мишени:

$$d_i = \lambda_i \cos \theta \ln \left(\frac{I_i / (n_i \omega_i (\beta) \lambda_i)}{\sum_{j=0}^{i-1} I_j / (n_j \omega_j (\beta) \lambda_j)} + 1 \right), \quad (11)$$

где d_i — толщина i -го слоя, n — атомная концентрация, ω — дифференциальное сечение рождения фотоэлектрона, β — угол между направлением падающего излучения и направлением на энергоанализатор, λ — средняя длина свободного неупругого пробега (IMFP) (IMFP рассчитывалась по формуле TPP2M [9]), θ — угол между направлением на энергоанализатор и нормали к поверхности, I_i — интенсивность i -ой связанной группы пиков. Нумерацию слоёв будем вести от подложки снизу вверх. Цифрой 0 обозначим подложку. В случае двухслойной мишени формула (11) соответствует формуле из работы [10].

Для расчета по формуле (11) необходимо определить модель мишени. Эта модель должна учитывать историю создания и последующей «жизни» мишени. В основе модели мишени мы закладываем следующие положения:

- Мишень состоит из нескольких плоских слоев на подложке. Каждый слой однородный и может быть многокомпонентным. Такое положение оправдано, так как в РФЭС съем сигнала идет с площади, характерные размеры которой на порядок больше, чем глубина зондирования. Эта площадь зависит от фокусировки и угла визирования энергоанализатора, и она порядка $0,1 \text{ мм}^2$. Глубина зондирования порядка 10 нм. Таким образом сигнал будет усредненным по площади измерения.
- Неоднородности (островки, межслоевые шероховатости, включения и т.п.) усредняются по слою. Степень неоднородности будет характеризовать относительные концентрации той или иной фазы элементов.

- После выгрузки из камеры происходит окисление поверхности с образованием оксидных и субоксидных слоев. Так как окисление идет со стороны поверхности, то степень окисления уменьшается вглубь мишени. Кроме того, сверху слоев будет осаждаться углеводородный слой.

Для уменьшения неопределенности по количествам слоёв мы предлагаем ввести минимальную толщину однородного слоя равной среднему расстоянию между монослоями в твердом теле (0,5 нм). Расчет предлагаем начинать с максимально возможного количества слоев в предположении, что в каждом слое степень окисления одинаковая. Если при расчёте получается, что некоторый слой имеет толщину меньше минимальной, то этот слой соединяется с ближайшим слоем, в которых степень окисления основного элемента больше. Вновь образованный слой будет многокомпонентным. Этот слой можно трактовать как неоднородный слой, который был усреднен до однородного слоя с эффективной толщиной. Степень неоднородности можно оценить с помощью относительной концентрации основного элемента в этом слое. После этого идет перерасчет толщин слоев. Такой подход позволяет существенно снизить варианты расчетов, а сами варианты трактовать как профили, рассчитанные с различной детализацией по глубине.

В табл. 1 приведён результат расчета толщин приповерхностной области ниобиевой пленки на кремниевой подложке по формуле (11). Интенсивности связанных группы пиков были использованы из результатов разложения спектральной линии Nb 3d (см. раздел V). Глубина зондирования методом РФЭС — порядка 10 нм. Следовательно, толщина ниобиевой пленки больше 10 нм, поэтому при исследовании этой пленки не удаётся «добраться» до кремниевой подложки. С помощью описанного метода можно детально рассмотреть приповерхностную область с субмонослойной точностью. Все расчеты были проведены с помощью программы созданной на языке программирования MatLab.

Данные исследования были проведены совместно со студентами. Результаты изложены в магистерских диссертациях по темам «Исследование нанометровых окисленных пленок ниобия и нитрида ниобия методом РФЭС» и «Послойный анализ ультратонких нитридных пленок методом РФЭС с угловым разрешением», защищённых на кафедре НТ НИУ «МЭИ» в 2018 г.

Таблица 1. Толщины слоев приповерхностной области ниобиевой пленки

Слой	d (нм)	Формула
Σ	7,6	
4	0,5	углеводороды
3	4,2	Nb_2O_5
2	0,5	NbO_2
1	0,5	$0.23 \text{ Nb}_2\text{O}_3 + 0.49 \text{ NbO} + 0.27 \text{ Nb}_2\text{O}$
		Nb

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе для решения основных задач РФЭС было использован пакет MatLab и его расширения. Язык программирования высокого уровня, эффективные и быстрые библиотеки и расширения пакета MatLab позволили для решения задачи РФЭС использовать более сложные, физически обоснованные модели расчета: спектральных линий РФЭС, фона и толщин приповерхностных слоев с субмонослойной точностью. В работе продемонстрированы возможности программы обработки рентгеновских фотоэлектронных спектров, созданной на основе MatLab, по расшифровке спектров и расчету слоев приповерхностной области окисленной ниобиевой пленки на кремниевой подложке.

Разработанные программы обработки рентгеновских фотоэлектронных спектров позволяют студентам самостоятельно проводить научные исследования в области анализа поверхности твёрдого тела. На результатах этих исследований основываются учебно-научные исследовательские работы студентов, курсовые и выпускные квалификационные работы бакалавров, магистерские диссертации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] N. Fairley, CasaXPS Manual 2.3. 15. Spectroscopy, Acolyte Science, 2009.
- [2] J. Chastain, R.C. King, J. Moulder, Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy: A Reference Book of Standard Spectra for Identification and Interpretation of XPS Data, Physical Electronics Eden Prairie, MN, 1995.
- [3] A.V. Lubenchenko, A.A. Batrakov, D.A. Ivanov et al. "Air-Oxidation of Nb Nano-Films," Semiconductors, vol. 52(5), pp. 678-682, 2018.
- [4] A. V. Lubenchenko, A.A. Batrakov, A.B. Pavolotsky et al. "XPS study of multilayer multicomponent films," Applied Surface Science, vol. 427, pp. 711, 2018.
- [5] S. Tougaard "Practical algorithm for background subtraction," Surface Science Letters, vol. 216, 3. pp. A330, 1989.
- [6] Y.F. Chen "Surface effects on angular distributions in X-ray-photoelectronspectroscopy," Surface Science, vol. 519 (1-2), pp. 115, 2002.
- [7] S. Doniach, M. Sunjic "Many-electron singularity in X-ray photoemission and X-ray line spectra from metals," Journal of Physics C: Solid State Physics, vol. 3 (2), pp. 285, 1970.
- [8] V.I. Nefedov, V.I. Vovna. "Electronic structure of chemical compounds," Moscow, Nauka, 1987.
- [9] S. Tanuma, C. Powell, D. Penn, "Calculations of electron inelastic mean freepaths. V. Data for 14 organic compounds over the 50–2000 ev range," Surf. Interface Anal, vol. 21 (3), pp. 165–176, 1994.
- [10] B. Strohmeier, "An ESCA method for determining the oxide thickness on aluminum alloys," Surf. Interface Anal., vol. 15 (1), pp. 51–56, 1990.

Метод параболического уравнения и его применение в учебной и инженерной практике

Е. С. Малевич, М.С. Михайлов, В.А. Пермяков
Каф. Радиотехнических приборов и антенных систем
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва, Россия
malevichmpei@gmail.com

Аннотация — Выполнен обзор работ, посвященных применению численного решения параболического уравнения в научной и инженерной практике, в том числе для решения задач распространения радиоволн на Радиотехническом факультете ИРЭ НИУ МЭИ.

(Abstract) – A review of the work devoted to the application of the numerical solution of the parabolic equation in scientific and engineering practice, including for solving the problems of radio waves propagation at the Radio Engineering Faculty of the Institute of Radio and Electronics of National Research University “MPEI”, is performed.

Ключевые слова — скалярное параболическое уравнение; методы численного решения; перспективы развития метода параболического уравнения

I. ВВЕДЕНИЕ

Применение численных методов и компьютерной техники в образовании, науке и инженерной практике в настоящее время достигло стадии зрелости.

Изучаемые в технических вузах программные продукты можно разделить на три группы, осваиваемые по мере обучения. К первой группе относятся массовые языки программирования Pascal, C/C++, Fortran и другие, а также пакеты прикладных программ Scilab, GNU Octave/Matlab, Mathematica, MathCAD и другие, которые используются независимо от специальности студента и изучаются на младших курсах. Ко второй группе относятся пакеты прикладных программ, ориентированные на решение задач определенной специальности. Эти пакеты разрабатываются международными коллективами программистов высокого уровня, постоянно совершенствуются, но имеют достаточно высокую стоимость. Примером таких пакетов являются пакеты прикладных программ для решения инженерных задач в области электродинамики, антенн и распространения радиоволн HFSS, FEKO, CST Microwave Studio, Comsol, ЭДЕМ [1]. Наконец, к третьему уровню отнесем программные продукты, создаваемые в процессе выполнения НИОКР научными группами в связи с тем, что пакеты прикладных программ второго уровня не обеспечивают решение поставленных в НИОКР задач. В выполнении этих работ принимают участие студенты старших курсов и аспиранты РТФ.

Применяемые для решения задач электродинамики пакеты прикладных программ второго уровня, как правило, используют математические методы дискретизации уравнений Максвелла (сеточные, метод конечных элементов, метод конечных разностей во временной области), не позволяющие рассматривать объекты, размеры которых велики по сравнению с характерным масштабом — длиной электромагнитной волны. Анализ объектов больших размеров требует объединения прямых численных методов с асимптотическими методами в группу так называемых гибридных методов. Гибридные методы частично реализованы в пакете FEKO.

Решение прикладных задач электродинамики осложняется тем обстоятельством, что исходные линейные уравнения Максвелла (УМ) для однородных изотропных сред в зависимости от постановки задачи сводятся к уравнениям математической физики эллиптического типа (в статике), волновым уравнениям (для монохроматических полей), к гиперболическим уравнениям (в общем нестационарном случае) [2]. Универсальных методов решения УМ, пригодных для уравнений любого типа, не существует.

В настоящей работе рассматривается решение задач прикладной электродинамики, использующее приближенное сведение УМ к уравнениям параболического типа. Как известно, уравнения параболического типа применяются для описания процессов теплопроводности и диффузии в веществе [2]. УМ строго сводятся к уравнениям параболического типа при описании процессов распространения электромагнитных волн в однородной среде векторами Римана–Зильберштейна [3]. Однако это направление решения УМ пока не получило развития в вычислительном плане.

Приближенное сведение УМ к уравнениям параболического типа оказывается эффективным и с вычислительной точки зрения, и с позиций интерпретации процессов распространения электромагнитных волн в сложных условиях, позволяя учесть влияние плавной неоднородности среды, нелинейные и другие эффекты в среде.

II. ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК РАЗВИТИЯ МЕТОДА ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

В развитии метода параболического уравнения (МПУ) можно выделить 3 этапа [4]. МПУ в применении к задачам распространения радиоволн (РРВ) был предложен М.А. Леонтовичем [5] в 1944 году.

Первый этап начат работами М. А. Леонтовича, В. А. Фока [6, 7] и характеризуется использованием аналитических методов упрощения исходных волновых уравнений и последующего решения ПУ. Вторым этапом следует увязать с развитием численных методов решения ПУ. Первоначально для решения ПУ использовались методы дискретизации уравнений (сеточные, конечных элементов). Отметим применение МПУ для решения задач нелинейной электродинамики и оптики [8, 9], а также для решения акустических задач [10, 11]. Существенным достижением этого этапа стала работа [10], в которой для решения ПУ был предложен метод БПФ с процедурой расщепления исходных дифференциальных операторов, опирающейся на теорию псевдодифференциальных операторов (метод факторизации) [12]. Отметим, что применение теории псевдодифференциальных операторов к ПУ основано на использовании алгебраической структуры операторов для сведения их к произведению операторов более низкого порядка. При этом, однако, строгое понижение порядка дифференциальных операторов возможно только в частных случаях. В общем случае приближенное расщепление исходных дифференциальных операторов вносит ошибку, которую необходимо контролировать. В этой связи обратим внимание на работу [13], в которой предложена процедура использования параболического приближения для получения точного решения УГ. Работа [13] относится к звуковому полю, описываемому скалярным УГ, т.е. пригодна для решения аналогичных задач электродинамики.

Основной вклад в развитие работ второго этапа, как показывает обзор, внесли ученые США. Промежуточные итоги этого этапа подведены в монографии М. Леви [14] 2000 г. В прикладном плане итогами второго этапа явились программные продукты, позволяющие решать двумерные задачи РРВ над сушей и морем, среди которых выделим систему прогнозирования AREPS [15], а также TERPEM [16], CARPET [17]. Обзоры по применению МПУ к решению задач РРВ приведены в [4, 9].

В 21-м веке начался третий этап развития МПУ. Основное направление этого этапа — проведение численных исследований РРВ методом ПУ в применении к конкретным научным задачам. С методической точки зрения важным аспектом этого этапа является разработка способов решения трехмерных задач. Также следует отметить работы по расчету РРВ в турбулентной среде методом ПУ (см. [4, 18, 19]), в том числе по влиянию турбулентности атмосферы на работу навигационных систем [20, 21], а также работы по расчету полей антенн и решению задач дифракции волн методом ПУ [22–25, 27].

III. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МПУ.

Поясним условия применения МПУ к решению скалярного уравнения Гельмгольца, к которому сводятся УМ для монохроматического поля в плавно неоднородной изотропной среде.

$$\Delta E + k_0^2 \varepsilon(x, y, z) E = 0. \quad (1)$$

В (1) E — компонента электрического поля электромагнитной волны в декартовой системе координат x, y, z , $k_0 = 2\pi/\lambda_0$ — волновое число свободного пространства, λ_0 — длина волны в свободном пространстве, $\varepsilon(x, y, z)$ — относительная комплексная диэлектрическая проницаемость неоднородной среды.

К УГ вида (1) строго сводятся УМ с единственной компонентой поля E_z и $\varepsilon = \varepsilon(x, y)$. Приближенно к уравнению (1) сводятся УМ с декартовой компонентой E и $\varepsilon = \varepsilon(x, y, z)$ при условии медленного изменения $\varepsilon(x, y, z)$ в пространстве. Как известно, УГ для изотропной однородной среды имеет решение типа плоской волны

$$E = U \exp(-i\alpha x - i\beta y - i\gamma z),$$

где $U = \text{const}$, $\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2 = k_0^2 \varepsilon$ при $\varepsilon = \text{const}$ предполагается временной множитель $(i\omega t)$

В случае плавно неоднородной среды представим решение уравнения Гельмгольца (1) произведением

$$E = U(x, y) \exp(-ik_0 x) \quad (2)$$

Подставив (2) в (1), получим

$$-2ik_0 \frac{\partial U}{\partial x} + \Delta U + k_0^2 [\varepsilon(x, y, z) - 1] U = 0. \quad (3)$$

Потребуем теперь, чтобы выполнялось условие

$$\left| \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right| \ll \left| 2k_0 \frac{\partial U}{\partial x} \right| \quad (4)$$

Это условие означает, что в поперечной плоскости (y, z) относительно направления распространения волны структура поля локально близка к структуре плоской волны и меняется медленно вдоль x . Условие (4) широко применяется в оптике и акустике при исследовании расходимости волновых пучков (так называемое малоугловое приближение). В антенной технике это приближение позволяет рассмотреть трансформацию полей антенн больших размеров в промежуточной и дальней зонах с учетом плавной неоднородности среды.

При выполнении условия (4) уравнение (3) сводится к скалярному параболическому уравнению (ПУ)

$$-2ik_0 \frac{\partial U}{\partial x} + \Delta_{y,z} U + k_0^2 [\varepsilon(x, y, z) - 1] U = 0. \quad (5)$$

В (5) $\Delta_{y,z}$ — оператор Лапласа, действующий в поперечной плоскости y, z .

Постановка задачи об определении поля излучения антенн в сложной обстановке показана на рис. 1.

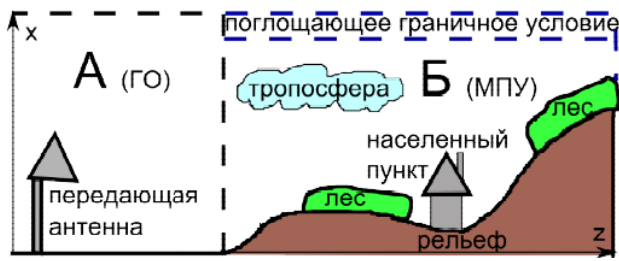


Рис. 1. К постановке задачи РРВ в сложных условиях

В общем случае на РРВ над земной поверхностью влияют форма профиля земной поверхности, находящиеся на ней естественные (лес, горы, морские волны) и искусственные объекты (различные сооружения, движущиеся цели). Рассмотрим случай, когда передающая антенна находится в сечении AA и справа от нее поверхность Земли на определенном расстоянии до сечения BB является плоской и свободной от каких-либо объектов, а диэлектрическая проницаемость атмосферы — постоянной. Пусть поле описывается двумерным скалярным ПУ (5) в плоскости (x, y) . Для отыскания решения ПУ справа от сечения BB следует задать начальные условия в сечении BB и граничные условия на нижней и верхней границах объема, охватывающего пространство между сечениями BB и CC. В качестве граничного условия на нижней границе в случае земного грунта, как правило, можно использовать приближенные граничные условия (условие М. А. Леонтовича или классические условия 3-го рода, следующие из требования непрерывности тангенциальных компонент электрического и магнитного полей на плоской границе раздела сред). На верхней границе объема используют различные виды граничных условий (ГУ) [14], среди которых наибольшее распространение получили поглощающие ГУ [14]. В случае поглощающих ГУ в определенной толще среды, лежащей выше верхней границы рассматриваемого объема, задается слой с потерями, равными нулю на верхней границе и нарастающими в слое выше верхней границы. Толщина поглощающего слоя и закон изменения комплексной диэлектрической проницаемости в слое подбираются таким образом, чтобы обеспечить минимальное отражение от заданного таким образом согласующего слоя.

Начальные условия (НУ) в сечении BB могут быть заданы различными способами в зависимости от характеристик антенн. В том случае, когда сечение BB находится в дальней зоне антенны, начальное условие в этом сечении определяется диаграммой направленности антенны. В случае зеркальных антенн больших размеров НУ могут быть заданы непосредственно в раскрыве антенны (в этом случае сечения AA и BB совмещаются), такой вариант рассматривался В. В. Ахияровым [23]. В случае антенных решеток (АР) НУ в сечении BB могут быть рассчитаны как сумма полей отдельных элементов АР, определяемых в дальней зоне элемента [26]. Во всех перечисленных случаях влияние плоского участка земной поверхности между сечениями AA и BB может быть учтено путем решения вспомогательной задачи об

излучении антенны над плоской границей раздела сред в приближении геометрической оптики подобно [26, 27].

Здесь следует отметить, что в малоугловом приближении МПУ позволяет рассчитывать поля антенн с шириной диаграммы направленности не более единиц градусов. Разработаны методы расчета полей слабо-направленных антенн с шириной диаграммы направленности до 60° [14].

IV. РЕШЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ЗАДАЧ МПУ

Решение трехмерных ПУ, а также векторных задач электродинамики является предметом текущих исследований. Состояние исследований в этом направлении на 2000 год изложено в монографии [14].

В применении к задачам излучения антенн над земной поверхностью в сложной обстановке, в том числе излучения антенных решеток с большим числом элементов (тысячи) расчет полей в промежуточной и дальней зонах АР предложен в диссертации [27]. Численные результаты для полей АР при учете двумерных нерегулярностей земной поверхности и трехмерных массивов леса приведены в [31, 35]. Изложенный в [27] метод расчета был применен и к радиолокационным задачам, в частности в случае сильного морского волнения [27–31].

V. АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГРАММ ПУ

В качестве примера на рис. 2 приведена блок-схема алгоритма решения трехмерного ПУ, использующий метод факторизации и псевдодифференциальных операторов и быстрое преобразование Фурье по поперечным координатам [27]. Реализованный алгоритм использовался для решения двумерных и трехмерных задач методом ПУ.

Уравнение (5) раскладывается на множители:

$$\left[\frac{\partial}{\partial z} - ik_0 + i\sqrt{\frac{\partial^2}{\partial x^2} + k_0^2 n^2} \right] \left[\frac{\partial}{\partial z} - ik_0 - i\sqrt{\frac{\partial^2}{\partial x^2} + k_0^2 n^2} \right] U = 0 \quad (6)$$

Используя псевдодифференциальных оператор:

$$Q = \sqrt{\frac{\partial^2}{\partial x^2} + k_0^2 n^2}, \quad (7)$$

и преобразование Фурье, находится решение ПУ:

$$u(x, y, z_0 + \Delta z) = \Phi_{xy}^{-1} \left\{ \exp(-ik_0(M-1)\Delta z) \times \right. \\ \left. \times \exp(-ik_0(N-1)\Delta z) \times \Phi_{xy} [u(x, y, z_0)] \right\} \times \\ \times \exp(-ik_0(n-1)\Delta z) \quad (8)$$

Верификация программы в двумерном случае проводилась путем сопоставления с расчетом методом сеток и с приближением геометрической оптики (в области применимости последнего). В трехмерном случае для верификации может быть использовано аналитическое решение излучения диполя над сферической землей изменяющимся по вертикали профилем показателя преломления, полученные в [6].

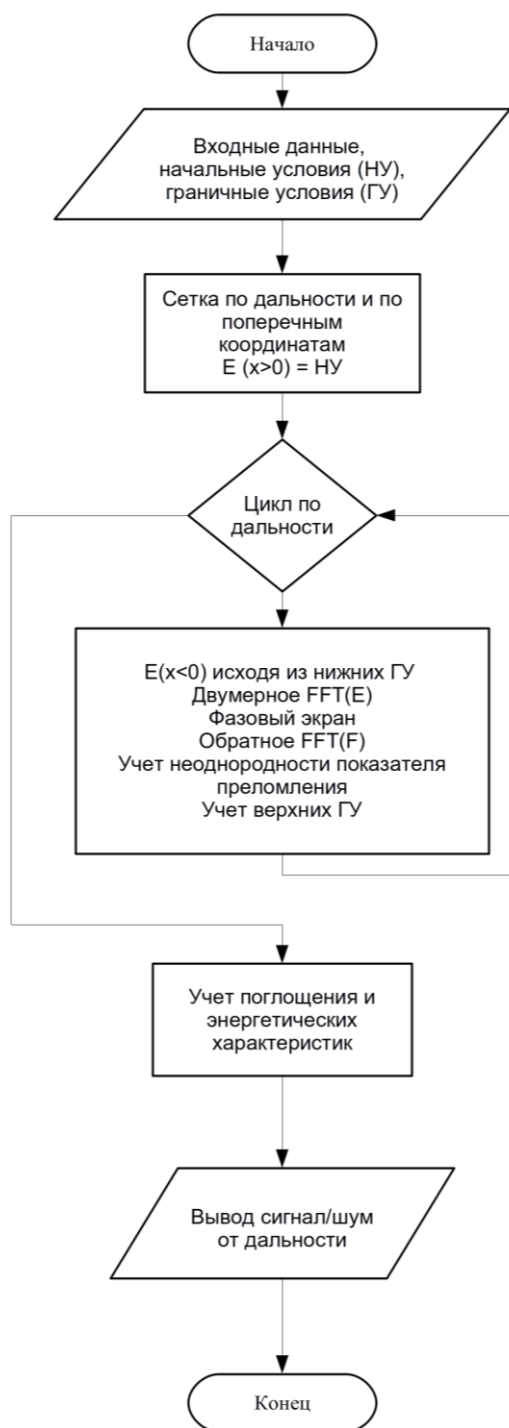


Рис. 2. Блок-схема

VI. ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ РРВ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ

Результаты разработки МПУ и его практического применения в задачах РРВ над морской поверхностью и при учете неровностей земной поверхности и лесных массивов были получены при выполнении НИР по проекту Минобрнауки научной группой кафедры РТПиАС (д.ф.-м.н проф. Пермяков В.А., к.т.н. доцент Михайлов М.С.,

к.т.н. доцент Комаров А.А., асс. асп. Малевич Е.С., студенты).

Ниже дан краткий обзор работ в области РРВ, выполненных методом ПУ научной группой каф. РТПиАС за последние 5 лет. Рассмотрены особенности РРВ над морем, в том числе в условиях волноводного распространения, при наличии лесных массивов, а также формирование поля в промежуточной зоне фазированных антенных решеток с учетом профиля местности и лесных массивов. Анализ проведен с помощью программ, разработанных научной группой для решения скалярного ПУ, описывающего вертикальную компоненту электрического поля.

Для расчета ПУ вида (5) применен метод БПФ с расщеплением, позволяющий рассмотреть излучение антенн с достаточно широкой диаграммой направленности (до 60°) в двумерном и трехмерном случаях. Сферичность земной поверхности учитывалась введением модифицированного индекса преломления. По координате z в двумерном случае и по координатам z, u в трехмерном случае вводились поглощающие условия на границах, охватывающих область интегрирования по соответствующим координатам.

В работах [27–29] изучалось действие РЛС при заданном отношении сигнал/шум. Основное внимание было уделено изучению РРВ над морской поверхностью в условиях, когда образуется так называемый волновод испарения (область с отрицательным градиентом диэлектрической проницаемости на малых высотах над поверхностью моря) что приводит к загоризонтному РРВ. Изучено влияние на дальность действия РЛС см диапазона волн следующих факторов: высоты подъема антенны над морем и наклона ДН по углу места [27, 28], потерь в воздухе, гидрометеоров, турбулентности тропосферы, морского волнения, возмущений вертикальных профилей и горизонтальных нерегулярностей показателя преломления тропосферы [27–29].

В работах [30, 34] рассматривалось излучение фазированных АР над земной поверхностью с учетом влияния профиля поверхности и леса в промежуточной и дальней зонах ФАР. Определялись санитарно-защитные зоны ФАР с большим числом элементов. Изучалось влияние формы полого леса на распространение радиоволн в лесу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как следует из проведенного обзора, МПУ позволяет рассмотреть множество практически важных задач распространения радиоволн и радиолокации, учитывающих реальные условия РРВ (неоднородности показателя преломления тропосферы, профиля земной поверхности, влияние лесных массивов на работу радиосистем). Реализованный метод решения ПУ в двумерном случае позволил проанализировать условия РРВ над морской поверхностью в условиях возбуждения волновода испарения [27–30] и приподнятого волновода [29], а также влияние формы полого леса на РРВ от антенны [30–34]. В трехмерном случае реализован метод расчета ПУ структуры электромагнитного поля ФАР с

большим числом элементов над поверхностью Земли при наличии сложных препятствий в зоне Френеля [30, 34]. Метод позволяет провести расчет санитарно–защитных зон и зон ограничения застройки вблизи мощных радиотехнических систем с учетом профиля местности и при наличии препятствий.

Представляются перспективными следующие направления развития МПУ: разработка эффективных алгоритмов решения ПУ для трехмерных, в том числе векторных, задач, повышение точности метода факторизации, развитие методик расчета РРВ в лесных массивах и над земной поверхностью сложного профиля с использованием электронных карт местности.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект 8.3244.2017/ПЧ).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Банков С.Е., Курушин А.А. Электродинамика и техника СВЧ для пользователей САПР (библиотека радиоэлектроники) Электронная книга, М.:2008, 300 с
- [2] Линейные уравнения математической физики. СМБ. Под ред. С.Г.Михлина. Наука, –М.: 1964 г. 368 с.
- [3] Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – http://ru.wikipedia.org/wiki/Уравнения_Максвелла
- [4] Leontovich M.A. // *Izv. AN USSR.* – 1944. – V. 8, No. 16. – P. 6–
- [5] Leontovich M.A., Fok V.A. // *J. Phys. USSR.* – 1946. – V. 10, No. 5. – P. 399–420.
- [6] Fok V.A. *Electromagnetic Diffraction and Propagation Problems.* Pergamon Press, London, 1965.
- [7] Litvak A.G., Talanov V.I. // *Radiophysics and Quantum Electronics.* – 1967. – V. 10, No. 4. – P. 296–302.
- [8] Vlasov S.N. Talanov V.I. // *Radiophysics and quantum electronics.* – 1995. – V. 38, No. 1-2. – P. 1–12.
- [9] Hardin R. H., Tappert F. D. // *Siam Rev.* – 1973. – V. 15, No. 2. – P. 423.
- [10] Tappert F.D. The parabolic approximation method. -In: *Lecture Notes in Physics* Spring. Verl., 1977, p. 224-287.
- [11] Taylor M.E. *Pseudodifferential operators.* Princeton University Press. Princeton, New Jersey, 1981.
- [12] Полянский Э.А. Метод коррекции решения параболического уравнения в неоднородном волноводе. – М.: Наука, 1985, -96 с.
- [13] Levy M. *Parabolic equation methods for electromagnetic wave propagation.* – London, The IEE, 2000. – 336 p.
- [14] *Advanced Refractive Effects Prediction System (AREPS) // Atmospheric Propagation Branch.* Ver. 3.6. – 2005. – 284 p.
- [15] TERPEM package: www.signalscience.com/TERPEM.htm
- [16] CARPET (Computer-Aided Radar Performance Evaluation Tool): <http://www.tno.nl/downloads/carpet.pdf>
- [17] Yung-Hsiang Chou, Jean-Fu Kiang. Effect of Turbulence on Wave Propagation in Evaporation Ducts above a Rough Sea Surface. / *Forum for Electromagnetic Research Methods and Application Technologies*, 2014, No.1.
- [18] Yung-Hsiang Chou, Jean-Fu Kiang. Ducting and Turbulence Effects on the Radio-Wave Propagation in an Atmospheric Boundary Layer. / *Progress in Electromagnetic Research, B*, Vol. 60, 301-315, 2014.
- [19] A.A. Bitjukov, V.E.Gherm, N.N.Zernov. On the solution of Markov parabolic equation for the second order spaced frequency and position coherence function. / *Radio science*, vol.37., No. 4, 10, 1029/2001RS002491, 2002.
- [20] V.E.Gherm, N.N.Zernov, H.J. Strangeways. HF propagation in a wideband ionospheric fluctuating reflecting channel: Physically based software simulator of the channel. / *Radio science*, vol.40., RS1001, doi:10.1029/2004RS003093 2005.
- [21] Ахияров В.В. Метод параболического уравнения в теории дифракции // *Успехи современной радиоэлектроники* – 2010. – V. 39. – с. 72–80.
- [22] Ахияров В.В., Чернавский С.В. Использование численных методов для изучения условий распространения радиоволн // *Радиотехника.* – 2011. – No. 10. – с. 101–110.
- [23] Ахияров В.В. Методы численного решения задачи дифракции радиоволн над земной поверхностью // *Электромагнитные волны и электронные системы.* – 2010. – V. 15, No. 3. – с. 38–46.
- [24] Пермяков В.А., Михайлов М.С. Расчет энергетических характеристик активной фазированной антенной решетки над плоской земной поверхностью. / *Радиотехника*, 2013, №10, с. 83-88.
- [25] Михайлов М.С. Расчет энергетических характеристик фазированных антенных решеток над нерегулярной поверхностью методом параболического уравнения. Дисс. на соискание ученой степени к.т.н. — М. НИУ «МЭИ», 2015 г.
- [26] Махалов А.М., Михайлов М.С., Пермяков В.А. Излучение остронаправленной антенны над морем в условиях возбуждения волновода испарения / II Всероссийская микроволновая конференция, Москва, 26–28 ноября 2014 г. С.238–243.
- [27] M.S. Mikhailov, V.A. Permyakov, A.V. Makhalov Limitations on the Range of Radiosystems in the Duct of Evaporation / *Russian Physics Journal*, 2016, V. 59, №12-3, P. 140–144
- [28] Махалов А. М., Михайлов М. С., Пермяков В. А. Влияние возмущений показателя преломления на распространение радиоволн в волноводе испарения / III Всероссийская микроволновая конференция, Москва ИРЭ РАН, 25–27 ноября 2015. С.331–335.
- [29] M.V. Isakov, A.M. Makhalov, M.S. Mikhailov, V.A. Permyakov On the Effect of Refractive Index Perturbations on Propagation of Radio Waves in the Evaporation Duct // *Progress In Electromagnetics Research Symposium Abstracts*, St. Petersburg, Russia, 22-25 May 2017, p.850.
- [30] V.A. Permyakov, M.S. Mikhailov, E.S. Malevich. Calculation of the Radar Station Field in 3D Space in the Presence of Forest and Other Obstacles by the Method of Parabolic Equation // *Progress In Electromagnetics Research Symposium Abstracts*, St. Petersburg, Russia, 22-25 May 2017, pp.3754–3757.
- [31] Пермяков В.А., Михайлов М.С., Малевич Е.С. Расчет поля методом параболического уравнения в трехмерном пространстве с учетом препятствий / *Известия высших учебных заведений. Физика*, т. 59, №12-3 С. 144–148.
- [32] Пермяков В.А, Михайлов М.С., Малевич Е.С. Моделирование распространения радиоволн в лесных массивах // *Сборник докладов V Всероссийской микроволновой конференции*, 2017, Москва ИРЭ РАН, 29 ноября — 1 декабря, с. 100–103.
- [33] M.S. Mikhailov, E.S. Malevich, V.A. Permyakov. Modeling of Radio-wave Propagation in Forest by the Method of Parabolic Equation // *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (2.23), 2018, pp.111-113.
- [34] Малевич Е.С., Михайлов М.С., Пермяков В.А. Моделирование распространения радиоволн в условиях сложного ландшафта с использованием метода параболического уравнения // *Сборник трудов XXIV Международной научно-технической конференции RLNC, «Радиолокация, навигация, связь», том 4, г. Воронеж*, 2018, с. 150-157
- [35] Малевич Е.С., Михайлов М.С., Пермяков В.А. Применение метода параболического уравнения для анализа влияния лесных массивов на распространение радиоволн. Труды настоящей конференции

Моделирование электромагнитных и тепловых процессов при резистивном заземлении нейтрали

Младзиевский Е.П., Рыжкова Е.Н.

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий и электротехнологий
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва, Россия

ev.mladzievskiy@gmail.com, RyzhkovaYN@mpei.ru

Аннотация. В статье рассмотрено применение программных комплексов PSCAD и Comsol Multiphysics для моделирования, расчёта и наглядного представления тепловых и электромагнитных процессов, протекающих при однофазном замыкании на землю с перемежающейся дугой в сетях среднего напряжения при резистивном заземлении нейтрали. Моделирование проводилось для прогнозирования поведения реальной системы электроснабжения и оптимизации условий функционирования разработанного технического решения.

Ключевые слова — заземляющий резистор, PSCAD, Comsol Multiphysics, замыкание на землю

I. ВВЕДЕНИЕ

С развитием информационных технологий различные программные продукты постепенно входят в нашу жизнь. Причём с каждым годом разнообразие различного программного обеспечения (ПО) постоянно возрастает. Это касается и ПО для инженерных расчётов. Оно может быть представлено как только расчётными программными продуктами, как, например, Mathcad или MathLab, так и целыми комплексами для моделирования различных физических процессов. В данной статье подробно рассмотрены программный комплекс для моделирования электромагнитных процессов PSCAD (Power Systems Computer Aided Design) и платформа для решения мультифизических задач Comsol Multiphysics, а также приведены результаты моделирования конкретной инженерной задачи по расчёту физических процессов, происходящих в заземляющем резисторе при однофазном замыкании на землю в сети среднего напряжения.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В России сети средних напряжений 6–35 кВ выполняются как с изолированной нейтралью, так и с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор или резистор. Такие режимы организации нейтрали обеспечивают возможность продолжительной работы подключённого электрооборудования в условиях однофазного замыкания на землю. Это особенно важно, если учесть, что в электрических сетях данного класса напряжения аварийные ситуации, вызванные однофазными замыканиями на землю, составляют до 70% от всех возникающих неисправностей. Наиболее острыми

проблемами, которые возникают при эксплуатации сетей средних напряжений, являются феррорезонанс и перенапряжения, проявляющиеся во время однофазных замыканий на землю. Достаточно эффективным средством борьбы с этими проблемами является резистивное заземление нейтрали [1-3].

Однако, у такого способа одним из самых существенных недостатков является низкая термическая стойкость заземляющих резисторов. При отклонении условий протекания тока замыкания на землю через резистор от расчётных, на нём может выделяться количество тепла, превышающее его возможность это тепло отводить. В связи с этим температура резистора будет расти и может превысить его предел термической стойкости. Тогда наступит термическое разрушение резистора, которое может быть опасно для находящегося рядом оборудования и обслуживающего персонала, а также приведёт к развитию аварии в электрической сети. Чтобы решить данную проблему было разработано устройство для резистивного заземления нейтрали с повышенной термической стойкостью [4].

В данном случае задачей математического моделирования являлась оценка уровня перенапряжений при однофазном замыкании на землю с перемежающимся характером горения дуги и проверка термической стойкости заземляющего резистора предлагаемой конструкции в условиях аварийной ситуации.

III. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Поставленная задача включала в себя два основных этапа: моделирование электромагнитных процессов, протекающих в сети средних напряжений при однофазном замыкании на землю при различных способах заземления нейтрали и построение температурного поля заземляющего резистора при протекании через него тока замыкания на землю.

Для первой части исследования был выбран программный комплекс PSCAD. PSCAD является быстродействующим, точным и удобным инструментом для моделирования работы энергосистем и силовых электронных преобразователей при их проектировании, анализе, оптимизации и верификации. Программа PSCAD с модулем моделирование переходных процессов EMTD

(ElectroMagnetic Transients including DC) предоставляет широкий выбор инструментов и богатую библиотеку компонентов для глубокого анализа работы энергооборудования. Данная программа идеально подходит для расчёта различных режимов работы электрической сети, а также для визуализации полученных результатов.

Для второй части работы, заключающейся в построении температурного поля внутри заземляющего резистора и его окружающей среды, была выбрана программа для мультифизического моделирования Comsol Multiphysics. Особенность данной программы заключается в том, что она способна решать смежные физические задачи и позволяет проводить моделирование физических процессов, переходящих один в другой. В нашем случае рассматривается смежная задача электромагнетизма и джоулева нагрева.

IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ

Для моделирования переходных процессов при однофазном замыкании на землю в рабочей области PSCAD была построена принципиальная схема рассматриваемого участка сети, показанная на Рис.1. В интерфейсе программы представлено множество компонентов, замещающих собой различные элементы электрической сети: трансформаторы, выключатели, пассивные элементы, двигатели и генераторы. Помимо этого, имеется целый спектр инструментов для построения всевозможных логических схем работы того или иного оборудования, систем автоматики и релейной защиты, представленный различными логическими блоками, а

также инструменты вывода полученных результатов и их визуализации.

Изображённая на Рис. 1 схема имеет одностороннее питание от трёхфазной сети 110 кВ. Воздушные линии представлены элементами TLine, в свойства которых занесены рассчитанные параметры и выбранная конфигурация линии.

Линия TLine_1, имеющая напряжение 110 кВ, подключается к силовому трансформатору, мощность 32 МВА. Напряжения высшей и низшей обмоток понижающего трансформатора равны 81,305 кВ и 7,42 кВ соответственно (в параметрах трансформатора задаются среднеквадратичные значения линейных напряжений).

К шине Bus2 подключены три отходящие линии, представленные на схеме элементами TLine_2, TLine_3 и TLine_4. Измерение значений токов и напряжений осуществляется при помощи мультиметров, установленных на шине Bus_gen и Bus2. Вывод соответствующих осциллограмм производится по средствам программного интерфейса при помощи сигналов Igen, Ugen, I2, U2. Данные о состоянии выключателей BRK подаются на расчётную схему по средствам логических блоков BRK1 – 8.

Однофазное замыкание на землю с перемежающейся дугой моделируется с помощью трёх последовательных дуговых замыканий, отстроенных по времени возникновения и длительности с помощью модулей Timed Fault Logic. В рассматриваемой схеме происходит трёхкратное зажигание заземляющей дуги в фазе А, после чего замыкание из перемежающегося переходит в устойчивое.

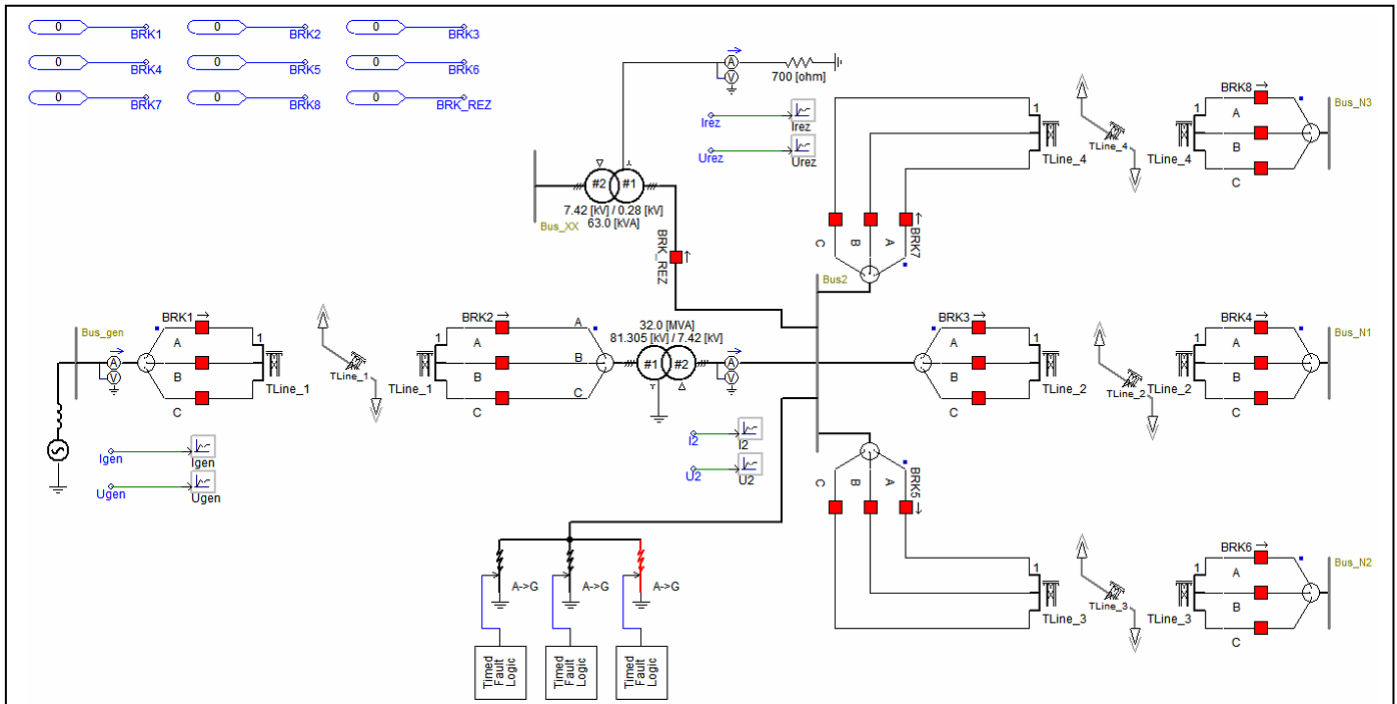


Рис. 1. Принципиальная схема моделируемой сети

К шине напряжением 10 кВ Bus2 через выключатель BRK_REZ подключён нейтралеобразующий трансформатор мощностью 63 кВА с группой соединения обмоток звезда-треугольник. В нейтраль обмотки высшего напряжения нейтралеобразующего трансформатора включён заземляющий резистор на 700 Ом.

Для контроля тока через резистор и напряжения на нём предусмотрен мультиметр, который также включён в нейтраль заземляющего трансформатора. Сигналы тока и напряжения с мультиметра посредством переменных Irez и Urez выводятся на графики в виде осциллограмм. Вторичная обмотка нейтралеобразующего трансформатора подключена к шине Bus_XX и работает в режиме холостого хода.

Таким образом, разработана полноценная модель участка электрической сети, на основании которой можно производить расчёты и симуляцию различных режимов работы. После симуляции режима однофазного замыкания на землю с перемежающейся дугой в качестве выходных данных получены осциллограммы перенапряжений на шинах питающего трансформатора, показанные на Рис. 2 и Рис. 3. Полученные осциллограммы наглядно демонстрируют разницу в кратности перенапряжений при разных способах организации нейтрали и очевидное преимущество использования резистивного заземления нейтрали по сравнению с изолированной нейтралью.

Из рассмотренного примера можно сделать вывод, что программный комплекс PSCAD имеет огромный потенциал для использования его как в учебном процессе, так и в инженерной деятельности.

V. ПОСТРОЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ

Для решения проблемы термической стойкости было разработано устройство для резистивного заземления нейтрали с повышенной термической стойкостью [4]. Задача температурного расчёта заключалась в проверке нагрева стержней заземляющего резистора в режиме протекания через них тока однофазного замыкания на землю до допустимой/недопустимой величины.

Основным рабочим элементом предложенной конструкции резистора являются металлические стержни, помещённые в почву. Именно в них и окружающем их пространстве и предстояло рассчитать температурное поле. Для решения этой задачи была выбрана программа Comsol Multiphysics, которая позволяет решать совместно электромагнитную и тепловую части задачи. Также весомым преимуществом этой программы является то, что она позволяет производить расчёт на основе полноценной 3д модели рассматриваемого устройства, которая может быть построена как в самой программе, так и загружена извне (SolidWorks, AutoCAD).

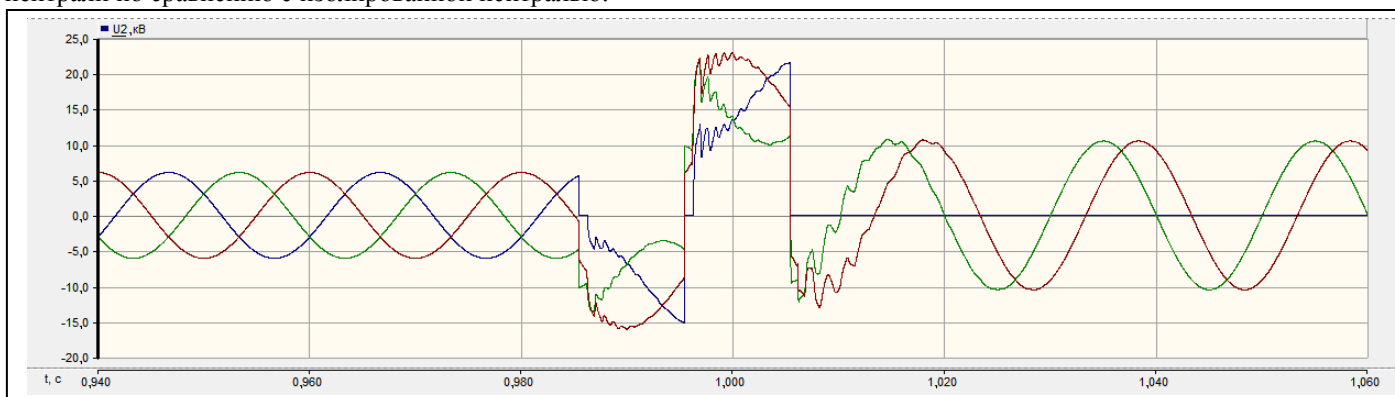


Рис. 2. Осциллограмма перенапряжений при изолированной нейтрали

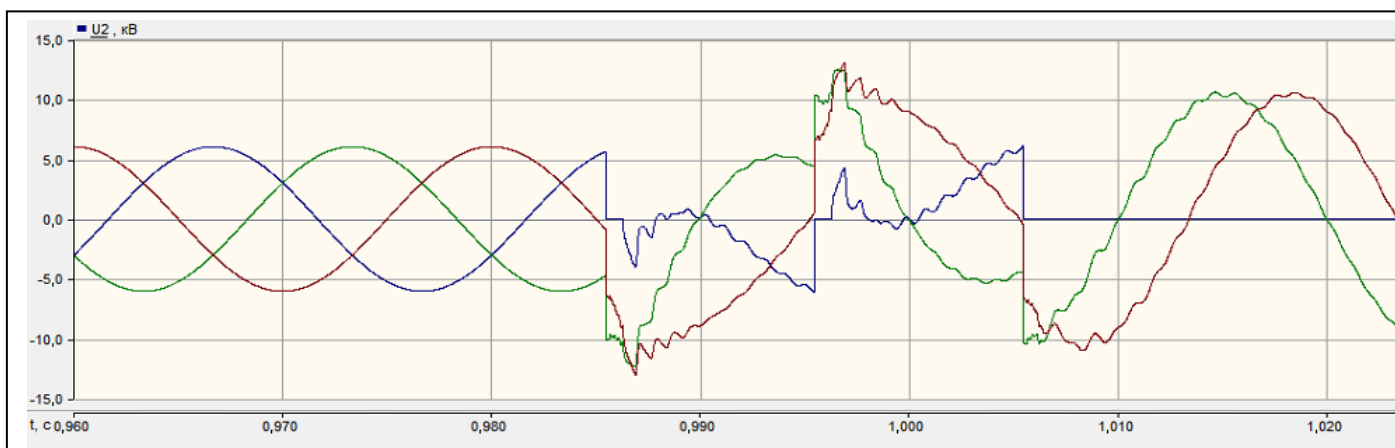


Рис. 3. Осциллограмма перенапряжений при резистивном заземлении нейтрали

После создания модели рассматриваемого устройства были заданы материалы его частей и окружающей среды. Для расчёта поставленной задачи использовался модуль Джоулев нагрев (joule heating), включающий в себя электромагнитный и тепловой модули (electric current and heat transfer in solids).

Далее задавались условия теплообмена и границы разделения сред и настраивались физические интерфейсы под условия рассматриваемой задачи (terminal, ground, heat flux и др.).

После проведения моделирования процесса нагрева заземляющего резистора токами однофазного замыкания на землю, были получены температурные поля исследуемой модели в горизонтальной и вертикальной плоскостях (Рис. 4, Рис. 5).

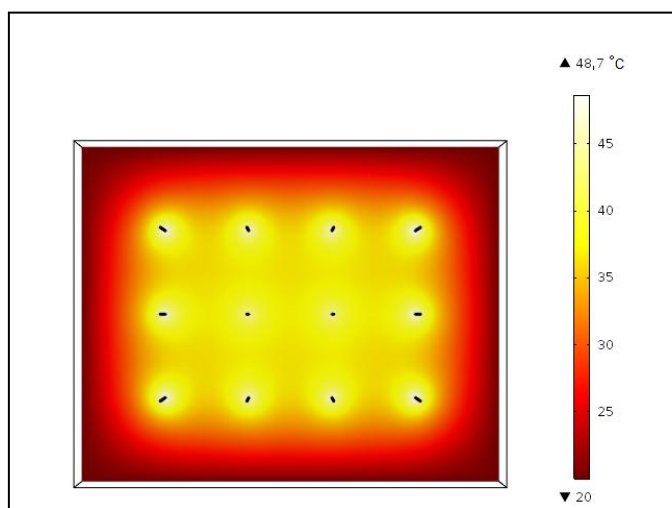


Рис. 4. Температурное поле заземляющего резистора в горизонтальной плоскости

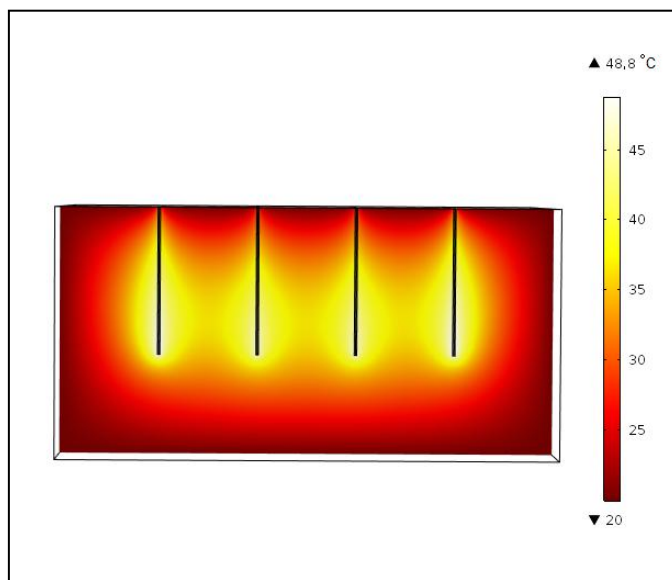


Рис. 5. Температурное поле заземляющего резистора в вертикальной плоскости

Как видно из графиков распределения температуры, максимальное её значение равно 48.8 °C. При этом расстоянием между электродами оказывается вполне достаточным для того, чтобы окружающей слой почвы поглотил выделяющееся количество тепла.

На основании полученных в результате моделирования данных можно сделать вывод, что земляной резистор в режиме однофазного замыкания на землю имеет достаточно высокую энергоёмкость и способен работать в этом режиме неограниченное время при сравнительно небольшом повышении температуры, вполне допустимом для его условий эксплуатации.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные программы имеют широкие возможности для моделирования различных физических процессов. Построив одну модель, можно изменять её параметры и условия протекания рабочих процессов, что позволяет изучить множество нюансов работы модели и предвидеть возможные проблемы. Благодаря использованию вышеописанных программных комплексов удалось смоделировать режим и характеристики работы устройства для резистивного заземления нейтрали даже до его практической опробации, что значительно снижает материальные затраты и позволяет предвидеть и сразу устранить все возможные отклонения в режиме работы устройства от нормы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Виштитеев А.В. Исследование эффективности резистивного заземления нейтрали в электрических сетях 6-35 кВ различного конструктивного исполнения и назначения: дис. ... канд. техн. наук: - Новосибирск, 2000. - 207 с.
- [2] Рыжкова Е.Н. О критериях выбора режима резистивного заземления нейтрали в сетях 6 - 35 кВ/ Е.Н. Рыжкова, М.А. Фомин, М.С. Жармагамбетова // Промышленная энергетика. – 2013. - №11. – С. 23-30.
- [3] Рыжкова Е.Н. О некоторых аспектах применения резистивного заземления нейтрали / Е.Н. Рыжкова, В.А. Востросаблина // Промышленная энергетика. - 2016. - №10. – С.54-61.
- [4] Устройство для резистивного заземления нейтрали сети: п. м. 171479 Российская Федерация: МПК H02H 9/08 (2006.01) / Е.Н. Рыжкова, Е.П. Младзиевский; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ". - №2017103674; заяв. 03.02.2017; опубл. 01.06.2017, Бюл. № 16.

Разработка компьютерной модели жаротрубного водогрейного котла, ее верификация и использование в процессе проектирования

П.В. Росляков, К.А. Плешанов, В.М. Супранов,
М.Н. Зайченко, И.Л. Ионкин, К.В. Стерхов
Кафедра Паровых и газовых турбин
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва, Россия
roslyakovpv@mpei.ru

Б.Г. Гриша
ООО "НИИ "Транснефть"
Москва, Россия
grishabg@niitnn.transneft.ru

Аннотация — В докладе рассмотрены проблемы теплового расчета жаротрубных котлов по существующим нормативным методикам, которые используются в программе *Boiler Designer*. Предложены пути решения этих проблем, позволившие разработать компьютерную модель водогрейного жаротрубного котла и использовать ее в процессе проектирования.

Ключевые слова — компьютерная модель; жаротрубный котел; конвективная составляющая теплообмена; коэффициент тепловой эффективности

I. ВВЕДЕНИЕ

Это исследование было проведено в ходе выполнения опытно-конструкторских работ по созданию жаротрубного водогрейного котла тепловой мощностью 3 МВт, предназначенного для сжигания сырой нефти, дизельного топлива и природного газа. Существующие нормативные методики теплового расчета котлов в основном создавались для водотрубных котлов большой тепловой мощности, поэтому при создании компьютерной модели пришлось решать многие проблемы.

II. РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ

Программа *Boiler Designer* [1] разработана фирмами «OPTSIM-K» и «KED» и поддерживается в России фирмой «OPTSIM-K». Она может быть использована для теплового, гидравлического и аэродинамического расчета котлов на органическом топливе и котлов-утилизаторов. Возможно также выполнение расчета тепловой схемы энергоблока в целом, в том числе с расчетом внедренного в эту схему котла. Помимо статических расчетов, можно моделировать и переходные процессы при переменных режимах работы объекта исследования. Количество элементов в расчетной схеме не ограничено, что является безусловным достоинством.

Программа *Boiler Designer*, позволяет использовать как зарубежные методики расчета, так и отечественные нормативные методики [2, 3], предназначенные в основном для энергетических котлов. Использование зарубежных методик затруднено ввиду отсутствия их

описаний, и традиционно в России используются собственные методики. Однако разработка компьютерных моделей жаротрубных водогрейных котлов в программе *Boiler Designer* связана с определенными трудностями, поскольку используемые в программе методики теплового расчета топки, базирующиеся на расчете безразмерного числа Больцмана Bo и безразмерной температуры на выходе из топки Θ [4], учитывают только радиационный теплообмен. В то же время последние исследования показали, что в стесненных топках жаротрубных котлов имеет место значительная доля конвективного тепловосприятия [5].

Кроме того, рекомендации по коэффициентам тепловой эффективности для топки и конвективных поверхностей нагрева, изложенные в [2, 3], относятся в основном к водотрубным котлам. Для решения этой проблемы пришлось использовать результаты испытаний жаротрубного водогрейного котла и анализировать опыт проведения расчетов другими организациями.

Основной целью этой работы было создание и верификация компьютерной модели жаротрубного котла, позволяющей учесть конвективную составляющую теплообмена в жаровой трубе.

При создании модели использовались результаты испытаний существующего 3-х ходового жаротрубного котла номинальной тепловой мощностью 3 МВт, при сжигании дизельного топлива. Жаровая труба этого котла имеет диаметр 926 мм, длину 3,2 м, поворотная камера имеет ширину 0,4 м. Первая конвективная поверхность состоит из 116 дымогарных труб диаметром 51 мм, вторая конвективная поверхность включает 48 дымогарных труб диаметром 60 мм. Данные, использованные при построении компьютерной модели этого жаротрубного котла, приведены в таб. 1.

В результате теплового расчета котла при строгом соответствии рекомендациям [2, 3] и принятии величины коэффициента тепловой эффективности дымогарных труб 0,85 была получена температура уходящих газов 236°C (рис. 1). Разница с результатами испытаний (табл. 1) составила более 40°C, что указывает на невозможность

использования методик [2, 3] без дополнительной корректировки.

Таблица 1. Результаты испытаний котла мощностью 3 МВт

№ пп	Наименование	Размерность	Значение
1	Тепловая мощность	МВт	3
2	Температура воды на входе в котёл	°С	85
3	Температура воды на выходе из котла	°С	110
4	Расход воды	т/ч	103
5	Расход дизельного топлива	т/ч	0,278
6	Температура дутьевого воздуха	°С	27
7	Температура уходящих газов	°С	195
8	Коэффициент избытка воздуха за котлом	-	1,37
9	Калорийность топлива	кДж/кг	42705
10	Потери от наружного охлаждения котла	%	0,28
11	КПД котла	%	91

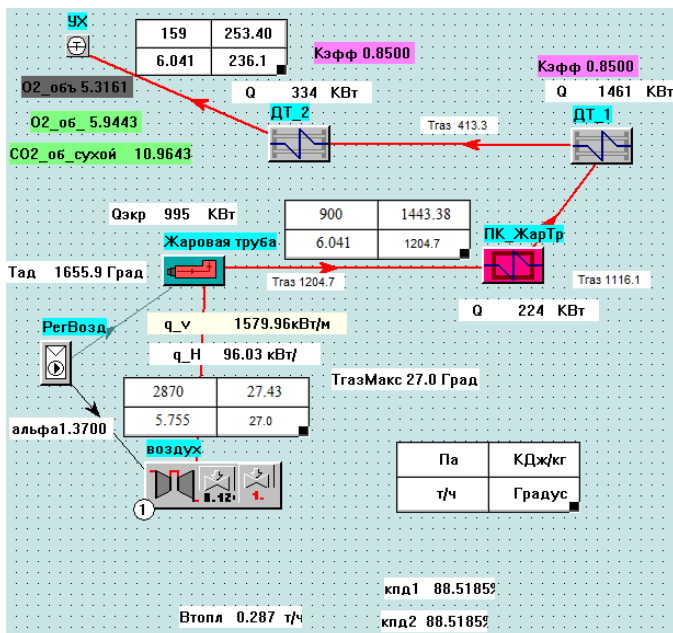


Рис. 1. Результат теплового расчёта котла в строгом соответствии с [4]

При повышении значения коэффициента тепловой эффективности дымогарных труб до теоретического максимума, равного 1, температура уходящих газов снижалась с 236°С до 197°С, что все равно было выше фактического значения.

Высокая расчетная температура на выходе из жаровой трубы, составившая более 1200°С (рис. 1), позволяет предположить, что её тепловосприятие определено со значительной погрешностью. Обычно котел, сжигающий жидкое топливо с высоким содержанием серы, проектируется так, чтобы температура газов на выходе из жаровой трубы не превышала 1200°С [2]. Из этого можно сделать вывод, что реальное тепловосприятие жаровой трубы больше расчетного. Это подтверждается данными [5, 6], которые указывают на наличие значительного конвективного тепловосприятия в жаровых трубах. Последнее имеет место в результате высоких скоростей газов в пограничном слое на внутренней поверхности

жаровой трубы, особенно при обтекании высокотемпературным факелом зоны обратных токов.

По этой причине на базе разработанной модели топочно-горелочного устройства были проведены дополнительные численные исследования жаровой трубы котла в программе ANSYS. Они показали, что в топке жаротрубного котла присутствует конвективная составляющая порядка 30 % от общего тепловосприятия [5].

Параллельно с этим исследованием была сделана попытка определить конвективное тепловосприятие жаровой трубы в по рекомендациям [3] с использованием эффективной температуры топочной среды. Расчеты показали, что топка воспринимает конвекцией 27 % от общего количества выделившегося тепла. Это также подтверждает, что при тепловом расчете топки жаротрубного котла необходимо учитывать конвективный теплообмен.

Учесть конвективную составляющую теплообмена в топке котла в программе Boiler Designer можно путем ввода дополнительного элемента «ЖарТруба», учитывающего конвективное тепловосприятие через эффективную температуру топочной среды (рис. 2). В результате расчетная температура продуктов сгорания на выходе из жаровой трубы составила 1079°С. При этом температура газов на входе в дымогарные трубы снижалась до 1006°С за счет тепловосприятия поворотной камеры. Температуры уходящих газов в 195°С удалось добиться при использовании коэффициентов тепловой эффективности дымогарных труб 0,95. При этом наблюдается совпадение рассчитанного расхода топлива и КПД котла (рис. 3) с величинами, приведенными в табл. 1, с погрешностью в пределах 2 %. Поэтому расчетная схема, показанная на рис. 2, послужила основой для разработки адаптированной компьютерной модели водогрейного жаротрубного котла.

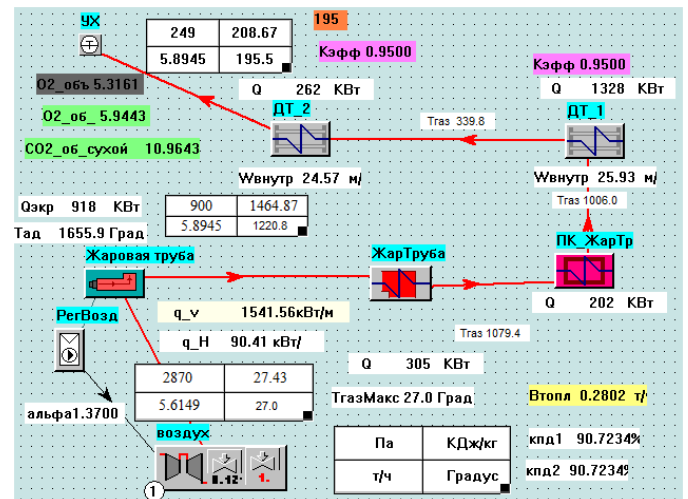


Рис. 2. Результат теплового расчёта котла с форсированной топкой

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕЛИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОТЛА

Разработанная компьютерная модель была использована при проектировании нового водогрейного жаротрубного котла тепловой мощностью 3 МВт, предназначенного для сжигания сырой нефти, дизельного топлива и природного газа. По условиям технического задания (ТЗ) его КПД должен быть не ниже 94 %. Поэтому в отличие от прототипа, по которому настраивалась модель, он укомплектован выносным газовым теплообменником для подогрева питательной воды. В окончательном виде он представлен на рис. 3, но без выносного теплообменника.

Горелка, которая на рисунке не показана, устанавливается на торце 1. В жаровой трубе 2 происходит горение топлива и образование продуктов сгорания, которые разворачиваются в первой поворотной камере 3 и попадают в первую конвективную поверхность нагрева 7. Затем эти газы разворачиваются во второй поворотной камере 4 и проходят через трубы второй конвективной поверхности 8. В жаровой трубе и дымогарных трубах конвективных поверхностей, погруженных в водяной объем котла внутри корпуса 6, происходит охлаждение продуктов сгорания и передача теплоты нагреваемой воде. Вода поступает в котел из выносного теплообменника по патрубку 9, а после нагрева до 95°C направляется к потребителю через патрубок 10.

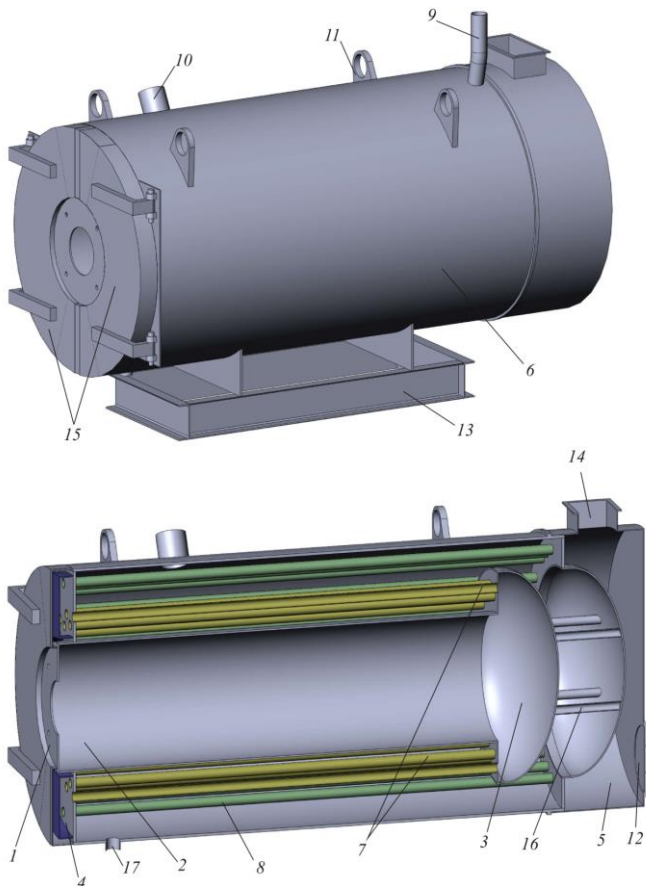


Рис. 3. 3D-модель спроектированного котла

После труб 8 газы перемешиваются в камере 5 и по газоходу 14 направляются в выносной газовый теплообменник. В конструкции котла предусмотрены проушины 11 для строповки, ремонтный лаз 12, опора 13, раскрывающиеся створки 15 для осмотра и очистки жаровой трубы и дымогарных труб, элементы дистанционирования 16.

При проектировании габаритные размеры корпуса котла и выносного теплообменника были ограничены по условиям ТЗ. По итогам CFD-моделирования топочного процесса в жаровой трубе ее внутренний диаметр выбран равным 950 мм и определена ее минимальная длина, при которой процесс горения был практически завершен. Окончательно длина трубы выбиралась так, чтобы при расчетах по разработанной модели температура на выходе из нее была ниже допустимых значений при работе на каждом виде топлива. Длина жаровых труб 7 получается такой же, а длина труб 8 — несколько больше по конструктивным соображениям.

Дальнейшая оптимизация конструкции котла обеспечивалась путем выбора количества и типоразмера дымогарных труб и выбора одной из возможных конструкций выносного теплообменника. Критериями для оптимизации были:

- выработка тепловой мощности 3 МВт при требуемой температуре воды на выходе из котла;
- максимальный КПД котла не ниже требований ТЗ;
- минимальная металлоемкость конструкции;
- способность котла снижать нагрузку до минимальных значений, заданных ТЗ;
- выполнение ограничений по скорости газов в дымогарных трубах;
- выполнение ограничений по скорости газов и массовой скорости воды в выносном теплообменнике;
- минимальное аэродинамическое и гидравлическое сопротивление котла и теплообменника.

Чтобы провести сравнение, необходимо было для каждой возможной конструкции котла выполнить его расчеты на номинальной и минимальной нагрузке для каждого вида топлива. При этом использовалась разработанная компьютерная модель котла.

Среди стандартных элементов программы *Boiler Designer* предусмотрены регуляторы разных типов, которые существенно упрощают проведение расчетов. Два из них использовались в компьютерной модели. Регулятор воздуха (рис. 4) позволяет поддерживать коэффициент избытка воздуха на выходе из жаровой трубы 1,15 в соответствии с ТЗ. Регулятор топлива (рис. 5) позволяет при фиксированном расходе воды поддерживать требуемую температуру воды на выходе из котла.

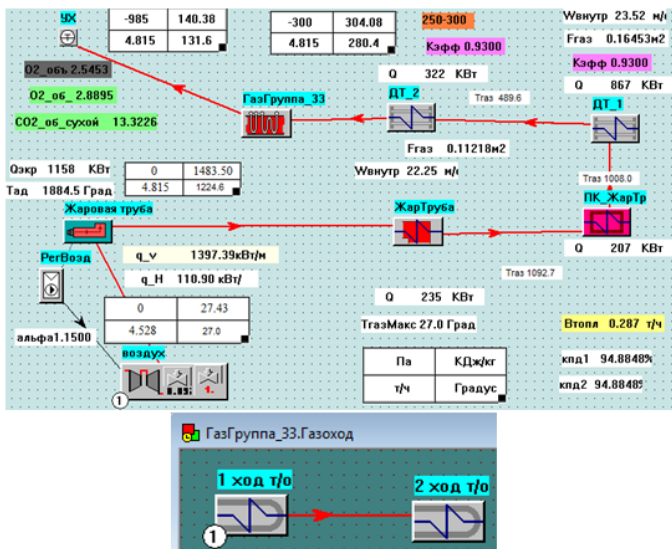


Рис. 4. Схема газового тракта котла

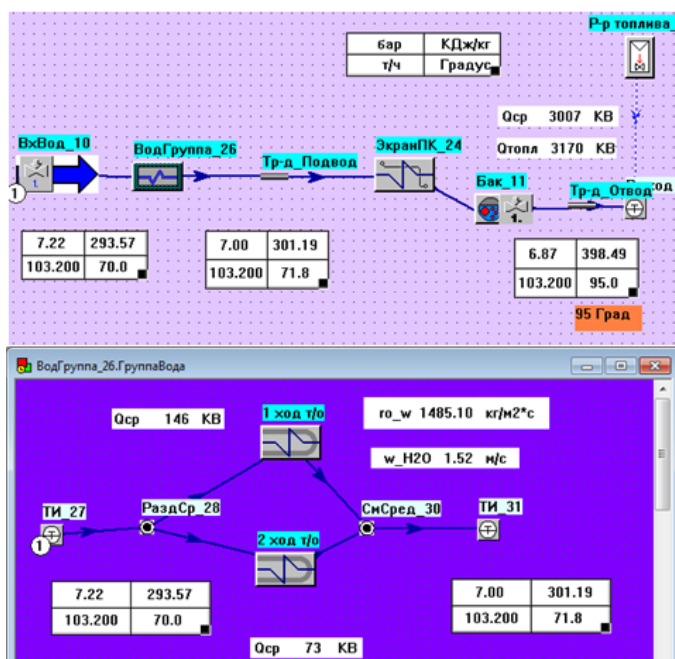


Рис. 5. Схема водяного тракта котла

По результатам выполненных расчетов был выбран оптимальный вариант конструкции котла. Первая конвективная поверхность включает 44, а вторая — 30 дымогарных труб с наружным диаметром 76 мм и толщиной стенки 3,5 мм. Выносной теплообменник выполнен двухходовым по газовой стороне и состоит из труб с наружным диаметром 32 мм и толщиной стенки 3 мм. Для выбранной конструкции котла требования по экономичности работы выполняются с запасом, т.к. расчетные значения КПД при сжигании всех видов топлива немного выше, чем приведенные в техническом задании. Основные технико-экономические характеристики разработанного котла представлены в табл. 2.

Таблица 2. Технико-экономические характеристики котла

№ пп	Параметр	Обозн.	Размерн.	Величина
1	Габаритные размеры основного корпуса котла	Д×Ш×В	мм	4726×1582××2299
2	Масса металла котла без учета опор и выносного экономайзера	G_m	кг	2543
3	Удельная металлоемкость с учетом экономайзера	g_m	кг/МВт	1458
4	Протяженность сварных швов (без экономайзера)	$L_{с.ш}$	м	1400
5	Аэродинамическое сопротивление котла с учетом выносного экономайзера	Δp_a	Па (мм. вод. ст)	764-814 (~80)
6	Гидравлическое сопротивление котла с учетом выносного экономайзера	Δp_r	МПа (кгс/см ²)	0,1 (1,1)
7	Температура уходящих газов (нефть/газ/дизельное топливо)	ϑ_{yx}	°С	131/133/131
8	КПД брутто котла с учетом установки выносного экономайзера (нефть/газ/дизельное топливо)	η_k	%	94,9/94,5/94,9
9	Расход сырой нефти	B_n	кг/ч	286,8
10	Расход природного газа	$B_{п.г}$	нм ³ /ч	308,3
11	Расход дизельного топлива	B_d	кг/ч	267,5

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе программы *Boiler Designer* разработана компьютерная модель жаротрубного водогрейного котла. Она успешно применена при проектировании нового котла тепловой мощностью 3 МВт. Головной образец изготовлен, прошел испытания и находится в стадии эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Расчет котельных агрегатов с использованием современных программных продуктов / Г.И. Доверман, Б.Л. Шельгин, А.В. Мошкарин, Ю.В. Мельников. Иваново: ИГЭУ, 2007.
- [2] Тепловой расчет котлов (нормативный метод). 2-е изд. СПб.: ЦКТИ, 1998.
- [3] Тепловой расчёт котельных агрегатов (Нормативный метод) / Под ред. Н.В. Кузнецова и др. М.: Энергия, 1973.
- [4] Блох А.Г., Журавлев Ю.А., Рыжков Л.Н. Теплообмена излучением : Справочник. М: Энергоатмиздат, 1991.
- [5] Росляков П.В. Разработка комбинированного малоэмиссионного горелочного устройства для котлов малой мощности / П.В. Росляков, Ю.В. Проскурин, Д.А. Хохлов // Теплоэнергетика. 2017. № 5. С. 56–65. doi: 10.1134/S0040363617050022
- [6] Хаустов С.А., Заворин А.С., Фисенко Р.Н. Численное исследование процессов в жаротрубной топке с реверсивным факелом // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322. – № 4. – С. 43–47.

Использование ANSYS для оптимизации газового тракта выносного экономайзера

П.В. Росляков, Д.А. Хохлов,
Л.Е. Егорова, М.Н. Зайченко.

Кафедра Паровых и газовых турбин
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва, Россия
roslyakovpv@mpei.ru

Б.Г. Гриша

Лаборатория энергоэффективных технологий
транспорта нефти и нефтепродуктов
ООО «НИИ Транснефть»
Москва, Россия
grishabg@niitnn.transneft.ru

Аннотация — В докладе рассмотрено применение программного комплекса вычислительной гидродинамики ANSYS CFX для решения задачи по оптимизации конструкции с целью обеспечить минимальное аэродинамическое сопротивление. Объектом исследования является газоход выносного экономайзера жаротрубного котла, который был разработан в «НИУ «МЭИ».

Ключевые слова — ANSYS; жаротрубный котел; выносной экономайзер; аэродинамическое сопротивление; оптимизация конструкции

I. ВВЕДЕНИЕ

Современные жаротрубные котлы широко используются в различных отраслях как источники теплогенерации малой и средней мощности. ПАО «Транснефть» на своих подведомственных объектах эксплуатирует большое количество жаротрубных котлов, которые в основном работают на сырой нефти, содержащей в своем составе до 3% серы. В [1, 2] была предложена компоновка жаротрубного котла с выносным водотрубным экономайзером (Рис. 1). Такое решение позволяет обеспечить КПД не менее 94% и одновременно снизить затраты на замену элементов, подвергающихся коррозии.

II. РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ

Для оптимизации конструкции экономайзера проводились исследования по влиянию конструкции газохода на его аэродинамическое сопротивление. Оптимальный вариант должен был соответствовать следующим критериям:

- обеспечение низкого аэродинамического сопротивления газоходов;
- обеспечение конструктивной простоты исполнения;
- отсутствие нестационарных эффектов в потоке.

Исследование аэродинамики газохода проводилось путем моделирования потока газов в программной среде ANSYS CFX. Данный пакет используется для численного моделирования газодинамических процессов [3, 4] и отличается использованием современных математических моделей физико-химических процессов и устойчивым решателем.

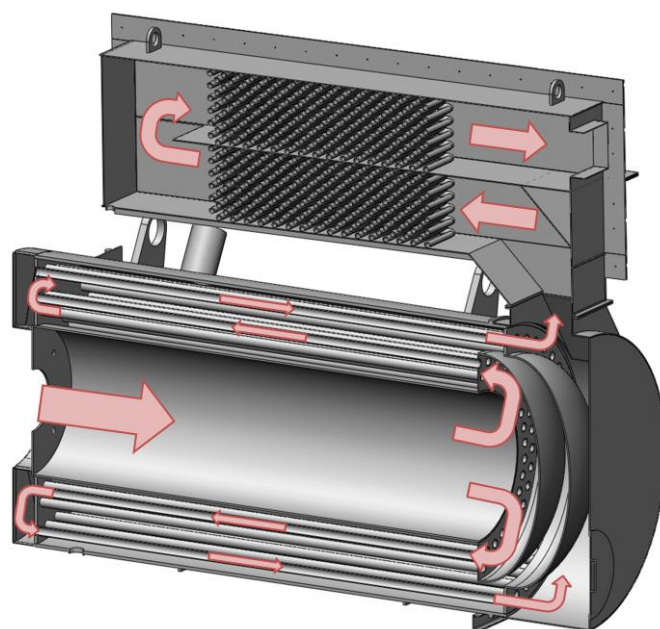


Рис. 1. Схема жаротрубного котла с выносным экономайзером

Объектом исследований являлся газоход выносного экономайзера разрабатываемого жаротрубного котла. Подготовка трёхмерной геометрической модели осуществлялась в программе SolidWorks. Общий вид модели объекта исследований показан на Рис. 2.

В качестве расчётной области для проведения исследований была использована часть тракта продуктов сгорания жаротрубного котла. Это было сделано для упрощения постановки задачи. Кроме того для уменьшения размерности сетки и исключения различных мест, в которых могут образовываться элементы сетки низкого качества, трёхмерная модель была подготовлена без различных элементов крепления, дистанционирования, жёсткости.

В подготовленной трёхмерной модели газы выходят из дымогарных труб и собираются в выпускной камере, после которой переходят в часть экономайзера при помощи перепускного газохода (Рис. 2). Далее газы противоточно омывают часть змеевиков экономайзера.

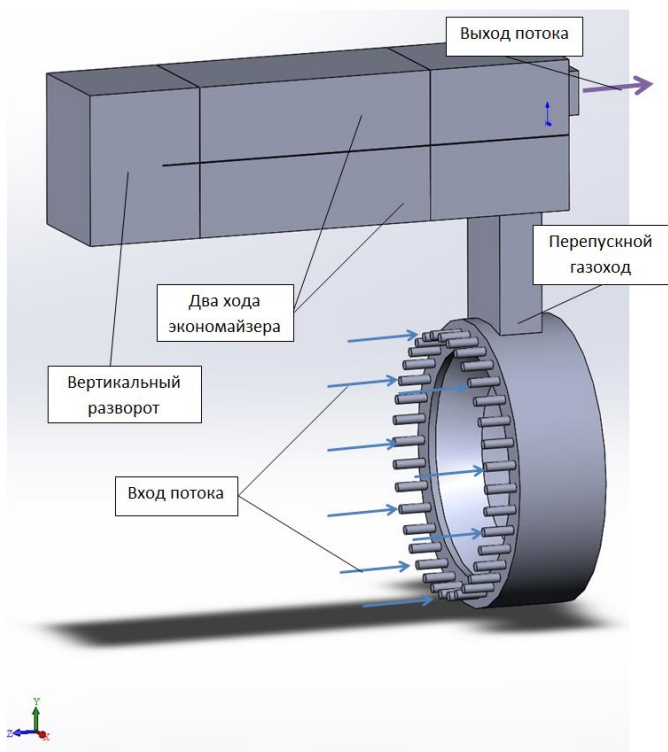


Рис. 2. Общий вид трёхмерной геометрической модели объекта исследований

После первого горизонтального хода экономайзера газы разворачиваются на 180° , проходят второй горизонтальный ход экономайзера и направляются в газопод уходящих газов. В ходе проведения исследований оценивалось влияние конструкции перепускного газопода и вертикального разворота на структуру потока, а также велась разработка более совершенной конструкции газопода.

Поверхности нагрева (два хода экономайзера) моделировались при помощи модели пористого тела с активированными источниками, то есть геометрия отдельных труб не моделировалась. Это связано с тем, что сложность при моделировании труб поверхностей нагрева многократно превышает сложность задачи при расчёте пористых тел, а масштаб завихрений создаваемых каждой отдельной трубой не оказывает почти никакого влияния на картину течения в целом.

Режим течения в экономайзере является ярко выраженным турбулентным, поэтому для описания движения среды использовался один из наиболее распространённых методов – *RANS* (*Reynolds Averaged Navier-Stokes equations*), т.е. решение осреднённых по времени уравнений Навье-Стокса. Для замыкания системы осреднённых уравнений Навье-Стокса (расчёта пульсаций) была использована стандартная *k-ε* модель турбулентности [5], которая позволяет получить довольно точные результаты.

Теплообмен в поверхностях нагрева также, как и их аэродинамическое сопротивление, моделировалось при помощи модели пористого тела, путём задания

источниковых членов (стока) тепловой энергии. Локальное значение удельного теплосъёма ($\text{кВт}/\text{м}^3$) определялось с учётом результатов теплогидравлического расчёта (таблица 1). Тепловая неравномерность, создаваемая изменением температуры воды в поверхностях экономайзера, не учитывалась ввиду ее ничтожности (нагрев воды в выносном экономайзере составляет $2-3^\circ\text{C}$).

Таблица 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЁТА, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ

Поверхность / нагрузка	Тепловосприятие, кВт	Аэродинамическое сопротивление, Па
1й ход экономайзера / нагрузка 100%	92,37	258
2й ход экономайзера / нагрузка 100%	56,90	227
1й ход экономайзера / нагрузка 40%	24,65	43
2й ход экономайзера / нагрузка 40%	12,98	39

В данных исследованиях была использована неструктурированная расчётная сетка построенная в программе *ANSYS MESHING* при помощи алгоритмов *Delaunay*, *Sweep* и *Advancing Front*, объединённых названием «Автоматический» [6, 7]. Общий вид расчётной сетки представлен на Рис. 3. Сетка состояла из 4371863 элементов, размер минимального и максимального элементов составлял соответственно 1 мм и 17,5 мм. Был проведён контроль её качества, который показал, что значение асимметрии 0,195 (макс. 0,87) и соотношения размеров 1,9 (макс. 15,6) укладываются в пределы нормы – 0,8 (макс. 0,95) и 4 (макс. 40) соответственно [6].

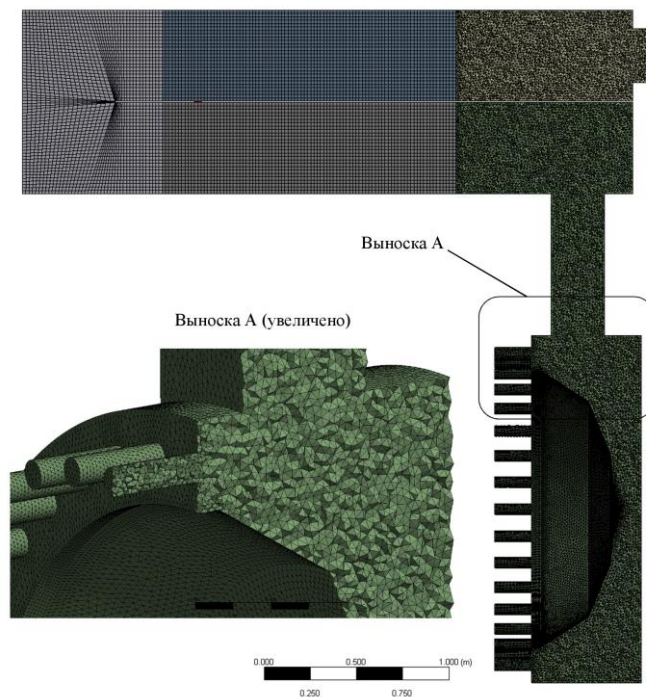


Рис. 3. Общий вид расчётной сетки для исследований экономайзера котла и расчётная сетка в области выхода из дымогарных труб второго хода (Выноска А)

III. ПРОВЕДЕНИЕ РАСЧЁТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ГАЗОХОДА ЭКОНОМАЙЗЕРА

В ходе исследований было проведено восемь вариантов газохода (Рис. 4).

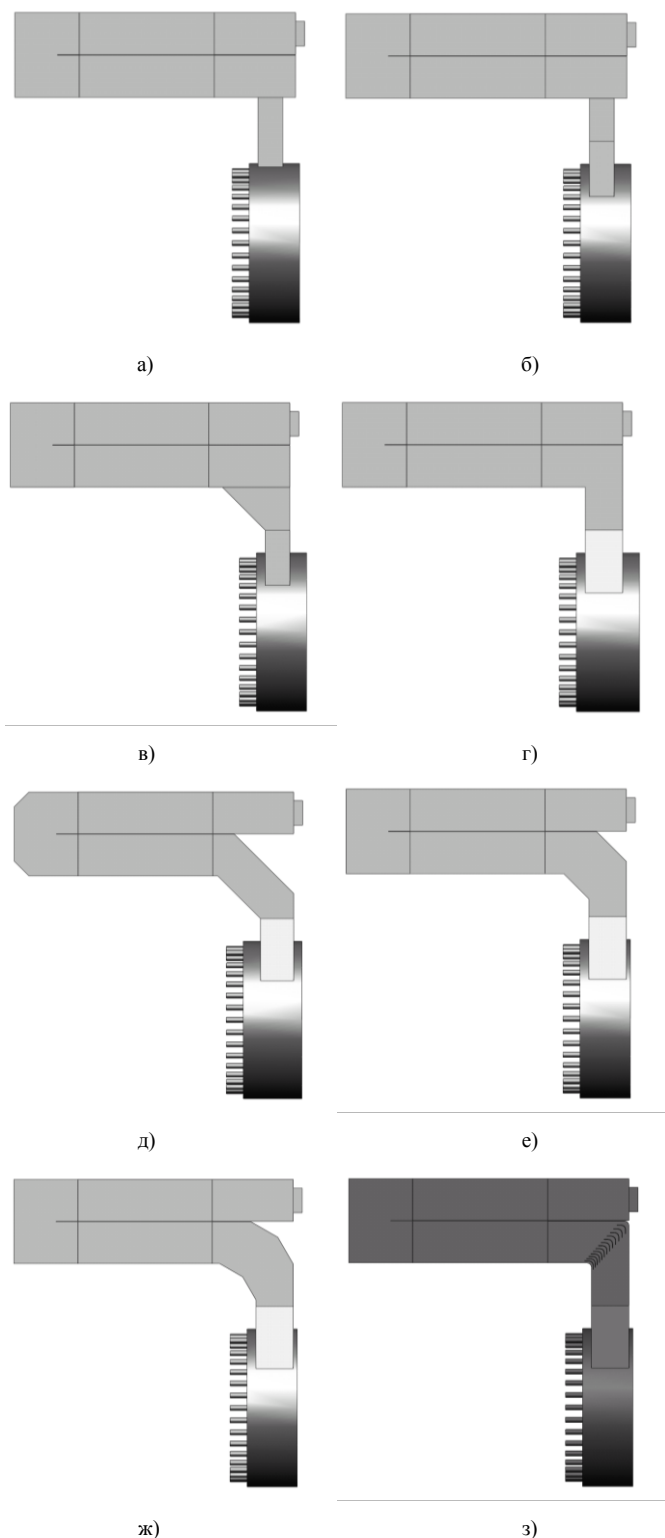


Рис. 4. Варианты конструкции газохода: а) №1; б) №2; в) №3; г) №4; д) №5; е) №6; ж) №7; з) №8

Вариант №1 (Рис. 4а) является базовым, и все конструкторские решения в нём приняты с учётом наиболее простого конструктивного исполнения итоговой конструкции. В конструкции варианта №2 (Рис. 4б) изменена конструкция перепускного газохода, чтобы на выходе из выпускной камеры не было резкого сужения потока.

В конструкции варианта №3 (Рис. 4в) перепускной газоход расширяется с приближением к газоходу экономайзера для обеспечения более равномерного движения потока на входе в него. Вариант №4 (Рис. 4г) основан на конструкции варианта №2, однако ширина соединительного газохода (вдоль оси котла) увеличена до максимально возможной.

В конструкции варианта №5 (Рис. 4д) сильно изменена конструкция не только перепускного короба, но и входной части газохода экономайзера. Также в этом варианте доработан вертикальный разворот потока таким образом, чтобы убрать застойные зоны в углах газохода. В варианте №6 (Рис. 4е) доработан ввод газов в экономайзер с позиции увеличения плавности поворота газов. Конструкция варианта №7 (Рис. 4ж) основана на конструктиве варианта №6. При этом ввод газов в экономайзер осуществляется ещё более плавно.

В варианте №8 (Рис. 4з) в конструкции экономайзера использованы спрямляющие устройства [8] на выходе из перепускного короба. Это было сделано для того, чтобы обеспечить выравнивание потока без существенного изменения геометрии стен газохода экономайзера.

IV. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ГАЗОХОДА ЭКОНОМАЙЗЕРА

Основным критерием, который был использован для выбора оптимального решения, являлась минимизация аэродинамического сопротивления, которое определялось, как разница между среднеинтегральными значениями полных давлений на входе и выходе из расчётной области. Также оценивалась стационарность исследуемой картины течения и минимизация различных вихревых и застойных зон путём анализа полей скоростей, давлений и т.д.

В базовом варианте №1 на выходе из перепускного короба наблюдается мощная струя, которая создаёт несколько вихревых зон перед входом в первый ход экономайзера. Также наблюдаются вихревые зоны и на входе в перепускной короб из-за того, что его сечение достаточно мало и поток испытывает эффект резкого сужения. За счёт этого в данном варианте наблюдается высокое аэродинамическое сопротивление (таблица 2).

В варианте №2 конструкции газохода экономайзера удалось улучшить картину течения на входе в перепускной короб, однако это не принесло кардинальных улучшений с точки зрения его аэродинамического сопротивления. В варианте №3 ситуация на входе непосредственно в поверхность нагрева лучше, однако на выходе из перепускного короба сохраняется мощная вертикальная струя, которая создаёт вихри потока и, следовательно, потери давления в коробе экономайзера.

Таблица 2. ДАННЫЕ ПО АЭРОДИНАМИЧЕСКОМУ СОПРОТИВЛЕНИЮ В ИССЛЕДОВАННЫХ ВАРИАНТАХ

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
Аэродинамическое сопротивление с учетом сопротивления поверхностей нагрева экономайзера, Па	690	683	663	646	642	638	637	647
Аэродинамическое сопротивление ^а без учёта сопротивления поверхностей нагрева экономайзера, Па	205	198	178	161	157	153	152	162
Снижение аэродинамического сопротивления ^а без учёта поверхностей нагрева экономайзера по сравнению с базовым вариантом, %	—	3,4	13,2	21,5	23,4	25,4	25,9	21,0

^а Аэродинамическое сопротивление газового тракта на участке от выхода из второго хода дымогарных труб до выхода из экономайзера

По этой причине было принято решение об увеличении сечения перепускного короба (вариант №4), что привело и к созданию более благоприятных условий на входе в поверхность нагрева, и к существенному снижению аэродинамического сопротивления всего тракта продуктов сгорания. Однако за счёт резкого поворота на 90° в коробе сохранились вихревые зоны, в которых теряется энергия потока.

В варианте конструкции газохода экономайзера №5 перепускной газоход был наклонён слишком сильно, что привело к потере устойчивости потока в месте его поворота, что естественным образом привело к необходимости снижения габаритов этого перехода (вариант №6), в котором удалось достичь наиболее полного заполнения короба прямоточным потоком продуктов сгорания. Это привело к снижению аэродинамического сопротивления потока практически до минимального уровня, полученного при проведении серии исследований (таблица 2).

На Рис. 5 показано распределение полного давления для наиболее оптимального варианта №6 на номинальной и минимальной нагрузках.

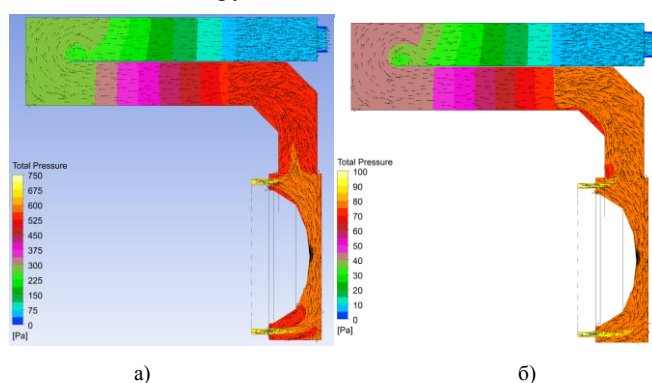


Рис. 5. Распределение полного давления (Па) с наложенными векторами по скорости для варианта №6 при нагрузке 100% (а) и 40% (б) от номинальной

Аэродинамическое сопротивление с учётом поверхностей нагрева на минимальной нагрузке составляет 88,2 Па. Очевидно, что хотя размер зон с низким значением скорости возрастает в связи с низкой интенсивностью потока, это не сказывается на эффективности омывания поверхностей нагрева и не приводит к потере устойчивости течения.

Решение использовать в качестве оптимальной конструкцию варианта №6 исполнения газохода экономайзера позволило снизить аэродинамическое сопротивление на 25,3% (без учёта поверхностей нагрева) по сравнению с базовым вариантом.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью программного комплекса *ANSYS CFX* были проведены исследования аэродинамики выносного экономайзера жаротрубного котла повышенной эффективности. Полученные результаты позволили оптимизировать конструкцию газохода экономайзера с позиций аэродинамического сопротивления, предотвращения образования вихревых и застойных зон. Экономайзер изготовлен и прошел испытания совместно с жаротрубным котлом, подтвердившие заложенные в конструкцию показатели, в том числе и аэродинамическое сопротивление.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Разработка энергоэффективных конструктивных решений для малогабаритного водогрейного котла / Росляков П.В., Ионкин И.Л., Стерхов К.В., Проскурин Ю.В. // Промышленная энергетика. 2017. № 3. С. 25-32.
- [2] Технические решения для малогабаритных водогрейных котлов / Росляков П.В., Ионкин И.Л., Плешанов К.А., Проскурин Ю.В. // Промышленная энергетика. 2017. № 8. С. 44-51.
- [3] Влияние способа ввода газов рециркуляции и конфигурации амбразуры вихревой горелки на горение газового топлива и образование оксидов азота в факеле // Двойнишников В.А., Хохлов Д.А., Князьков В.П., Ершов А.Ю. / Теплоэнергетика. 2017. № 5. С. 56-65. DOI: 10.1134/S0040363617050022
- [4] Численные исследования малозмиссионных горелочных устройств для сжигания полукоксового газа в энергетическом котле // Росляков П.В., Морозов И.В., Зайченко М.Н., Сидоркин В.Т. / Теплоэнергетика. 2016. № 4. С. 40-49. DOI: 10.1134/S0040363616040068
- [5] Launder, B. E. The Numerical Computation of Turbulent Flow / B. E. Launder, D. B. Spalding // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. –1974. –№3. –С. 269–289
- [6] Introduction to ANSYS Meshing 14.5 [Электронный ресурс] // Ansys Customer Portal. Режим доступа: https://support.ansys.com/AnsysCustomerPortal/en_us/Knowledge%20Resources/Tutorials%20%20Training%20Materials/Training%20Files/Introduction+to+ANSYS+Meshing+14.5
- [7] Ansys Help 14.5 Release [Электронный ресурс]. – Электронн. справка для пакета программ Ansys 14.5
- [8] Мочан, С.И. Аэродинамический расчёт котельных установок (Нормативный метод) / С.И. Мочан – Ленинград: Энергия, 1977.

Моделирование радиотехнических сигналов и цепей в Scilab и Xcos

Н.О. Стрелков

НИУ МЭИ: ИРЭ им. В.А. Котельникова, кафедра ОРТ
Москва, Россия
StrelkovNO@mpei.ru

Аннотация — В настоящей статье рассматривается применение свободно распространяемого математического пакета Scilab и его системы визуального моделирования Xcos для моделирования сигналов и их прохождения через радиотехнические цепи.

Ключевые слова — Scilab, Xcos, моделирование, сигнал, цепь.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящей статье даны основы моделирования часто используемых радиотехнических сигналов и их прохождения через цепи в среде Xcos свободно распространяемого математического пакета Scilab [1].

Неоспоримыми преимуществами использования этого программного пакета являются: открытый характер его разработки, большое количество встроенных функций (в том числе для обработки сигналов), лицензионная чистота (продукт выпущен под открытой GPL-совместимой лицензией CeCILL), более чем двадцатилетняя история, бесплатность для конечного пользователя, большое количество разрабатываемых сообществом независимых разработчиков модулей расширения (доступны в системе Scilab ATOMS [2]), кроссплатформенность (программа доступна на всех основных платформах – Microsoft Windows, Apple macOS, дистрибутивах GNU/Linux).

Пакет Scilab имеет широкий набор функций для обработки аналоговых и цифровых (дискретных) сигналов. Использование таких функций возможно как при написании программ на языке программирования Scilab, так и при создании моделей радиотехнических сигналов и цепей в среде визуального моделирования Xcos.

При использовании визуальной среды моделирования Xcos достигается высокая степень наглядности и простота изменения параметров модели. Визуальная среда моделирования Xcos может быть использована как отдельно, так и при взаимодействии с программой, написанной на языке Scilab. В последнем случае возможно сравнение результатов расчета, полученных по аналитическим формулам, с результатами, полученными при визуальном моделировании в Xcos.

Получаемые файлы программ и схемы моделей могут быть легко модифицированы для изменения их структуры и принципов функционирования, поэтому использование данного программного продукта в учебном процессе оказывается полезным и эффективным с методической

точки зрения.

На текущий момент времени наиболее полное руководство по визуальному моделированию в Scilab представлено в книге [3]. Однако у этой книги есть существенный недостаток – она была издана в 2010 году и описывает работу в среде Scicos 4.4, которая на настоящий момент времени устарела, но по-прежнему может быть загружена и установлена с соответствующего сайта [4]. В настоящей статье мы будем рассматривать современную стабильную версию Scilab 5.5.2.

Scilab и Xcos позволяют выполнять моделирование с помощью языка Modelica. Для этого требуется компилятор из состава GCC [5]. Под операционной системой Microsoft Windows он может быть установлен вместе с пакетом MinGW по инструкции [6]. Отметим, что установка набора компиляторов GCC MinGW в операционных системах Apple macOS и дистрибутивах GNU/Linux обычно не требуется. Вместо этого используется обычный компилятор GCC или компилятор из состава XCode в macOS.

Интерфейс программы Scilab переведен на многие языки, включая русский. Однако качество перевода не всегда высоко, поэтому при первом запуске программы Scilab рекомендуется переключить интерфейс программы на английский язык. Для этого следует в меню **Правка** выбрать пункт **Настройка**, в открывшемся окне в разделе **Общее** в выпадающем списке **Язык по умолчанию** выбрать **Английский**, нажать на кнопку **ОК** и перезапустить программу.

Знакомство с синтаксисом языка Scilab читатели могут выполнить самостоятельно, например, по работе [7]. В настоящей статье наибольшее внимание уделено среде визуального моделирования Xcos, поэтому количество используемых инструкций на языке Scilab минимально.

II. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ SCILAB И XCOS ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ И ИХ ПРОХОЖДЕНИЯ ЧЕРЕЗ ЦЕПИ

Scilab и Xcos позволяют выполнять моделирование радиосигналов и их прохождения через электрические цепи. Моделирование начинается с выбора математической модели изучаемых процессов и задания их параметров.

Запуск среды визуального моделирования Xcos выполняется выбором из меню **Applications** пункта **Xcos**. В результате открываются два окна – палитра блоков (**Palette**

browser) и пустое окно для модели (*Xcos*). Окно палитры блоков может быть открыто в любой момент выбором в окне *Xcos* из меню *View* пункта *Palette browser*. Палитры блоков содержат разделенные по категориям элементарные блоки.

А. Используемые блоки *Xcos*

Используемые в настоящей статье палитры и блоки представлены в таблице 1.

Параметры этих блоков будут рассмотрены на примерах в дальнейшем. Подробное описание всех блоков дано во встроенной в программу справке (меню *?*, пункт *Scilab Help*) или по нажатию правой кнопки мыши на конкретном блоке и выбором пункта меню *Block help*.

Размещение блоков в окне модели выполняется перетаскиванием нужного блока левой кнопкой мыши с палитры в область окна модели. Соединение блоков выполняется с помощью левой кнопки мыши. В процессе создания модели рекомендуется включить сетку (меню *Format*, пункт *Grid*).

Входы и выходы блоков делятся на информационные (черные) и тактирующие (красные). Так, например, для отображения графика сигнала на осциллографе следует подключить к нему источник сигнала и блок тактирования (например, *CLOCK_c*). При этом расчет и построение графика будет выполняться в дискретные моменты времени, формируемые блоком тактирования.

Программа *Xcos* позволяет задавать параметры расчета модели при моделировании. Эти параметры могут быть заданы выбором из меню *Simulation* пункта *Setup*. Во всех рассматриваемых в настоящей статье примерах используются настройки по умолчанию.

При моделировании оказывается удобным задание значений используемых величин в виде переменных (например, амплитуд, частот, шага дискретизации, времени окончания моделирования). Такие переменные могут быть введены после выбора из меню *Simulation* пункта *Set Context* (далее просто контекст).

После соединения всех блоков между собой построенная модель может быть запущена выбором из меню *Simulation* пункта *Start*. В случае, если в модели имеются ошибки, они обозначаются желтым восклицательным знаком в треугольнике. Такая модель может быть запущена только после исправления всех ошибок.

Рассмотрим несколько примеров моделирования прохождения сигналов через цепи.

В. Примеры моделирования

1) Воздействие гармонического колебания на цепь с известным коэффициентом передачи

Выполним моделирование воздействия гармонического колебания $u(t) = U_m \sin(\omega_0 t) \sigma(t)$ на блок с известным

$$\text{коэффициентом передачи } H(s) = \frac{1}{a + s}.$$

Таблица 1. ПАЛИТРЫ И БЛОКИ *XCOS*

Палитра	Графическое обозначение	Описание блока
Математических операций (Mathematical operations)		EXPBLK_m – блок для возведения в степень скалярного или векторного значения
		PROD_f – блок для перемножения двух входных сигналов
Систем непрерывного времени (Continuous time systems)		CLR – блок для задания операторного коэффициента передачи
Электрических элементов (Electrical)		CCS – управляемый источник тока
		CVS – управляемый источник напряжения
		Capacitor – конденсатор
		CurrentSensor – амперметр
		Ground – заземление, нулевой потенциал
		Inductor – катушка индуктивности
		Resistor – резистор
		VoltageSensor – вольтметр
Источников сигналов и воздействий (Sources)		CLOCK_c – блок, формирующий дискретные временные отсчеты для тактирования моделируемой схемы или ее части
		GENSIN_f – блок, формирующий синусоидальное напряжение
		RAMP – блок, формирующий линейно нарастающий сигнал
		STEP_FUNCTION – блок, формирующий ступенчатый сигнал
		TIME_f – блок, формирующий сигнал текущего времени
Регистрирующих устройств (Sinks)		CSCOPE – блок осциллографа, отображает входной сигнал в дискретные моменты времени
		CMSCOPE – блок двух- и более канального осциллографа, отображает входные сигналы в дискретные моменты времени
		ENDBLK – блок, в котором задается время окончания моделирования
Пользовательских функций (User defined functions)		scifunc_block_m – блок, выполняющий расчет выходного сигнала через заданную пользователем функцию от входного сигнала

Определять будем выходное напряжение $u_{out}(t)$.

Точное математическое выражение для выходного

напряжения для такой модели имеет вид:

$$u_{out}(t) = \frac{\omega_0 U_m}{a^2 + \omega_0^2} \left[e^{-at} - \cos(\omega_0 t) + \frac{a}{\omega_0} \sin(\omega_0 t) \right] \sigma(t) \quad (1)$$

Модель Xcos для этого случая представлена на рис. 1. Параметры модели следующие: $U_m = 1$ В, $\omega_0 = 100$ рад/с, $a = 10$.

Перед моделированием зададим контекст модели с используемыми переменными (см. листинг 1).

```

Листинг 1. Контекст для моделирования воздействия гармонического
колебания на цепи с известным коэффициентом передачи
clc; // очистка окна терминала
xdel(winsid()); // закрытие всех графиков

Um = 1; // амплитуда гармонического колебания
w0 = 100; // частота гармонического колебания
a = 10;

delta_t = 1e-4; // период следования отсчетов
t_end = 20*pi/w0; // время окончания моделирования
    
```

При моделировании используются следующие блоки: GENSIN_f (**Magnitude** = Um, **Frequency (rad/s)** = w0, **Phase (rad)** = 0), CLR (**Numerator (s)** = 1, **Denominator (s)** = a + s), CSCOPE (**Ymin** = -2.5*y_max, **Ymax** = 2.5*y_max, **Refresh period** = t_end, **Buffer size** = t_end/delta_t), CLOCK_c (**Period** = delta_t, **Initialisation Time** = 0), ENDBLK (**Final simulation time** = t_end). На рис. 2 представлена зависимость напряжения на выходе цепи от времени.

По рис. 2 видно соответствие формы выходного сигнала его математическому выражению (1).

2) Воздействие функции Дирака на фильтр нижних частот

Рассмотрим воздействие напряжения в виде функции Дирака (дельта-функции) $u_{in} = \delta(t-t_0)$ на фильтр нижних частот (ФНЧ), построенного из резистора сопротивлением R и конденсатора емкостью C. Определять будем напряжение на конденсаторе $u_{out}(t)$.

Точное математическое выражение для выходного напряжения для такой модели имеет вид:

$$u_{out}(t) = \alpha e^{-\alpha(t-t_0)} \sigma(t-t_0), \quad (2)$$

где $\alpha = (RC)^{-1}$ – коэффициент затухания.

Для получения напряжения на конденсаторе построим модель цепи с использованием электрических блоков (см. рис. 3).

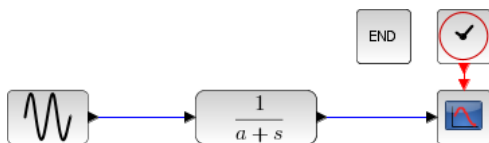


Рис. 1. Модель для исследования воздействия гармонического сигнала на цепь с известным коэффициентом передачи

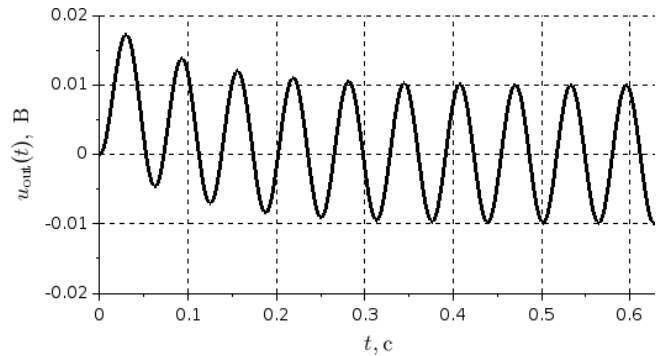


Рис. 2. Зависимость напряжения на выходе цепи от времени

Параметры модели следующие: $R = 10$ кОм, $C = 100$ мкФ, $t_0 = 1$ с.

Контекст модели представлен в листинге 2.

Листинг 2. Контекст для моделирования воздействия функции Дирака на ФНЧ

```

clc; // очистка окна терминала
xdel(winsid()); // закрытие всех графиков

delta_t = 1e-3; // период следования отсчетов
t_end = 8; // время окончания моделирования

Um = 1/delta_t; // "амплитуда" дельта-функции
t0 = 1; // время появления дельта-функции

R = 1e4; // сопротивление резистора
C = 1e-4; // емкость конденсатора
alpha = 1 / (R*C); // коэффициент затухания

y_max = 1; // вертикальный предел
    
```

В модели, представленной на рис. 3 входной сигнал в виде дельта-функции $u(t) = U_m \delta(t-t_0)$ смоделируем задав ее амплитуду в виде $U_m = 1 \text{ В} \cdot \text{с} / \Delta t$, где Δt – период формирования дискретных моментов времени в Xcos. Это позволит соблюсти требование равенства единице интеграла от дельта-функции в бесконечных пределах.

При моделировании используются следующие блоки: для моделирования дельта-функции – TIME_f и scifunc_block_m (во втором окне настроек **Define function which computes the output**: $y1 = U_m * (t == t_0)$); для моделирования цепи – CVS, Resistor (**R (ohm)** = R), Capacitor (**C (F)** = c, **Initial Voltage** = 0), VoltageSensor и блоки Ground; CSCOPE (**Ymin** = -0.2*y_max, **Ymax** =

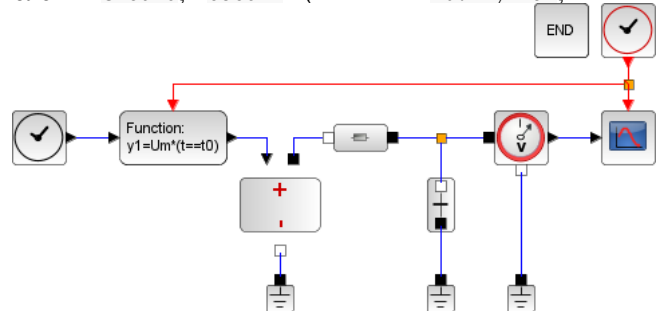


Рис. 3. Модель для исследования воздействия дельта-функции на ФНЧ

$1.2 \cdot y_{\max}$, **Refresh period** = t_{end} , **Buffer size** = $t_{\text{end}}/\text{delta } t$, **CLOCK c** (**Period** = $\text{delta } t$, **Initialisation Time** = 0), **ENDBLK** (**Final simulation time** = t_{end}). На рис. 4 представлена временная зависимость, соответствующая выражению (2).

3) Воздействие функции Хевисайда на фильтр верхних частот

Рассмотрим воздействие напряжения в виде единичного скачка (функции Хевисайда) $u(t) = U_m \sigma(t - t_0)$ на фильтр верхних частот (ФВЧ), построенного из резистора сопротивлением R и индуктивности L . Определять будем ток в цепи $i_{\text{out}}(t)$.

Точное математическое выражение для тока в такой модели имеет вид:

$$i_{\text{out}}(t) = \frac{U_m}{R} [1 - e^{-\alpha(t-t_0)}] \sigma(t-t_0), \quad (3)$$

где $\alpha = R/L$ – коэффициент затухания.

Для получения тока в цепи построим модель (см. рис. 5). Параметры модели следующие: $R = 10 \text{ Ом}$, $L = 10 \text{ мГн}$, $U_m = 1 \text{ В}$, $t_0 = 1 \text{ мс}$.

Контекст для модели представлен в листинге 3.

Листинг 3. Контекст для моделирования воздействия функции Хевисайда на ФВЧ

```

clc; // очистка окна терминала
xdel(winsid()); // закрытие всех графиков

delta t = 1e-5; // период следования отсчетов
t end = 15e-3; // время окончания моделирования

Um = 1; // амплитуда скачка
t0 = 1e-3; // время появления скачка

R = 10; // сопротивление резистора
L = 10e-3; // индуктивность катушки
alpha = R/L; // коэффициент затухания

y_max = 1; // вертикальный предел

```

При моделировании используются следующие блоки: для моделирования функции Хевисайда – **STEP_FUNCTION** (**Step Time** = t_0 , **Initial Value** = 0, **Final Value** = U_m); для моделирования цепи – управляемый источник напряжения **CVS**, **Resistor** (**R (ohm)** = R),

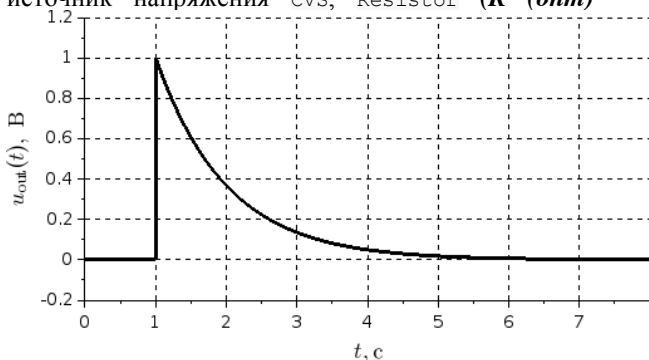


Рис. 4. Зависимость напряжения на конденсаторе от времени при воздействии дельта-функции на ФНЧ

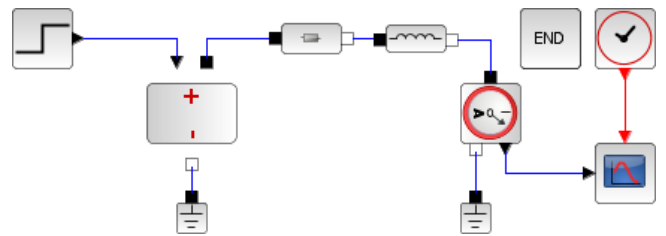


Рис. 5. Модель для исследования воздействия функции Хевисайда на ФВЧ

Inductor (**L (H)** = L) и **амперметр** **CurrentSensor** и блоки **Ground**; **CSCOPE** (**Ymin** = $-0.02 \cdot y_{\max}$, **Ymax** = $0.12 \cdot y_{\max}$, **Refresh period** = t_{end} , **Buffer size** = $t_{\text{end}}/\text{delta } t$), **CLOCK c** (**Period** = $\text{delta } t$, **Initialisation Time** = 0), **ENDBLK** (**Final simulation time** = t_{end}).

На рис. 6 представлена зависимость тока в цепи от времени, соответствующая выражению (3).

4) Собственные колебания в RLC-цепи

Рассмотрим собственные колебания в последовательной RLC-цепи из резистора сопротивлением R , конденсатора емкостью C и индуктивности L . Зададим напряжение на конденсаторе U_{C0} . Будем исследовать ток в цепи $i_{\text{out}}(t)$.

Приближенное математическое выражение для тока в такой модели имеет вид:

$$i_{\text{out}}(t) = -\frac{U_{C0}}{\rho} e^{-\alpha t} \sin(\omega_c t) \sigma(t), \quad (4)$$

где $\alpha = R/(2L)$ – коэффициент затухания контура, $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ – резонансная частота, $\omega_c = \omega_0 \sqrt{1 - \left(\frac{\alpha}{\omega_0}\right)^2}$ – частота собственных колебаний, и $\rho = \omega_c L$ – характеристическое сопротивление контура.

Для получения тока в цепи построим модель (см. рис. 7). Параметры модели следующие: $R = 10 \text{ Ом}$, $L = 1 \text{ мГн}$, $C = 100 \text{ нФ}$, $U_{C0} = 1 \text{ В}$.

Перед моделированием зададим контекст (см. листинг 4).

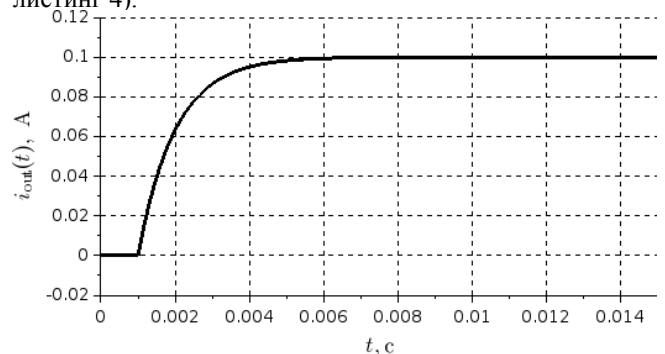


Рис. 6. Зависимость тока в цепи от времени при воздействии функции Хевисайда на ФВЧ

Листинг 4. Контекст для моделирования свободных колебаний в RLC-цепи

```

clc; // очистка окна терминала
xdel(winsid()); // закрытие всех графиков

delta t = 1e-7; // период следования отсчетов
t_end = 1e-3; // время окончания моделирования
R = 10; // сопротивление резистора
L = 1e-3; // индуктивность катушки

C = 100e-9; // емкость конденсатора

w0 = 1/sqrt(L*C); // резонансная частота
alpha = R/(2*L); // коэффициент затухания контура

Uc0 = 1; // начальное напряжение на конденсаторе
wc = w0*sqrt(1-(alpha/w0)^2); // частота
собственных колебаний
rho = wc*L; // характеристическое сопротивление
контура
    
```

При моделировании используются следующие блоки: Resistor (**R (ohm)** = R), Inductor (**L (H)** = L), Capacitor (**C (F)** = C, **Initial Voltage** = Uc0), амперметр CurrentSensor и блоки Ground; CSCOPE (**Ymin** = -y_max, **Ymax** = y_max, **Refresh period** = t_end, **Buffer size** = t_end/delta t), CLOCK_c (**Period** = delta t, **Initialisation Time** = 0), ENDBLK (**Final simulation time** = t_end).

На рис. 8 представлена зависимость тока в цепи от времени, соответствующая выражению (4).

5) Воздействие экспоненциально-убывающего радиоимпульса тока на параллельный колебательный контур

Рассмотрим воздействие экспоненциально-убывающего радиоимпульса тока вида $i_{in}(t) = I_m e^{-\beta t} \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \sigma(t)$ на параллельный колебательный контур, составленный из резистора сопротивлением R, индуктивности L и конденсатора емкостью C. Исследовать будем напряжение на контуре $u_{out}(t)$.

Точное математическое выражение для выходного напряжения имеет вид:

$$u_{out}(t) = \frac{I_m R_r \alpha}{\beta - \alpha} (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \sigma(t), \quad (5)$$

где $R_r = \rho^2 / R$ – резонансное сопротивление контура, $\rho = \omega_0 L$ – характеристическое сопротивление, $Q = \rho^2 / R$

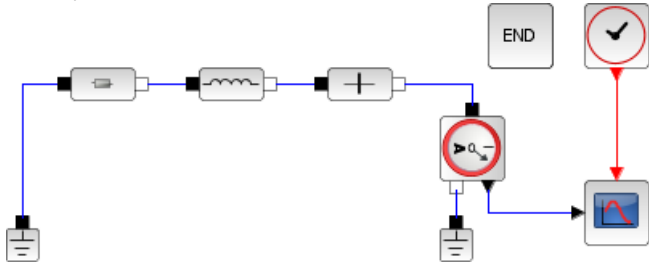


Рис. 7. Модель для исследования свободных колебаний RLC-цепи

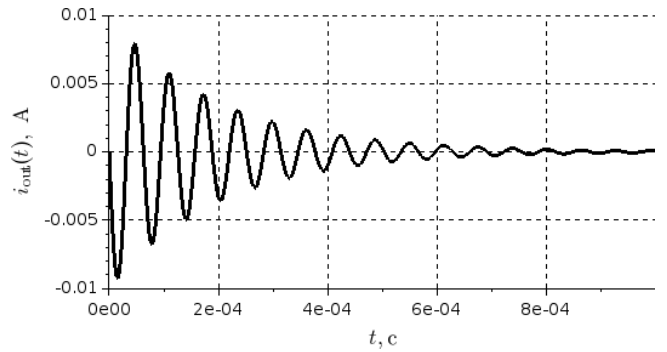


Рис. 8. Зависимость тока свободных колебаний от времени на конденсаторе в RLC-цепи

– добротность контура, $\alpha = \omega_0 / (2Q)$ – коэффициент затухания.

Для получения тока в цепи построим модель (см. рис. 9). Параметры модели следующие: R = 10 Ом, L = 1 мГн, C = 1 нФ, параметры сигнала – $I_m = 10$ мА, $\omega_0 = 10^6$ рад/с, $\varphi_0 = -\pi/6$, $\beta = 2 \cdot 10^4$ рад/с.

Перед моделированием зададим контекст (см. листинг 5).

Листинг 5. Контекст для моделирования воздействия экспоненциально-убывающего радиоимпульса тока на параллельный колебательный контур

```

clc; // очистка окна терминала
xdel(winsid()); // закрытие всех графиков

delta t = 1e-7; // период следования отсчетов
t_end = 1e-3; // время окончания моделирования

L = 1e-3; // индуктивность катушки
C = 1e-9; // емкость конденсатора
R = 10; // сопротивление резистора

Im = 10e-3; // амплитуда сигнала
w0 = 1e6; // частота сигнала
phi0 = -pi/6; // начальная фаза сигнала
beta = 2e4; // коэффициент экспоненты

rho = w0*L; // характеристическое сопротивление
Rr = rho^2 / R; // резонансное сопротивление контура
Q = rho/R; // добротность
alpha = w0 / (2*Q); // коэффициент затухания

y_max = Im * Rr * alpha / (beta - alpha); //
вертикальный предел
    
```

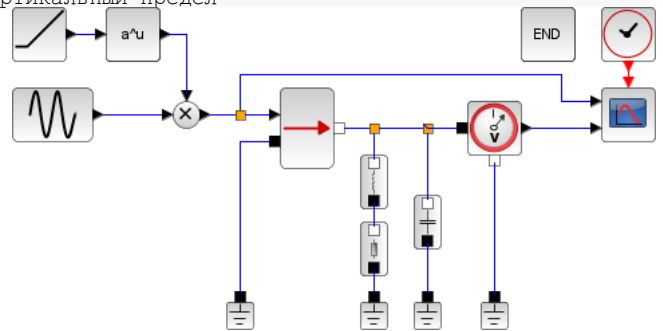


Рис. 9. Модель для исследования воздействия экспоненциально-убывающего радиоимпульса тока на параллельный колебательный контур

При моделировании используются следующие блоки: для моделирования входного тока – RAMP ($Slope = -\beta$, $Start\ time = 0$, $Initial\ Value = 0$), EXPBLK_m ($a (>0) = \%e$), GENSIN_f ($Magnitude = I_m$, $Frequency\ (rad/s) = \omega_0$, $Phase\ (rad) = \phi_0 + \%pi/2$) и PROD f; для моделирования цепи – CCS, Inductor ($L\ (H) = L$), Resistor ($R\ (ohm) = R$), Capacitor ($C\ (F) = C$, $Initial\ Voltage = 0$), VoltageSensor и блоки Ground; CMSCOPE ($Input\ ports\ sizes = 1\ 1$, $Ymin\ vector = -1.2*I_m - y_{max}/2$, $Ymax\ vector = 1.2*I_m\ y_{max}/2$, $Refresh\ period = t_{end} - t_{end}$, $Buffer\ size = t_{end}/\delta t$), CLOCK c ($Period = \delta t$, $Initialisation\ Time = 0$), ENDBLK ($Final\ simulation\ time = t_{end}$). На рис. 10 представлена зависимость напряжения в цепи от времени, соответствующая его математическому выражению (5).

С. Взаимодействие Scilab и Xcos

Иногда требуется организовать взаимодействие между построенной моделью Xcos (файл model.zcos) и кодом программы на языке программирования Scilab (файл run_model.sce). Ниже в листинге 6 представлена программа, запускающая компиляцию модели и, вывод полученного графика.

Листинг 6. Программа для вызова модели Xcos из Scilab

```
// инициализация
clc;
xdel(winsid());

// настройка путей
file_dir = get_absolute_file_path('run_model.sce');
model_file = 'model.zcos';

// открытие файла модели
importXcosDiagram(file_dir + model_file);
xcos_simulate(scs_m, needcompile=4);
```

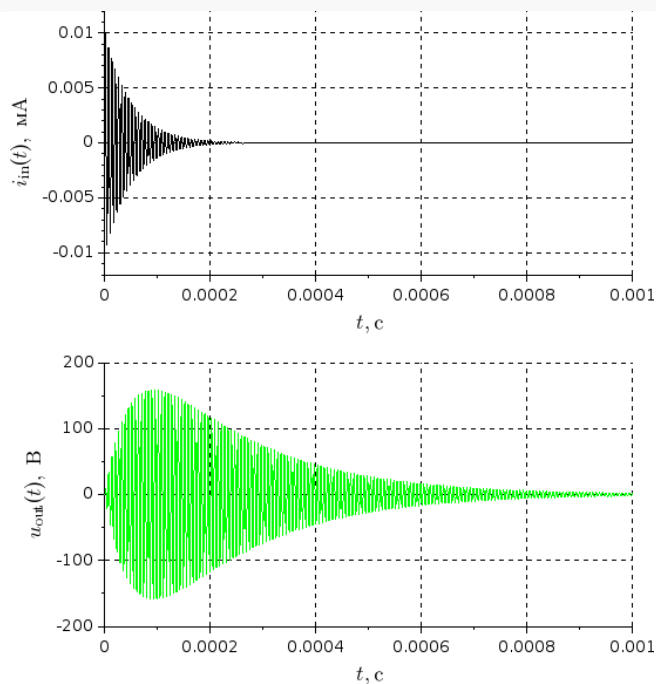


Рис. 10. Зависимость напряжения на параллельном колебательном контуре от времени

```
// оформление графика
title('Зависимость напряжения от времени U(t), В');
xgrid;
xlabel('t, c');
ylabel('U(t), В');
```

В листинге 6 наиболее важными функциями являются importXcosDiagram и xcos_simulate. Первая импортирует файл Xcos модели в пространство переменных Scilab, вторая – запускает компиляцию и симуляцию модели. Функции title, xlabel и ylabel задают соответственно название графика, подпись оси абсцисс и подпись оси ординат. Функция xgrid обеспечивает нанесение горизонтальной и вертикальной сеток на график.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье было рассмотрено моделирование нескольких простых задач, решаемых в области теории электрических цепей и радиотехнических сигналов. Однако возможности Scilab/Xcos значительно шире, и эти программы могут быть применены к другим областям науки и техники с тем же успехом.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 8.9598.2017/БЧ).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] “Scilab — the free software for numerical computation — scilab website.” [Online]. Available: <http://www.scilab.org/>.
- [2] “ATOMS: Homepage.” [Online]. Available: <http://atoms.scilab.org/>.
- [3] R. N. Stephen L. Campbell Jean-Philippe Chancelier, *Modeling and Simulation in Scilab-Scicos with ScicosLab 4.4*, Second Edition. Springer New York Dordrecht Heidelberg London: Springer Science+Business Media, LLC, 2010.
- [4] “ScicosLab.” [Online]. Available: <http://www.scicoslab.org>.
- [5] “GCC, the gnu compiler collection - gnu project - free software foundation (fsf).” [Online]. Available: <http://gcc.gnu.org>.
- [6] “ATOMS: MinGw toolbox details.” [Online]. Available: <http://atoms.scilab.org/toolboxes/mingw/0.9.3>.
- [7] Е. Р. Алексеев, О. В. Чеснокова, and Е. А. Рудченко, *Scilab: Решение инженерных и математических задач*. М.: АИТ Линукс, 2008.

Система интеллектуальных беспроводных датчиков для мониторинга параметров волновода испарения

Н.О. Стрелков

НИУ МЭИ: ИРЭ им. В.А. Котельникова, каф. ОРТ
Москва, Россия
StrelkovNO@mpei.ru

М.С. Михайлов

НИУ МЭИ: ИРЭ им. В.А. Котельникова, каф. РТПиАС
Москва, Россия
MikhailovMS@mpei.ru

Аннотация — В настоящей статье рассматривается построение системы интеллектуальных беспроводных датчиков для мониторинга параметров волновода испарения. Дается краткое описание теоретических основ возникновения волновода испарения в тропосфере. Описывается процесс разработки системы, структура используемых датчиков и алгоритм обработки и накопления данных.

Ключевые слова — *IoT, ПоТ, давление, влажность, температура, волновод испарения, тропосфера, распространение радиоволн.*

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время достаточно большое внимание уделяется изучению сверхдальнего загоризонтного распространения радиоволн СВЧ диапазона в задачах радиолокации и радиосвязи [1], [2]. Загоризонтное распространение в наибольшей степени обусловлено структурой показателя преломления тропосферы.

Существует эмпирическая формула (1), позволяющая по трем измеренным параметрам (температуры воздуха ($T[K]$), его влажности ($e_0[hPa]$ и $H[\%]$) и атмосферного давления ($P[hPa]$)) рассчитать показатель преломления тропосферы или его индекс:

$$n = 1 + \frac{77,6}{T} \left(P + 4810 \frac{e}{T} \right) \cdot 10^6 =$$
$$= 1 + \frac{77,6 \cdot 10^{-6} \cdot P}{T} + \frac{0,373 \cdot e_0 \cdot H / 100\%}{T^2}. \quad (1)$$

Измерения необходимо выполнять в нескольких разнесенных в пространстве точках, а результаты измерений хранить и обрабатывать в режиме реального времени или в режиме пост-обработки. Для измерения вертикального профиля показателя преломления необходимо размещать датчики друг над другом с шагом порядка полуметра.

Расстояние прямой видимости для локационных задач — это расстояние L_0 между антенной, с высотой фазового центра h_1 и целью, расположенной на высоте h_2 ,

определяемое по длине их соединяющей касательной $L_0 = \sqrt{2a} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$, где a — радиус Земли.

Для расчета распространения радиоволн до целей расположенных на дальностях до $0,2L_0$ в методе геометрической оптики землю можно считать плоской. В промежутке $0,2 - 0,8L_0$ — необходимо учитывать сферичность земной поверхности. Для того, что бы использовать теорию отражения радиоволн от земной поверхности необходимо использовать приведенные высоты. Дальше $(0,8)L_0$ — зоны тени и полутени, в которых проявляются дифракционные эффекты и метод геометрической оптики уже не работает.

Альтернативой использования геометрической оптики и приведенных высот является метод параболического уравнения [3], в котором влияние сферичности земной поверхности ($a[m]$) можно учесть в модифицированном показателе преломления тропосферы $m(h)$:

$$m(h) = \frac{77,6 \cdot 10^{-6} \cdot P(h)}{T(h)} + \frac{0,373 \cdot e_0 \cdot H(h) / 100\%}{T(h)^2}. \quad (2)$$

Для нормальной тропосферы характерно плавное монотонное изменение метеопараметров (например, для температуры $-6K/km$). Если монотонность нарушается и появляется аномалия, то имеет место инверсия метеопараметра.

Инверсия температуры препятствует вертикальным перемещениям воздуха и способствует образованию дымки, тумана, смога, облаков, миражей (рис. 1). Инверсия сильно зависит от местных особенностей рельефа. Увеличение температуры в инверсионном слое колеблется от десятых долей градусов до $15-20^\circ C$ и более. Наибольшей мощностью обладают приземные инверсии температуры в Восточной Сибири и в Антарктиде в зимний период.

В таких слоях температурной инверсии показатель преломления также имеет аномальный характер, что вызывает изменения в прямолинейном распространении радиоволн. Распространение в таких инверсиях носит

волноводный характер, где роль нижней стенки выполняет морская поверхность, а верхней — инверсионный слой.

Помимо температурной инверсии над морской поверхностью часто возникает волновод испарения. Физическая природа такого волновода следующая. Под действием солнечного излучения происходит интенсивное испарения с морской поверхности. Непосредственно над поверхностью влажность может достигать 100%, с высотой эта влажность уменьшается, хотя для нормальной тропосферы влажность воздуха практически постоянна. В тропическом климате вероятность появления волновода испарения близка к 100%, а высоты могут достигать до 50 м. В Черном море — 50% и 8–15 м соответственно.

Измерение таких волноводов и сбор статистики — актуальная задача для обеспечения загоризонтной работы радиотехнических систем. Связь критической длины электромагнитной волны способной возбуждать волновод приведена в эмпирической формуле:

$$\lambda_{critical} = 0,085h_d^{3/2}. \quad (3)$$

На рис. 2 приведены расчеты для 10 ГГц. Критическая длина волны электромагнитного излучения составляет 2,7 см для высоты волновода испарения 10 метров. Если длина излучаемой волны больше критической, то волновод не возбуждается (рис. 2, линия 3). Дальность действия радара не более радиогоризонта.

Для высоты волновода испарения 15 метров критическая длина электромагнитной волны составляет 5 см. Излученная длина волны меньше критической, и как следствие эффективное возбуждение волновода испарения (рис. 2, линия 2). В случае размещения антенны и цели на высоте 5 метров дальность действия радиолокационной станции составляет 500 км.

Для высоты волновода испарения 20 метров критическая длина электромагнитной волны составляет 7,6 см. Длина излучаемой волны более чем в два раза меньше критической. Вследствие этого проявляется многомодовое распространение (рис. 2, линия 1). На рисунке показано синфазное сложение мод на высоте 4 м, и противофазное — на высоте 15 метров. Максимальная дальность действия радара составляет около 650 км.

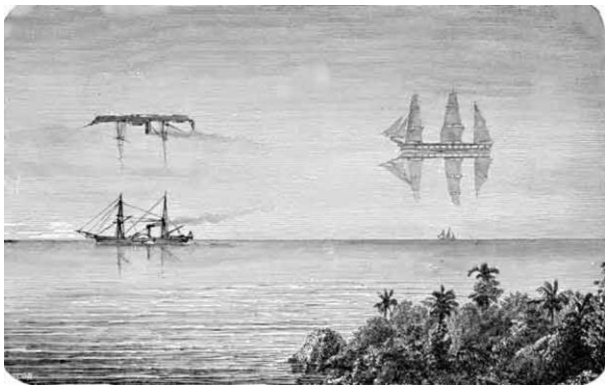


Рис. 1. Оптическая иллюзия «летучий Голландец», возникающая в результате аномальной рефракции воздуха над морской поверхностью. Иллюстрация XIX века.

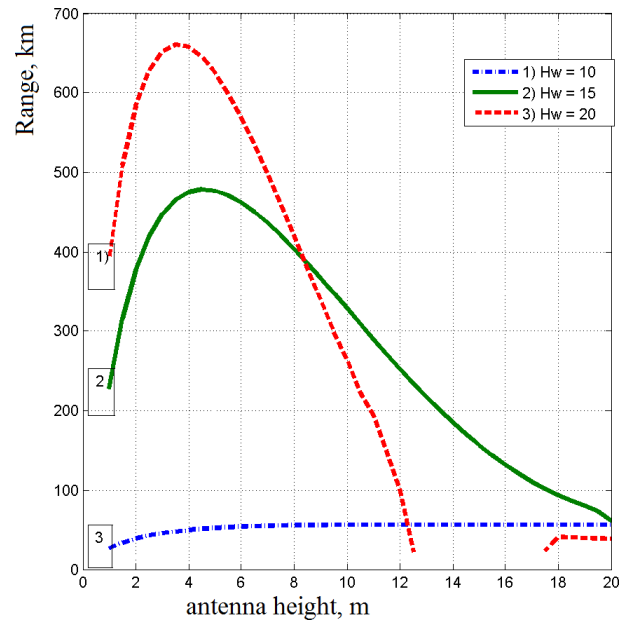


Рис. 2. Зависимость дальности действия радиолокатора в волноводе испарения от высоты расположения антенны.

Предложены различные формы профилей индекса преломления в волноводе испарения, из которых наиболее часто используется базирующийся на теории Колмогорова–Обухова профиль Паулуса–Ешке [4].

$$M(h) = M(0) + 0,125 \left[h - h_d \cdot \ln \frac{h + h_0}{h_0} \right]. \quad (4)$$

Распространение радиоволн в различных типах волноводов может быть проанализировано методами геометрической оптики и параболического уравнения [6-9]. На современном этапе исследований распространение в тропосферных волноводах анализируют с заданием модельных законов показателя преломления для отдельных типов волноводов либо для комбинированных волноводов, объединяющих несколько типов [10].

В волноводе испарения основную роль играет градиент влажности в индексе показателя преломления. При нормальных условиях оценим, насколько должна измениться влажность на уровне моря, чтобы изменилась величина ΔN на 1 N–единицу. Получим $\Delta \varphi = 0,68\%$.

Для приповерхностного волновода основным фактором изменения N является инверсия температуры. При стандартной влажности 60% приращению $\Delta N = 1$ соответствует изменение температуры $\Delta T = \pm 1,2 K$. До высоты 1 км возможно образование нескольких (до 7–10) волноводов одновременно. Над земной поверхностью положительная рефракция и свэрхрефракция радиоволн наблюдаются обычно в антициклонную погоду при вечернем охлаждении почвы и наиболее часто в теплое время года.

В целом следует стремиться к тому, чтобы погрешности приборов позволяли измерять N с точностью до 1 N–единицы.

В настоящее время широкое распространение получили направления интернета вещей (IoT) и промышленного интернета вещей (IIoT). В настоящей работе мы предлагаем использовать эти подходы для построения измерительной системы для измерения параметров среды и расчета волновода испарения.

II. АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Измерительная система должна обеспечивать работу как в мобильном, так и в стационарном базировании. Мобильность требует использования малогабаритных, энергоэффективных и имеющих малую массу компонентов.

Основными компонентами системы являются беспроводные интеллектуальные датчики (маячки или англ. *beacon*) и блок централизованной обработки и хранения данных. Структурная схема всей системы представлена на рис. 3.

Все маячки должны иметь одинаковую конструкцию. Такое решение позволит обеспечить расширяемость системы и простую замену маячков при их выходе из строя. Так же желательно обеспечить низкую стоимость каждого маячка, поскольку возможна его потеря в процессе работы.

A. Датчики

Современный рынок радиоэлектронных компонентов предлагает множество датчиков температуры, влажности и атмосферного давления. Такие датчики могут быть выполнены как в отдельных корпусах, так и совместно. Наиболее распространенными являются датчики, совмещающие в одном корпусе датчик температуры и влажности. Часть таких датчиков выполнено китайскими производителями с низкими или неизвестными точностными характеристиками.

Интегрированные датчики, обеспечивающие одновременное измерение всех трех параметров, представлены всего двумя моделями одного производителя Bosch Sensortec GmbH [11] - BME280[12] и BME680[13]. Модуль BME680 отличается возможностью оценки уровня качества воздуха и наличием детектора газов, что не требуется в настоящем проекте. Поэтому мы используем модуль BME280. Этот модуль предназначен для поверхностного монтажа и выполнен в корпусе LGA с 8 выводами.

Основные характеристики модуля приведены в таблице 1 из [14].

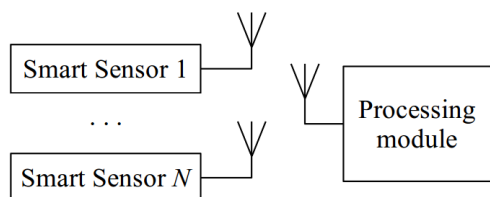


Рис. 3. Структурная схема измерительной системы

ТАБЛИЦА 1. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДУЛЯ BME280

Параметр	Значение
Напряжение питания	1.2 ... 3.6 В
Рабочая температура	-40 ... +85°C
Рабочее давление	300 ... 1100 ГПа
Интерфейс	I2C, SPI
Потребляемый ток	3.6 мкА @ 1 Гц
Потребляемый ток в спящем режиме	0.1 мкА
Точность измерения влажности	± 3%
Точность измерения давления	± 0.25%
Точность измерения температуры	± 0.5°C

Модуль BME280 может быть подключен к микроконтроллеру или микропроцессору с помощью шины I2C или SPI. Для уменьшения количества используемых проводов мы используем шину I2C. Кроме того, для построения измерительной системы мы реализовали отправку данных с маячков на блок централизованного сбора и обработки данных.

B. Беспроводной интерфейс датчика

Для одновременного измерения параметров окружающей среды в различных точках среды целесообразно использовать беспроводной интерфейс. Структурная схема беспроводного интеллектуального датчика представлена на рис. 4.

На текущий момент в промышленном интернете вещей (IIoT) наиболее распространенными беспроводными интерфейсами являются Bluetooth (включая вариант Low Energy)[15], LoRaWAN[16], Z-Wave[17], ZigBee[18] и Wi-Fi[19]. Как правило, лишь малая часть радиомодулей построена по схеме "система на чипе" (System-on-Chip), что усложняет процесс разработки. Кроме того, SoC на основе технологии Bluetooth, оказываются достаточно сложными в программировании и проектировании печатной платы. А в случае использования отдельной радио-частотной микросхемы трансивера и отдельной микросхемы микроконтроллера или микропроцессора могут существенно ухудшиться параметры автономной работы устройства.

Поэтому в настоящем проекте в качестве компромиссного варианта мы применяем интерфейс Wi-Fi. Его использование оказывается наименее затратным по временным ресурсам, требуемым на разработку аппаратной и программной части. Согласно обзору [20] необходимая площадь печатной платы в таком случае не превышает 60 мм². Ниже на рис. 5 представлена фотография созданного прототипа интеллектуального беспроводного датчика на базе процессорного модуля компании Espressif Systems [21].

Источником питания служит стандартный Li-ion аккумулятор типоразмера 18650 с напряжением 3.6-3.7 В. На плате установлен преобразователь питания,

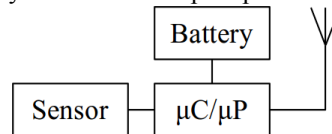


Рис. 4. Структурная схема интеллектуального беспроводного датчика



Рис. 5. Интеллектуальный беспроводной датчик для измерения параметров окружающей среды

обеспечивающий стабильное напряжение питания 3.3 В для процессорного модуля при изменении напряжения на аккумуляторе. При измерении и отправке данных один раз в минуту устройство способно автономно проработать около 10 дней. Время автономной работы можно пропорционально увеличить путем увеличения интервала между измерениями.

С. Блок централизованной обработки и хранения данных

Использование стандарта Wi-Fi позволяет существенно упростить процесс проектирования блока централизованной обработки и хранения данных. Таким блоком может служить практически любое Wi-Fi устройство, поддерживающее работу в режиме точки доступа. Защита соединения выполняется с помощью WPA2-шифрования. В настоящей работе мы используем беспроводной маршрутизатор с модифицированным микропрограммным обеспечением (англ. *firmware*) и подключенными к нему по интерфейсу USB накопителем данных, GPS/GLONASS-модулем и 3G/4G-модемом. Программное обеспечение маршрутизатора содержит DHCP-, NTP- и HTTP-сервера.

Система работает следующим образом: беспроводной маршрутизатор при включении подключается к мобильной сети передачи данных с помощью 3G/4G-модема и получает через Интернет точное время от сервера времени по протоколу NTP. После инициализации беспроводного маршрутизатора к нему через определенные интервалы времени подключаются интеллектуальные беспроводные датчики для отправки данных. При подключении к маршрутизатору каждый датчик получает свой IP-адрес и точное время по протоколу NTP, а отправляет измеренные значения параметров окружающей среды. Одновременно с этим определяется географическое положение с помощью GPS. Полученные данные сохраняются на USB-накопителе и/или отправляются через заданные интервалы времени на внешний сервер для последующей обработки.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе было рассмотрено построение пространственно-распределенной измерительной системы IoT для расчета показателя преломления тропосферы и исследования волновода испарения. Результаты измерений позволят анализировать и прогнозировать возможность загоризонтного распространения радиоволн в зависимости от сезона, времени суток и погодных условий.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 8.9598.2017/БЧ).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] M. V. Isakov, A. M. Makhlov, M. S. Mikhailov, and V. A. Permyakov, "On the effect of refractive index perturbations on propagation of radio waves in the evaporation duct," in *Progress in electromagnetics research symposium — spring (piers)*, 2017, pp. pp. 2145–2149.
- [2] M. S. Mikhailov, A. A. Volkova, and V. A. Permyakov, "How can environment influence ultra-long radio propagation?" in *Virtual conference on advanced research in materials and environmental science (armes)*, 2018.
- [3] Y. P. Akulinichev, F. N. Zakharov, V. A. Permyakov, and M. S. Mikhailov, "State of the art methods for numerical solution of the parabolic equation," *Russian Physics Journal*, vol. 59, nos. 12 – 3, pp. 169–178, 2016.
- [4] H. Jeske, "State and limits of prediction methods of radar wave propagation conditions over the sea," *Modern Topics in Microwave Propagation and Air–Sea Interaction*, pp. 131–148, 1973.
- [5] R. A. Paulus, "Practical application of an evaporation duct model," *Radio Science*, vol. 20, no. 4, p. 8, 1985.
- [6] M. A. Leontovich, "On a method for solving problems on the propagation of electromagnetic waves along the earth's surface," *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, vol. 8, no. 16, pp. 16–22, 1944.
- [7] M. A. Leontovich and V. A. Fok, "Solution of propagation of electromagnetic waves along the earth's surface by the method of parabolic equations," *Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters (JETP Letters)*, vol. 10, no. 5, pp. 13–23, 1946.
- [8] V. A. Fok, *Electromagnetic diffraction and propagation problems*. London Pergamon Press, 1965.
- [9] M. Levy, *Parabolic equation methods for electromagnetic wave propagation*. London, 2000.
- [10] V. A. Permyakov, M. S. Mikhailov, and Y. A. Borodko, "Propagation of radio waves in the presence of a combined tropospheric duct," in *Proceedings of papers 13th international conference on advanced technologies, systems and services in telecommunications (telsiks)*, 2017, pp. pp.109–110.
- [11] "Bosch sensortec." [Online]. Available: <https://www.bosch-sensortec.com/>.
- [12] "BME280." [Online]. Available: https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all_products/bme280.
- [13] "BME680." [Online]. Available: https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all_products/bme680.
- [14] "BME280 – combined humidity and pressure sensor." [Online]. Available: https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BME280_DS001-12.pdf.
- [15] "Bluetooth technology website." [Online]. Available: <https://www.bluetooth.org>.
- [16] "About lorawan™ | lora alliance™." [Online]. Available: <https://loralliance.org/about-lorawan>.
- [17] "The internet of things is powered by z-wave." [Online]. Available: <https://z-wavealliance.org>.
- [18] "Zigbee alliance." [Online]. Available: <http://www.zigbee.org>.
- [19] "Wi-fi alliance." [Online]. Available: <https://www.wi-fi.org>.
- [20] "Comparing low power wireless technologies (part 2) | digikey." [Online]. Available: <https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2017/dec/comparing-low-power-wireless-technologies-part-2>.
- [21] "Espressif systems - wi-fi and bluetooth chipsets and solutions." [Online]. Available: <http://espressif.com>.

Совместный расчет котлов и пылесистем при помощи программ *Boiler Designer* и *Stoker*

В.М. Супранов, М.А. Изюмов, В.В. Семенкин

Кафедра Паровых и газовых турбин, отделение Парогенераторостроения

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Москва, Россия

svm-mpei@mail.ru

Аннотация — В докладе рассмотрены проблемы, возникающие при совместном тепловом расчете котлов и систем пылеприготовления по существующим нормативным методикам расчета. Для решения этих проблем предлагается использовать программы *Boiler Designer* и *Stoker*. Показан масштаб ошибок, которых удается при этом избежать.

Ключевые слова — котел, пылесистема, тепловой расчет, нормативные методики, сушильный агент, присос, температура уходящих газов, КПД котла, программы

I. ВВЕДЕНИЕ

При проектировании и реконструкции пылеугольных котельных установок, а также при переводе их на непроектные виды топлива, выполняется огромный объем вычислительных работ. Среди них в обязательном порядке должны быть тепловые расчеты котла и систем пылеприготовления, проведенные на основе соответствующих нормативных методик. Для обеспечения экономической и надежной работы необходимо, с одной стороны, максимально учесть индивидуальные особенности котла и пылесистем, с другой – их взаимное влияние друг на друга. Но именно эти вопросы не были проработаны в полной мере при создании нормативных методик. Совместное использование программ *Boiler Designer* и *Stoker* позволяет учесть сложную взаимосвязь процессов, протекающих в котельной установке и повысить достоверность результатов расчета.

II. НАЗНАЧЕНИЕ ПРОГРАММ *BOILER DESIGNER* И *STOKER*

Программа *Boiler Designer* [1] разработана фирмами «OPTSIM-K» и «KED» и поддерживается в России фирмой «OPTSIM-K». Она может быть использована для теплового, гидравлического и аэродинамического расчета котлов на органическом топливе и котлов-утилизаторов. Возможно также выполнение расчета тепловой схемы энергоблока в целом, в том числе с расчетом внедренного в эту схему котла. Помимо статических расчетов, можно моделировать и переходные процессы при переменных режимах работы объекта исследования. Количество элементов в расчетной схеме не ограничено, что является безусловным достоинством.

Программа *Stoker* разработана в ОАО «Всероссийский теплотехнический институт». Она предназначена для

проведения теплового расчета индивидуальных систем пылеприготовления паровых котлов совместно с расчетом газоздушного тракта котла. Дополнительно предусмотрена возможность определения размольной производительности мельниц.

Обе программы обладают удобным современным интерфейсом, возможностью использовать разные системы единиц и приводить результаты расчетов к различным условиям. Недостатком программы *Stoker*, в отличие от *Boiler Designer*, является то, что она ориентирована на традиционные технологии сжигания органического топлива. Так, например, существует опыт использования *Boiler Designer* для пылеугольных котлов, сжигающих топливо в среде кислорода с рециркуляцией продуктов сгорания (технология *Oxyfuel Combustion*). Подробности и результаты расчета такой котельной установки с применением *Boiler Designer* изложены в [2]. Но использовать *Stoker* в этой ситуации оказалось невозможно, пришлось разработать оригинальную, но узко специализированную программу.

III. НЕТОЧНОСТИ НОРМАТИВНЫХ МЕТОДИК РАСЧЕТА

Для теплового расчета котлов в России традиционно используется разработанная еще в СССР методика [3], которой доверяет огромное количество пользователей, и несколько доработанная ее версия [4]. Для теплового расчета систем пылеприготовления также применяют советскую методику [5], которая с 1971 года не обновлялась. Нужно отметить, что при создании [3] и [5] государством были затрачены огромные средства, и поэтому нормативные материалы [5] были даже опубликованы с грифом «для служебного пользования». Но затраты оправдали себя, и это подтверждается тем обстоятельством, что методики [3] и [5] широко используются во многих странах, в том числе и западными фирмами. Несмотря на это, обе они имеют недостатки.

К сожалению, их разработчики не согласовали многие моменты, начиная с обозначений величин и единиц измерения. Более того, методики [3] и [4] не в полной мере учитывают влияние пылесистем на работу котла. При расчете теплоты, вносимой с воздухом в топку используется формула:

$$Q_B = (\alpha_T - \Delta\alpha_T - \Delta\alpha_{пл}) I_{Г.В} + (\Delta\alpha_T + \Delta\alpha_{пл}) I_{Х.В}^0 \quad (1)$$

Здесь α_T , $\Delta\alpha_T$, и $\Delta\alpha_{пл}$ — коэффициент избытка воздуха на выходе из топки и присосы холодного воздуха в топку и пылесистемы в долях от теоретически необходимого количества воздуха V^0 , а $I_{Г.В}$ и $I_{Х.В}^0$ — энтальпии горячего воздуха после воздухоподогревателя и холодного воздуха. Однако в качестве компонентов сушильного агента (СА) может использоваться подогретый воздух из промежуточного хода воздухоподогревателя и холодный воздух, поэтому необходимо внести уточнение:

$$Q_B = (\alpha_T - \Delta\alpha_T - \Delta\alpha_{пл} - \beta_{п.в} - \beta_{х.в}) I_{Г.В} + \beta_{п.в} I_{п.в} + (\Delta\alpha_T + \Delta\alpha_{пл} + \beta_{х.в}) I_{х.в}^0 \quad (2)$$

В этой формуле $\beta_{п.в}$ и $\beta_{х.в}$ — количества подогретого и холодного воздуха, поступающего в пылесистемы, в долях от V^0 , а $I_{п.в}$ — энтальпия подогретого воздуха. Значения $\beta_{п.в}$ и $\beta_{х.в}$ легко определить, используя результаты расчета систем пылеприготовления:

$$\beta_{п.в} = r_{п.в} g_1 K_{зап} / (V^0 \cdot \gamma_{0в}), \quad (3)$$

$$\beta_{х.в} = r_{х.в} g_1 K_{зап} / (V^0 \cdot \gamma_{0в}). \quad (4)$$

Здесь $r_{п.в}$ и $r_{х.в}$ — доли подогретого и холодного воздуха в составе СА; g_1 — массовое количество СА, кг/кг; $\gamma_{0в}$ — плотность воздуха при нормальных условиях. Для пылесистем с прямым вдуванием принимается коэффициент запаса $K_{зап} = 1$, для пылесистем с промбункером — фактическое значение.

Величина присоса $\Delta\alpha_{пл}$ задается по рекомендациям [3] или [4], но при совместных расчетах котла и систем пылеприготовления логично определить ее исходя из расчета пылесистем:

$$\Delta\alpha_{пл} = K_{прс} g_1 K_{зап} / (V^0 \cdot \gamma_{0в}), \quad (5)$$

где коэффициент присоса $K_{прс}$ принимается по рекомендациям [5].

Если использовать (1), то погрешность в расчетах Q_B приведет к неточному определению адиабатной температуры, температуры на выходе из топки и тепловосприятия топки. Но гораздо хуже, что байпасы

воздуха $\beta_{х.в}$ помимо воздухоподогревателя и $\beta_{п.в}$ помимо его части в методиках [3] и [4] не учитываются при определении скорости воздуха и коэффициента теплоотдачи от стенки трубы к воздуху. Из-за этого при поверочном тепловом расчете котла температура уходящих газов оказывается заниженной, а КПД котла завышенным.

При проведении поверочных расчетов котла по программе *Boiler Designer* можно за счет адекватного моделирования расчетной схемы воздушного тракта избежать этих ошибок, даже при использовании методик [3] и [4]. Но использовать *Boiler Designer* нужно совместно с программой *Stoker*, позволяющей получить необходимые данные о работе систем пылеприготовления.

IV. СОВМЕСТНЫЕ РАСЧЕТЫ КОТЛА И ПЫЛЕСИСТЕМ ПО ПРОГРАММАМ *BOILER DESIGNER* И *STOKER*

Котел и системы пылеприготовления являются важнейшими элементами котельной установки, работающей как единое целое, и поэтому необходимость их совместного расчета достаточно очевидна. Она обусловлена тем обстоятельством, что компоненты сушильного агента или транспортирующей среды, используемые в пылесистемах, формируются из теплоносителей, используемых в котле. Отбор части теплоносителей из трактов котла в системы пылеприготовления влияет на протекание процессов теплообмена и, в конечном счете, на КПД котла и расход топлива. Подробно этот вопрос уже рассматривался нами в [6, 7]. Схема использования программ *Boiler Designer* и *Stoker* при выполнении такого расчета представлена на рис. (1).

Нужно отметить, что схему обмена данными между программами расчета, показанную на рис. 1, практически невозможно организовать в автоматическом режиме, без участия человека. Это связано как с возможностями и особенностями программного обеспечения, так и с тем обстоятельством, что ситуация может измениться по ходу расчетов и тогда необходимо принимать решение.

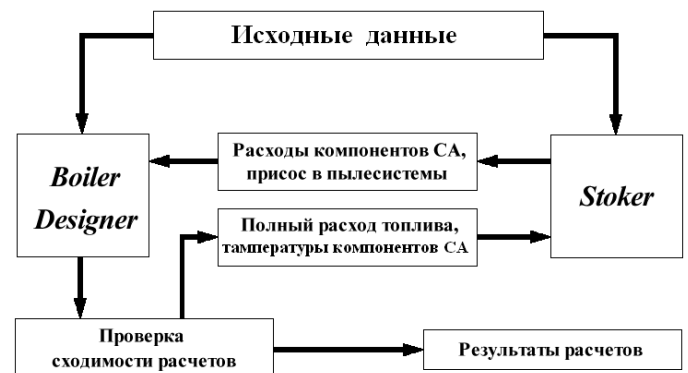


Рис. 1. Схема совместного использования программ *Boiler Designer* и *Stoker*

Во всех случаях, когда в пылесистемах котла используется многокомпонентный сушильный агент, а также при изменении состава транспортирующей пыль среды в схемах с промбункером при останове мельниц, результаты теплового расчета котла и систем пылеприготовления должны быть увязаны между собой. На практике это может быть достигнуто путем проведения итерационных расчетов с применением указанных программ на каждом шаге итераций. Сходимость расчета контролируется по значениям расхода топлива B , температур t_i и расходов V_i компонентов сушильного агента на предыдущей и текущей итерациях. Как показывает опыт, расчет можно прекращать, когда при переходе на следующую итерацию изменение B составляет не более 0,05 %, температур t_i — не более 1°C, расходов V_i — не более 0,05 %. Обычно для того, чтобы добиться сходимости расчета, требуется 3 или 4 итерации. Но это, конечно, будет зависеть и от опыта пользователя.

Если котел укомплектован пылесистемами с прямым вдуванием и воздушной сушкой, то равенство сушильной и размольной производительности мельниц обеспечивается при определенных долях горячего и холодного (или менее подогретого) воздуха в составе СА. Чем меньше доля горячего воздуха, тем меньше расход воздуха через воздухоподогреватель (или часть воздухоподогревателя), продукты сгорания хуже охлаждаются, температура уходящих газов растет, а КПД котла снижается и расход топлива увеличивается. Для крупных современных котлов адекватная расчетная схема воздушного тракта, позволяющая учесть все это, может оказаться достаточно сложной, как, например, показанная на рис. 2. В ней необходимо предусмотреть элементы «трехходовой клапан», чтобы устанавливать требуемые расходы потоков воздуха, и «регулятор воздуха», чтобы при этом α_T поддерживался на заданном уровне.

Рассмотрим, например, корпус котла ПК-39, укомплектованный четырьмя пылесистемами с прямым вдуванием и воздушной сушкой, в которых работают мельницы MMT-2000/2600/596. Топливо – экибаустузский уголь марки 2СС, котел несет номинальную нагрузку и все мельницы рассматриваемого корпуса котла находятся в работе. Схема воздушного тракта для этого случая показана на рис. 3. Она довольно простая, но в ней учитывается и отдельный подвод воздуха от специальных воздухоподогревателей на уплотнения мельниц, и присадка холодного воздуха для регулирования сушильной производительности пылесистем.

Если провести совместный расчет корпуса котла и пылесистем по программам *Boiler Designer* и *Stoker*, то температура уходящих газов равна 156,5°C, а КПД составляет 90,294 %. Если провести только расчет корпуса котла по программе *Boiler Designer* и не учитывать влияние пылесистем путем отбора воздуха до воздухоподогревателя на сушку, то получается соответственно 128,7°C и 91,946 %. Таким образом, различие весьма существенное.

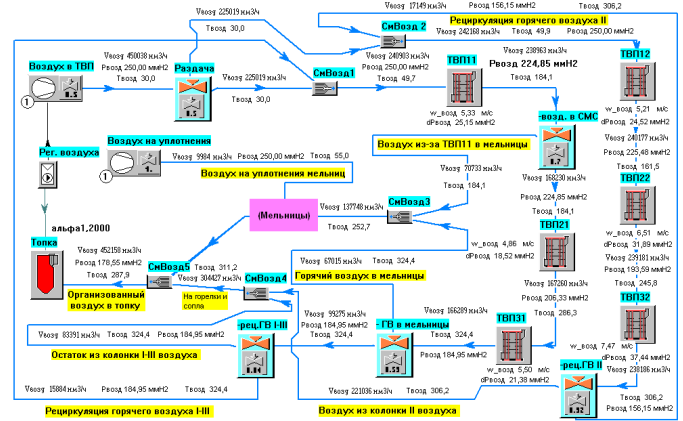


Рис. 2. Пример расчетной схемы воздушного тракта

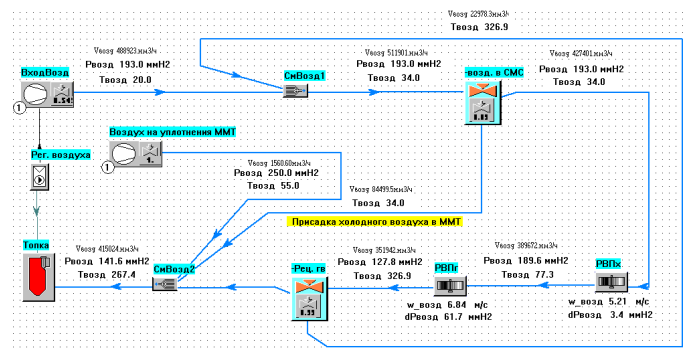


Рис. 3. Расчетная схема воздушного тракта корпуса котла ПК-39

Если в системах пылеприготовления используется газовая или газо-воздушная сушка, то отборы газов легко моделируются в расчетной схеме газового тракта котла, а величину отбора, определенную в программе *Stoker*, можно легко отрегулировать при помощи элементов «трехходовой клапан» или «отбор газов на рециркуляцию». Так, например, котел энергоблока 1000 МВт ТЭС «Нидераусем» (Германия) укомплектован пылесистемами с газо-воздушной сушкой. Газы на сушку отбираются на выходе из топки котла, что смоделировано на расчетной схеме газового тракта при помощи элемента «отбор на рециркуляцию» (рис. 4), а доля отбора $r=0,18$ установлена по результатам расчета программы *Stoker*.

В результате моделирования работы этого котла и его пылесистем было исследовано, в том числе, влияние присоса в пылесистемы $\Delta\alpha_{пл}$ на результаты расчета. Если принять по рекомендациям [5] $K_{прс}=0,3$, то пересчитанное из него значение $\Delta\alpha_{пл}$ получается 0,082. При этом (рис. 4) температура уходящих газов составила 106,5°C, а КПД котла равен 93,720 %. Эти данные хорошо соответствуют эксплуатационным показателям котла. Если же принять по рекомендациям [3] $\Delta\alpha_{пл}=0,25$, то уменьшится расход воздуха через воздухоподогреватель и газоздушный теплообменник. В результате получим температуру уходящих газов 124,2°C и КПД котла 92,521 %. Таким образом, влияние присосов в пылесистему оказывает существенное влияние на результаты расчета.

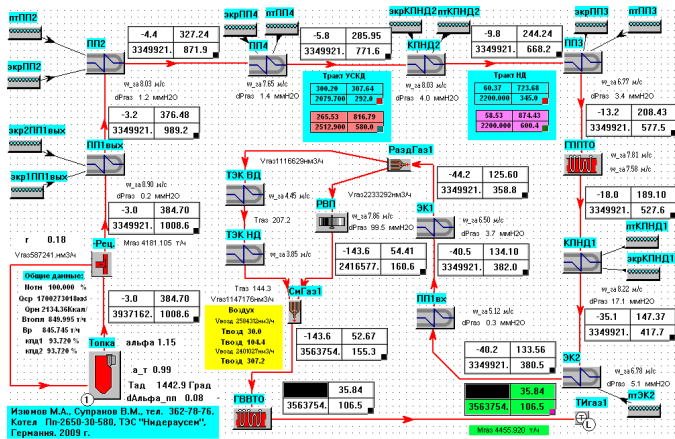


Рис. 4. Расчетная схема газового тракта котла ТЭС «Нидераусем»

Выше говорилось о расчетах крупных прямоточных котлов, но эта методика уже использовалась для самых разных котельных установок. Так, например, в [8] исследована работа на непроектных топливах барабанного котла с промперегревом ТП-92, укомплектованного пылесистемами с промбункером, шаровыми барабанными мельницами и газо-воздушной сушкой. В [9] рассматривался барабанный котел ТП-14А, который обслуживается пылесистемами с прямым вдуванием, мельницами-вентиляторами и газовой сушкой топлива. И в этих, и в других случаях удалось успешно применить методику совместного расчета по программам *Boiler Designer* и *Stoker*, независимо от типа котла, типа пылесистемы, типа мельниц и количества компонентов в сушильном агенте.

Проведение совместных расчетов котлов и пылесистем можно было бы ускорить и облегчить за счет совершенствования программы *Boiler Designer*. Прежде всего, это относится к стандартным регуляторам, которые используются в программе. Регулятор расхода позволяет поддерживать на заданном уровне только массовый расход газов или воздуха, а на практике нужно поддерживать постоянным объемный расход. Поэтому в схеме, показанной на рис. 2, приходилось по ходу внутренних итераций программы *Boiler Designer* регулировать при помощи трехходовых клапанов вручную четыре потока воздуха.

Еще хуже, что расход любой газовой среды рассчитывается и выводится в этой программе только при нормальных условиях. А во многих ситуациях нужно не только знать, но и поддерживать постоянным, расход газовой среды при ее реальном состоянии. Такая ситуация возникает, например, при расчетах газомазутных котлов, когда при снижении нагрузки производительность дымососов газов рециркуляции не меняется. В этом случае расход газов в линии рециркуляции нужно поддерживать постоянным при их расчетных параметрах, а не при нормальных условиях. Но *Boiler Designer* пока не предоставляет такой возможности, и поэтому приходится регулировать этот расчет вручную, да еще и с использованием калькулятора для внесения температурной поправки. Нужно отметить, что программа

Stoker в этом плане лучше, потому что можно узнать расходы газовой среды и при реальных, и при нормальных условиях.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большой опыт расчетов котельных установок в реальных проектах совместно с ОАО «ЗиОМАР», ОАО «Подольский машиностроительный завод», ОАО «ВТИ» и другими организациями подтверждает эффективность рассмотренной здесь концепции согласованных тепловых расчетов котла и систем пылеприготовления при помощи программ *Boiler Designer* и *Stoker*, с использованием нормативных методик [3, 4, 5].

При этом удается избежать значительных погрешностей, связанных с несовершенством нормативных методик теплового расчета котлов.

Для широкого применения такого подхода организациям-разработчикам нормативных методов расчета следовало бы изучить и обобщить уже накопленный опыт проведения таких работ и выпустить соответствующие рекомендации в виде дополнения к существующим нормативным документам. Разработчикам программного обеспечения, в первую очередь коммерческой программы *Boiler Designer*, тоже следовало бы учесть изложенную выше концепцию и критические замечания, что способствовало бы и увеличению числа пользователей этой программы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Расчет котельных агрегатов с использованием современных программных продуктов / Г.И. Доверман, Б.Л. Шельгин, А.В. Мошкарин, Ю.В. Мельников. Иваново: ИГЭУ, 2007.
- [2] Супранов В.М. Исследование возможности и целесообразности работы котла Пп-1900-25-570КТ в режиме кислородного сжигания топлива / В.М. Супранов, В.А. Баторшин В.А., А.В. Штегман, Д.А. Мельников // Теплоэнергетика. 2012. № 8. С 10 – 18.
- [3] Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / под ред. Н.В. Кузнецова. М.: Энергия, 1973.
- [4] Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). 2-е изд. СПб.: ЦКТИ, 1998.
- [5] Расчет и проектирование пылеприготовительных установок котельных агрегатов (нормативные материалы): Руководящие указания. Л.: НПО ЦКТИ, 1971.
- [6] Изюмов М.А., Супранов В.М. Проведение согласованных тепловых расчетов котла и систем пылеприготовления на базе адекватных расчетных моделей // Труды XVIII междунар. науч.-техн. конф. «Информационные средства и технологии». Т. 3. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. С. 166-173.
- [7] Супранов В.М., Изюмов М.А., Вахрамеев Е.Н., Смирнов А.Д. Использование современного программного обеспечения для расчета котельных установок // Труды междунар. науч.-методич. конференции «Информатизация инженерного образования» ИНФОРИНО-2016. М.: Издательство МЭИ, 2016. С. 443-446.
- [8] Изюмов М.А. Исследование возможности перевода котлов ТП-92 Яйвинской ГРЭС на непроектные виды углей / М.А. Изюмов, В.М. Супранов, П.В. Росляков // Теплоэнергетика. 2008. № 9. С. 7–18.
- [9] Супранов В.М. Оценка возможности перевода котлов ТП-14А Кумертауской ТЭЦ на сжигание угля марки БЗ Верхне-Сокурского месторождения / В.М. Супранов, А.В. Штегман, Е.А. Фоменко // Теплоэнергетика. 2016. № 4. С. 1–10. doi 10.1134/S0040363616040081



Секция 4

**ИТ В УЧЕБНЫХ,
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
И ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ
ЛАБОРАТОРИЯХ**

Система прецизионного измерения температуры и корреляционного измерения скорости применительно к теплофизической лаборатории

А.В. Абрамов, А.С. Лебедев, Свиридов Е.В.
ФГБОУ ВО Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Кафедра инженерной теплофизики им. В.А. Кириллина
Москва, Россия

Аннотация — В докладе изложены результаты разработки лабораторного комплекса для теплофизической лаборатории. В работе не использовались готовые решения, позволяющие проводить необходимые измерения. В комплекс входят аналого-цифровые преобразователи, микроконтроллеры и среда программирования LabVIEW.

Ключевые слова — конечный автомат; Actor Framework; АСНИ; LabVIEW; измерения температуры

I. ВВЕДЕНИЕ

Существует несколько способов создания систем, позволяющих проводить измерения температуры и скорости. National Instruments предлагает готовые устройства позволяющие за короткое время создать такие системы. Но такой подход имеет свои недостатки. Один из них заключается в том, что готовые устройства стоят дороже, чем устройства, разработанные в ходе этой работы.

Задача сводится к разработке законченного решения, позволяющего проводить необходимые измерения. Как будет показано ниже, несмотря на разный характер измеряемых величин, подходы к созданию измерительных систем совпадают.

В обоих случаях нам необходимо вести измерения температуры. Температура измеряется термопарами. Термопара - это два проводника из разнородных материалов, соединенных на одном конце и образующих горячий спай, использующего термоэлектрический эффект для измерений температуры. Термоэлектрический метод измерения температуры основан на зависимости термоэлектродвижущей силы от температуры горячего спая. Чтобы измерить термоЭДС мы используем аналого-цифровые преобразователи, которые в свою очередь управляются микроконтроллерами. Задача микроконтроллеров – управление работой АЦП и передача полученных данных в LabVIEW.

Работу можно разделить на две составляющие: прецизионное измерение температуры с небольшой частотой дискретизации, для получения полей температур и измерение с большой частотой дискретизации, для получения полей скоростей.

В данной работе будут рассмотрены все этапы измерения: от обработки термоЭДС АЦП, до дальнейшей обработки в LabVIEW.

II. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

В нашей научной группе исследуется гидродинамика и теплообмен при течении жидкого металла в канале. Для измерения температуры в разных точках и сечениях потока используются термодатчики. В эксперименте используются два основных типа зонда: продольный зонд “гребенка” (Рис.1) и рычажный зонд (Рис.2). Многоотверстийный зонд “Гребенка”, перемещаясь по длине, позволяет измерять температуру в нескольких точках одного сечения. Рычажный зонд позволяет подробно исследовать одно сечение потока.

Термодатчики подключаются к измерительному прибору, который фиксирует изменение термоЭДС. Так как сигнал с термопары является очень маленьким (порядка 30 мкВ на 1⁰С), то измерительные приборы должны обладать достаточной разрешающей

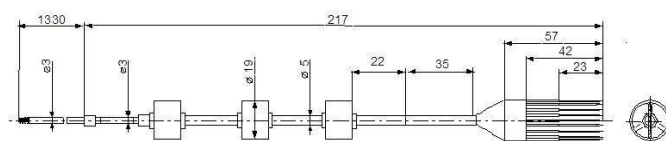


Рис.1.Продольный зонд “гребенка”

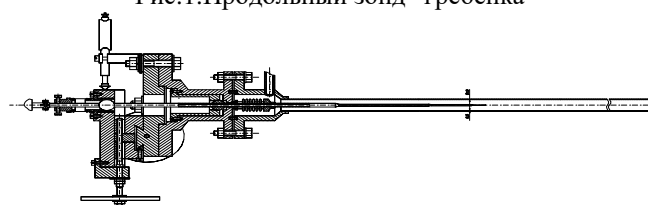


Рис.2.Рычажный зонд

способностью. Учитывая это требование и были выбраны устройства для создания системы.

В качестве измерительного прибора для создания системы измерения температуры с помощью термопары был выбран MAX31856, так как он удовлетворяет нашим требованиям и обладает рядом других преимуществ:

- Автоматически выполняет компенсацию холодного спая.
- Фильтрация помех 50/60 ГЦ
- Встроенные градуировочные характеристики (таблицы пересчета) для наиболее распространённых типов термопар (К, J, N, R, S, T, E и В)
- 19-битный АЦП, то есть обладает высокой разрешающей способностью.
- Вход защищен от перенапряжения в ± 45 В.
- Обнаруживает разомкнутый контур термопары и реагирует на переохлаждение и перегрев концов термопары, что значительно упрощает управление недостатками системы и быстро реагировать на неисправности.
- Вывод результатов измерений как в Вольтах, так и в градусах Цельсия.
- SPI-совместимый интерфейс, что дает возможность относительно просто включать данный АЦП в более сложные измерительные системы как на основе компьютеров, так и на основе микроконтроллеров.
- Разрешающая способность напряжения составляет 2-7 мкВ.

III. ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ

Существует много способов измерения скорости. Как показала практика, для задач исследования теплообмена при течении жидкостей в каналах различной геометрии наиболее применим метод измерения скорости корреляционным датчиком (Рис 3).

Датчик составлен из двух термопар, разнесенных на расстояние l . Первая и вторая термопара будут воспринимать похожие пульсации температуры, но с некоторой задержкой по времени τ (Рис.4).

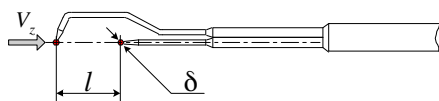


Рис. 3. Корреляционный датчик скорости.

Как видно из Рис. 4 при смещений одной осциллограммы относительно другой, на некоторое время τ они практически "совпадут" друг с другом, при условии что выполнена гипотезу Тейлора о "замороженной" турбулентности[2]. Время τ соответствует времени за которое информация была перенесена потоком от передней к задней термопаре. Время задержки τ можно найти следующим способом:

- необходимо перемножить и сложить осциллограммы термопар
- полученное значение нанести на график
- сместить осциллограммы относительно друг друга на фиксированный шаг по времени
- снова перемножить, сложить и нанести на график
- описанную последовательность действий необходимо повторить несколько раз

Пример такого графика приведен на Рис. 5. График будет иметь максимум, максимуму соответствует такое значение τ при котором сигналы оказались максимально похожи, можно утверждать что осциллограмма в этот момент была умножена сама на себя, в остальные моменты времени произведение будет меньше максимального.

Температурные пульсации имеют частоту около 20 Гц. Следовательно, по теореме Котельникова [1], мы должны вести измерения минимум в два раза чаще. Именно по этой причине нами был выбран аналогово-цифровой преобразователь ADS1256 фирмы Texas Instruments, который позволяет вести измерения с частотой 100Гц и выше (до 30 кГц). Управление модулем реализуется через протокол SPI.

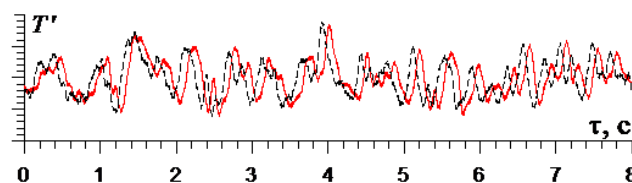


Рис.4. Пример осциллограмм сигналов с термопар корреляционного датчика скорости

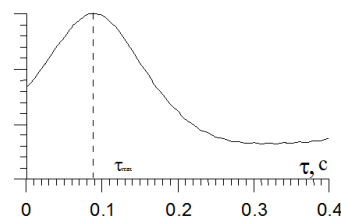


Рис. 5. Пример временной корреляционной функции

IV. УПРАВЛЕНИЕ РАБОТОЙ АЦП

При подаче на аналоговый вход сигнала с терморпары, АЦП определяет величину сигнала и переводит его в цифровую форму, понятную для ЭВМ.

Для управления работой АЦП используется микроконтроллер Arduino UNO. Авторами разработана программная часть, позволяющая управлять работой АЦП через интерфейс SPI. Перед рассмотрением принципа SPI интерфейса договоримся называть АЦП - ведомым устройством (SPI Slave), а Arduino UNO - ведущим устройством (SPI Master).

Достоинством SPI интерфейса (рис. 6) является то, что к одному ведущему устройству (микроконтроллер Arduino) можно подключить несколько ведомых устройств (несколько модулей MAX31856 или ADS1256). При чем мы сами устанавливаем порядок общения с набором ведомых устройств.

Линия SCLK служит для передачи тактового сигнала для ведомых устройств. Проще говоря эта линия сообщает ведомым устройствам момент времени, когда необходимо считать/записать бит информации. Это позволяет избежать многих ошибок связанных с несинхронностью работы ведущего и ведомого устройства. Линия MOSI используется для передачи данных от ведущего устройства ведомому. Линия MISO используется для передачи данных от ведомого устройства ведущему. Линия SS осуществляет выбор ведомого устройства.

Управление АЦП осуществляется через команды, которые передаются по линиям MISO и MOSI. В техническом описании аналогово-цифровых преобразователей приводятся необходимые команды. На рис. 7 в качестве примера представлена часть программы осуществляющая управление ADS1256.

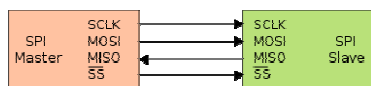


Рис. 6. Схема SPI интерфейса

```
ADS1256 | Arduino 1.8.2
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь
ADS1256 $
SPI.transfer(0x00);
SPI.transfer(ORDER_MSB | BUFEN_OFF | ACAL_OFF);

SPI.transfer(WREG | ADCON); //Сообщаем АЦП,
SPI.transfer(0x00); // что сейчас будет происходить запись
SPI.transfer(PGA_64 | RDCS_OFF | CLK_OFF); //Данные записываемые в регистр

SPI.transfer(WREG | DRATE); //Указываем регистр
SPI.transfer(0x00); // в который будет происходить запись
SPI.transfer(DR_500); //Данные записываемые в регистр

SPI.transfer(SELFCAL);

Компиляция скетча...
```

Рис.7. Управление работой АЦП

Часть программы, приведенная на рис. 7 сообщает АЦП необходимый коэффициент усиления (PGA_64) и частоту дискретизации (DR_30). Команда WREG|ADCON сообщает АЦП, что сейчас необходимо будет записать полученное значение в регистр ADCON. Далее передается само значение.

V. СВЯЗЬ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА И LABVIEW

После того как микроконтроллер получил необходимые данные, их необходимо отправить в LabVIEW для дальнейшей обработки. Связь микроконтроллер–LabVIEW осуществляется через COM-порт.

Разработанные программы реализуют вывод полученных данных на осциллограммы, позволяют сохранять данные в файл для последующей обработки. В основе программ лежит часто используемая в задачах автоматизации теплофизического эксперимента структура - “Конечный автомат” или “Машина состояний”. Данная структура позволяет управлять процессом измерений – задавать параметры измерений устройствам (задавать коэффициент усиления, количество измерений для усреднения и д.р.) – в процессе самого эксперимента.

Работа конечного автомата реализуется через очередь. Отправляя команду с пользовательского интерфейса, мы посылаем сообщение, которое ставится в очередь машины состояний. Каждой команде ставится в соответствие конкретное состояние. С помощью сообщения в очереди мы вызываем то или иное состояние системы. Данная структура является хорошей базой для дальнейшего развития программ. Ниже в качестве примера представлено состояние, получающее данные с COM-порта от модуля MAX31856.

Ниже приведена панель пользовательского интерфейса для модуля на основе MAX31856. (Рис.8)

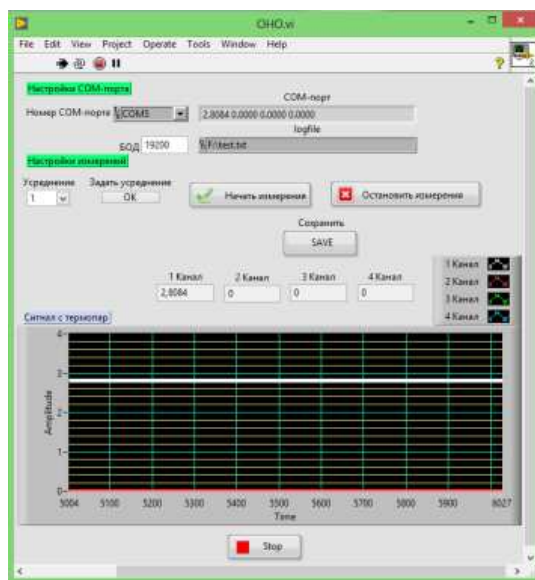


Рис.8. Пользовательский интерфейс для MAX31856

VI. ACTOR FRAMEWORK

Авторами была создана система, включившая в себя измерение пульсаций температуры и прецизионное измерение температуры.

Реализация этих измерений в LabVIEW, несмотря на их схожесть, значительно отличаются друг от друга. Например, система измерения пульсаций температуры чаще обращается к COM-порту и к памяти ЭВМ. Мы должны обеспечить независимость этих систем, чтобы избежать конфликтов между частями общей системы

Среда программирования LabVIEW имеет встроенный инструмент для решения подобных задач. Этим инструментом является – Actor Framework.

Помимо возможности разделить два независимых процесса, Actor Framework значительно упрощает разделение обязанностей между разработчиками.

Кратко поясним суть метода. Для каждой системы был создан свой класс. В объектно-ориентированном программировании (ООП) – класс это основной элемент, в рамках которого осуществляется конструирование программ. Класс содержит в себе данные и методы, которые управляют этими данными. Для каждого класса был создан соответствующий «actor», который может вызывать любые функции класса, следовательно, он управляет измерением. Также был создан «actor» который реализует пользовательский интерфейс и может вызывать других «actor-ов» находящихся у него в подчинении.

На рис. 9 представлена структура реализованной программы с использованием Actor Framework.

Стоит отметить что внутри «actor-ов» реализация программы представляет заданную последовательность действий (реализация конечного автомата), но сами «actor» работают независимо друг от друга.

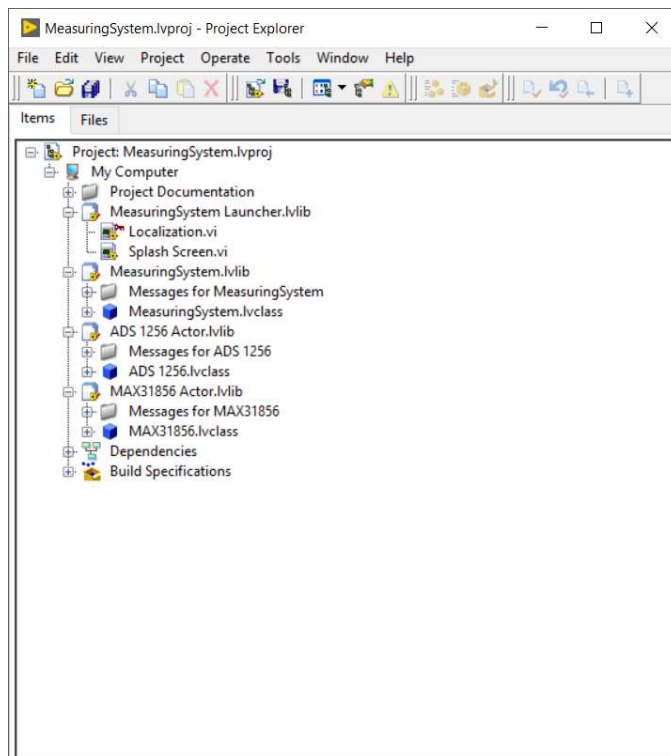


Рис. 9 Структура программы

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Генин Л.Г., Свиридов В. Г. Введение в статистическую теорию турбулентности
- [2] Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных.
- [3] Свиридов В.Г. Исследование гидродинамики и теплообмена в каналах применительно к проблеме создания термоядерного энергетического реактора. Дисс. докт. техн. наук. М., 1989.
- [4] Системы автоматизации теплофизического эксперимента : учебное пособие для вузов / Н.А. Виноградова, В.В. Гайдученко, А.И. Карякин и др. ; под ред. В.Г. Свиридова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007.

Реализация и внедрение в учебный процесс программного комплекса «ЭкоЛаб»

Алексеев Н.П., Денищук Д.А., Фоменко К.С.
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
Москва, Россия
alekseevnp@list.ru, dmitry.denishuk@yandex.ru,
fomenko.ks@gmail.com

Деревянко А.В.
АО «СберТех»
Москва, Россия
derevyankoanv@gmail.com

Аннотация — Доклад посвящен вопросам реализации программного комплекса «ЭкоЛаб» для выполнения лабораторных работ по дисциплине «природоохранные технологии на ТЭС», а также практике его применения в учебном процессе кафедры Тепловых Электрических Станций

Ключевые слова — выбросы, приземные концентрации, уровней шумов, тепловые электрические станции, современные, природоохранные технологии.

I. ВВЕДЕНИЕ

В процессе обучения студентов высших и средне-специальных учебных заведений возникает множество задач. Одной из наиболее важных можно считать активное вовлечение студентов в процесс их профессионального становления и повышение интереса к изучаемым дисциплинам. Информатизация образовательного процесса во многом помогает в решении данной проблемы, о чем свидетельствует бурное развитие данного направления в последнем десятилетии.

Стремительное развитие информационных технологий позволяет сделать процесс обучения интерактивным, наглядным и максимально удобным как для студентов, так и для преподавателей. Для этих целей на кафедре Тепловых Электрических Станций Московского Энергетического Института в марте 2017 года была начата разработка программного комплекса «ЭкоЛаб» для выполнения лабораторных работ по дисциплине «природоохранные технологии на ТЭС» [1]. Разработанный комплекс в тестовом режиме использовался в учебном процессе кафедры в весеннем семестре 2018 года. Отзывы, собранные в процессе его применения, были использованы для дальнейшей доработки комплекса.

II. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «ЭКОЛАБ».

При создании программного комплекса «ЭкоЛаб» особое внимание уделялось следующим задачам:

1) Акцентирование внимания студентов на последствиях воздействия вредных веществ на организм человека и окружающую среду, разъяснение особой важности внедрения передовых методов снижения уровня выбросов вредных веществ от промышленных объектов;

2) Освоение студентами основ экологических расчетов в соответствии с действующей нормативной технической документацией [2];

3) Понятная и однозначная постановка задач лабораторных работ. Описание способов применения полученных навыков и знаний на реальных объектах промышленности;

4) Интуитивно понятный для студентов и преподавателей интерфейс программы, позволяющий сократить время выполнения лабораторных работ. Наличие всплывающих справочных окон с разъяснениями специфики работы программного комплекса;

5) Улучшение восприятия информации с помощью использования инфографики, детализированных цветных схем и графиков. Максимальное задействование зрительной памяти студентов;

6) Исключение возможности плагиата, как во время проведения лабораторной работы, так и во время ее защиты. Формирование исходных данных для выполнения лабораторных работ и тестовых заданий с помощью специально разработанного алгоритма, исключающего повторения;

7) Максимально возможное исключение бюрократии из учебного процесса, как для студентов, так и для преподавателей. Автоматизация формирования отчетов, бланков, ведомостей, списков групп, выставления оценок и т.д. Максимальное уменьшение времени, затрачиваемое студентами и преподавателями на внеучебные процессы;

8) Минимизирование участия преподавателя в процессе проведения лабораторных работ, позволяющее использовать программный комплекс одинаково эффективно, как для классных занятий, так и для дистанционного обучения;

9) Создание личного кабинета для каждого студента, содержащего сохраненные отчеты, статистику о выполненных работах, учебные пособия и информацию о допусках к выполнению и защите лабораторных работ;

10) Создание личного кабинета для каждого преподавателя, позволяющего «в один клик» осуществлять контроль над выполнением и защитой лабораторных работ всей группы, допускать студентов к выполнению и защите, формировать ведомости и просматривать статистику по каждому студенту и группе.

III. ОСНОВНЫЕ БЛОКИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Курс «природоохранные технологии на ТЭС» МЭИ включает в себя проведение и защиту ряда лабораторных работ, направленных на освоение студентами основных экологических расчетов, повсеместно используемых при оценке воздействия энергетических объектов и промышленных предприятий на окружающую среду.

Программный комплекс работ условно разделен на два основных блока. Первый из них направлен на изучение алгоритмов расчетов выбросов вредных газообразных веществ и золы и их рассеивания в атмосфере, второй блок - изучение шумового загрязнения от энергетического оборудования. В соответствии с приведенным изображением главного окна комплекса (см рис. 1) к первому блоку можно отнести первую и третью лабораторные работы, ко второму – вторую.

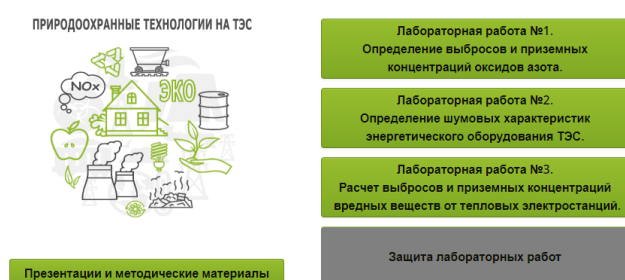


Рис. 1. Главное окно комплекса «ЭкоЛаб»

Перед началом каждой лабораторной работы студенту предлагается ознакомиться с короткой презентацией по изучаемой теме (см рис. 2). Презентация включает в себя наглядный графический материал и комментарии по основным процессам, изучаемым в работе.



Рис. 2. Часть презентации к лабораторной работе

Для удобства студента предусмотрена возможность скачивания необходимых методических материалов (см рис.3)



Лабораторная работа №3 Расчет выбросов и приземных концентраций вредных веществ от тепловых электростанций

- Цель работы**
1. Приобретение практических навыков проведения расчетов по определению выбросов вредных веществ из котлов ТЭС и их рассеивания в атмосфере.
 2. Расчет в программном комплексе вредных веществ и полей приземных концентраций.
 3. Анализ основных факторов, влияющих на выбросы вредных веществ и на их приземные концентрации.



Рис. 3. Реализация возможности скачивания

Рассмотрим содержание программного комплекса подробнее на примере третьей лабораторной работы.

Для каждого нового запуска, а значит для каждого студента, программный комплекс генерирует исходные данные для выполнения в соответствии с заданными параметрами. Эти исходные данные используются как в процессе выполнения, так и во время защиты лабораторной работы. Далее, на каждом шаге выполнения студенту предлагается заполнить данными соответствующие поля.

Расчетные показатели и коэффициенты, принимаемые студентами самостоятельно снабжены интегрированной справочной информацией (см рис. 4), позволяющей без консультаций и дополнительной литературы задать правильные значения. В программе использован справочный материал из основополагающих учебных пособий для ВУЗов, графическая часть которого переработана в векторную графику в соответствии с общим стилем интерфейса.

Выбор диаметра устья дымовой трубы

Диаметр устья дымовой трубы выбирается в соответствии с представленной таблицей.

Габаритная схема дымовой трубы	H, м	Диаметр устья дымовой трубы D ₀ , м																		
		1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	3	3,6	4,2	4,8	5,4	6	6,6	7,2	7,8	8,4	9	9,6	10,2	10,8
	30																			
	45																			
	60																			
	75																			
	90																			
	120																			
	150																			
	180																			
	210																			
	240																			
	270																			
	300																			
	330																			
360																				

■ - рекомендуемые параметры труб

Рис. 4. Пример отображения справочной информации

Результат выполнения лабораторной работы – построение карт рассеивания вредных веществ в атмосфере. (см рис. 5)

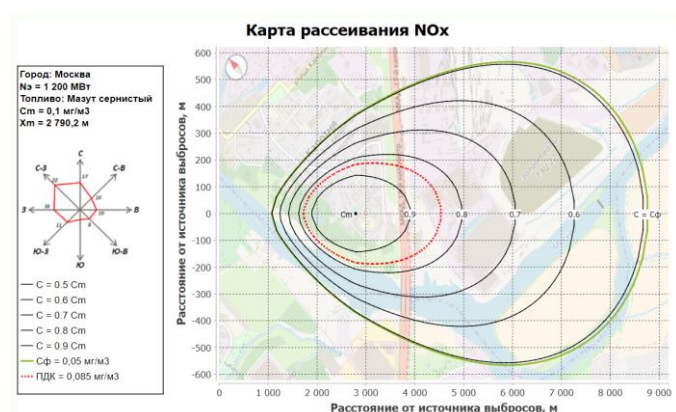


Рис. 5. Пример отображения карты рассеивания

При построении карт рассеивания, в отличие от используемых ранее программных комплексов, в «ЭкоЛаб» реализована привязка исследуемого источника загрязнений к реальным картам городов России и учет доминирующего направления ветра в заданном городе на рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере. Это позволяет сделать процесс обучения более наглядным и максимально приблизить результаты расчетов к реальным условиям.

Проверка вводимых студентом значений на каждом этапе работы позволяет практически полностью исключить возможность ошибки, а всплывающие подсказки позволяют максимально быстро выявить неверно вычисленные параметры.

По окончании выполнения лабораторной работы программный комплекс автоматически создает отчет о выполнении работы, включающий титульный лист с информацией о ВУЗе, студенте и преподавателе, описание лабораторной работы, исходные данные для расчета, результаты расчета, сведенные в таблицу, домашнее задание и бланки для его выполнения, а также страницу с основными формулами, использованными в расчете. Автоматическая генерация отчета позволяет сократить время студента, которое тратится на механическую работу написания отчета, не имеющую ничего общего с процессом обучения и направить сэкономленное время на выполнение расширенного домашнего задания для закрепления изученного материала.

Интерфейс программного комплекса позволяет «в один клик» осуществлять печать отчетов и бланков и исходными данными.

Как отмечалось ранее, помимо выполнения лабораторных работ в комплексе «ЭкоЛаб» предусмотрена возможность их защиты (см рис. 6).

Защита лабораторных работ



- Защита лабораторных работ проходит в тестовой форме
- Каждый тест содержит 10 вопросов, включая задачи из домашнего задания
- Для успешной защиты лабораторной работы необходимо ответить правильно как минимум на 8 вопросов
- После ответов на все вопросы нажмите на кнопку «Проверить тест» для проверки правильности ответов

- В ходе защиты разрешено пользоваться отчетом о выполнении лабораторной работы
- Перед началом защиты рекомендуется еще раз просмотреть презентацию о лабораторной работе. Открыть необходимую презентацию можно с помощью соответствующей кнопки вернувшись в главное меню
- Если тест не сдан, то следующая попытка сдачи предоставляется по решению преподавателя через его личный кабинет

Выбор защищаемой лабораторной работы

Защита лабораторной работы №1

Защита лабораторной работы №2

Защита лабораторной работы №3

Рис. 6. Окно выбора теста

Защита лабораторной работы представляет из себя тест, включающий домашнее задание. Вопросы для теста генерируются случайным образом для исключения возможности плагиата.

IV. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ЭКОЛАБ»

При проектировании комплекса «ЭкоЛаб» использовались современные средства разработки - Java 8, Spring, Framework, Vaadin Framework, PostgreSQL.

Особое внимание было уделено возможности его использования на ЭВМ разной производительности. Для достижения данной цели была выбрана клиент-серверная архитектура, предполагающая возможность установки серверной части на наиболее производительной ЭВМ компьютерного класса или же на выделенном сервере. Клиентская часть приложения запускается в любом современном браузере.

Данное решение позволило так же обеспечить возможность прохождения лабораторных работ удаленно. Удаленный режим работы может быть полезен в случаях использования комплекса в процессах дистанционного образования.

Стоит отметить, что в программном комплексе реализовано промежуточное сохранение данных на каждом шаге выполнения лабораторной работы, что позволяет избежать повторного ввода всей информации в случае перерыва при выполнении или потери соединения с сервером.

Применяемые решения определяют преимущества программного комплекса «ЭкоЛаб»:

- отсутствие необходимости установки программы на каждый клиентский компьютер — программа устанавливается на один компьютер (сервер), после чего любой пользователь компьютера ВУЗа может работать с ней через браузер;
- работа на компьютерах слабой мощности — вся обработка и вычисления происходят на сервере, данные отображаются в окне браузера пользователя;

- гибкость и универсальность архитектуры — имеются возможности настройки компонентов под конкретные условия, например, выполнение лабораторных студентами не в индивидуальном порядке, а в составе студенческих бригад;
- иерархическая модульная структура;
- масштабируемость — для балансировки нагрузки, в вычислительной сети может работать несколько запущенных экземпляров сервера;
- использование современных, открытых, зарекомендовавших себя технологий;
- возможность развития и наращивания функционала системы.

V. ГРАФИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

При создании графической оболочки программного комплекса «ЭкоЛаб» использовался современный графический редактор Inkscape, позволяющий создавать и редактировать векторную графику.

Использование векторной графики позволило минимизировать вес графических компонентов без потери качества изображений, тем самым повысив быстродействие программного комплекса.

При оформлении интерфейса «ЭкоЛаб» использовалась ограниченная палитра цветов. Основными цветами являются ярко-зеленый, серый и белый, вспомогательными — черный и красный.

При добавлении цветов в дизайн крайне важно выдерживать баланс; и чем их больше, тем сложнее становится этого добиться. Результат получится лучше, если придерживаться правила «максимум три основных цвета», формируя палитру. В ходе исследования от специалистов из Университета г. Торонто, большинство респондентов заявили, что предпочитают простые сочетания на основе двух-трех цветов [3]. Результаты данного исследования были применены при оформлении интерфейса программного комплекса «ЭкоЛаб» для улучшения восприятия оболочки.

В качестве базового цвета использовался ярко-зеленый, который ассоциируется с экологией и действует успокаивающе, что особенно актуально для процесса обучения.

Все изображения, использованные в программном комплексе «ЭкоЛаб» разрабатывались авторами специально под данный проект в едином стиле — минимализм.

VI. ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ПРОЕКТА

Программный комплекс разработан для поддержки учебного процесса в рамках дисциплины «природоохранные технологии на ТЭС». При этом авторы предполагают использование разработанной архитектуры для реализации подобных комплексов по другим дисциплинам. Основные преимущества разработанного комплекса будут полезны для большого количества учебных дисциплин российских ВУЗов.

Существенным плюсом для возможностей тиражирования является то, что, благодаря архитектурным особенностям, ВУЗы, имеющие в своем распоряжении достаточные вычислительные мощности, смогут предоставлять доступ к работе с программным комплексом более мелким ВУЗам. Подобные способы тиражирования позволят повысить общий уровень качества обучения по выбранным дисциплинам.

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На текущей стадии разработки реализовано большинство требуемых функций. Тем не менее, в соответствии с полученными в процессе тестового использования отзывами, необходимы некоторые дополнения и исправления. Так же требуется оформить возможности администрирования и функционал для преподавателя, после чего произвести повторный запуск в учебном процессе кафедры ТЭС.

После устранения всех замечаний, выявленных в процессе тестового использования, планируется создание методических материалов и инструкций по использованию программного комплекса для студентов и преподавателей.

Внедрение программного комплекса «ЭкоЛаб» в реальный учебный процесс является доказательством работоспособности и «гарантом качества» разрабатываемого продукта для других ВУЗов, заинтересованных в использовании современных программных средств в обучении своих студентов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Н.П. Алексеев, А.В. Деревянко, Д.А. Денишук, К.С. Фоменко, “Программный комплекс лабораторных работ «ЭкоЛаб» по дисциплине «природоохранные технологии на ТЭС»” – Материалы VII молодежной научно-технической конференции «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ -2017», г. Самара.
- [2] Приказ Минприроды России от 06.06.2017 N 273 "Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе" (Зарегистрировано в Минюсте России 10.08.2017 N 47734)
- [3] Red, White, and Blue Eight rules about color palettes that everyone should know. Блог компании Everyday Tools. 2017 г.

Электротехническая лаборатория: от физического эксперимента до виртуального

Алексейчик Л.В.

Жохова М.П.

Михеев Д.В.

Карпунина М.В.

кафедра теоретических основ электротехники

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

Москва, Россия

E-mail: ZhokhovaMP@mpei.ru

Аннотация — В докладе рассматриваются вопросы организации лабораторного практикума по дисциплинам «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ) и «Электротехника» с использованием современных обучающих технологий для очной, очно-заочной и дистанционной форм обучения. Методика сочетания традиционного (физического) и различных форм автоматизированного (компьютерного) эксперимента успешно применяется при подготовке студентов-бакалавров очной формы обучения Института электроэнергетики и Института электротехники НИУ «МЭИ». Для слушателей дистанционной формы обучения разработаны виртуальные стенды для проведения виртуального эксперимента. Приведен пример реализации базовой лабораторной работы по теме «Трехфазные цепи» в физическом, компьютерном и виртуальном исполнении.

Ключевые слова — современное инженерное образование, лабораторный практикум, физический эксперимент, виртуальный эксперимент, дистанционное обучение.

I. ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум является наиболее важным и затратным компонентом современного инженерного образования [1]. Современный подход к организации лабораторного практикума основан на сочетании традиционного физического и разных форм автоматизированного (компьютерного) эксперимента с обработкой численной и графической информации и передачей их на компьютер. Виртуальные лабораторные стенды, содержащие измерительные приборы, расширяют круг решаемых задач: студенту очной формы обучения позволяют подготовиться к проведению физического эксперимента в реальной физической лаборатории, определить этапы проведения лабораторных работ, диапазон измеряемых электротехнических характеристик; студенту очно-заочной формы обучения или слушателю дистанционной формы обучения - провести виртуальный эксперимент практически в любое удобное время без непосредственного доступа к физическому лабораторному стенду. Такая организация обучения нуждается, с одной стороны, в информационных технологиях и технических

средствах, работающих с реальными электротехническими установками, с другой стороны, - в наличии в учебной лаборатории экспериментального стенда с набором измерительных приборов и современным программно-техническим комплексом (ПТК) обработки, передачи и обмена данными, а также стендов для проведения виртуального эксперимента. При этом следует исходить из экономической целесообразности затрат, выбирая наиболее простые и эффективные решения. Рассмотренный подход практически реализован на кафедре ТОЭ «НИУ «МЭИ» при подготовке студентов очной формы обучения по направлению Электроэнергетика и электротехника (13.03.02) и слушателей ИДДО «НИУ «МЭИ» направления подготовки Электротехника и электроэнергетика (13.03.02) и Управление в технических системах (27.03.04) дистанционной форм обучения.

II. ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Цель лабораторного практикума состоит в более глубоком изучении теоретических положений и приобретении практических навыков проведения экспериментальных исследований в реальных условиях. При проведении физического эксперимента необходимо учитывать конкретные параметры и характеристики элементов, проводить сборку и диагностику электрической цепи в требуемом режиме, снимать экспериментальные данные с реальных измерительных приборов, проводить анализ получаемых результатов и сопоставление данных опыта и теоретического расчета. Последнее в основном и определяет инженерный навык: умение отличить «погрешность измерения» от «ошибочного измерения», выявить причины расхождения и устранить ошибку. Электротехническая лаборатория постоянно модернизируется, обновляется элементная и измерительная база, появляются новые лабораторные работы и совершенствуются описания лабораторных работ [2-3]. Так, сегодня на кафедре ТОЭ «НИУ «МЭИ» уже «третье» поколение учебной лаборатории, которая состоит из 24 одинаковых лабораторных стендов, оснащенных цифровыми и аналоговыми измерительными

приборами, двухканальным осциллографом с широким частотным диапазоном. Каждая лабораторная работа, проводимая в учебной лаборатории кафедры, рассчитана на 4 учебных часа. Описание лабораторной работы включает теоретическую часть, рабочее задание, таблицы экспериментальных данных, обработку экспериментальных данных, выводы и вопросы самопроверки. В качестве примера приведем результаты проведения физического эксперимента лабораторной работы "Исследование трехфазной цепи", схема исследуемой цепи которой приведена на рис. 1. В таблице 1 приведены данные физического эксперимента и теоретического расчета. В результате проведения физического эксперимента студент делает следующие выводы: результаты эксперимента совпадают с результатами теоретического расчета; расхождение результатов обусловлено наличием у стрелочных миллиамперметров внутреннего сопротивления (примерно 10 Ом) и погрешностью измерения; показания приборов соответствуют данным расчета с точностью до погрешности измерения.

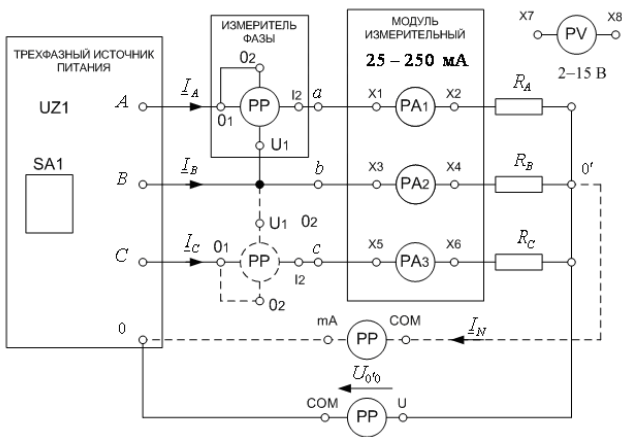


Рис. 1. Схема исследуемой цепи

Таблица 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА

Режим трехфазной трехпроводной цепи	I_A , мА	I_B , мА	I_C , мА	P_1 , Вт	P_2 , Вт
Симметричный $R_A = R_B = R_C = 150 \text{ Ом}$	50 (45)	50	50 (45)	0,45 (0,49)	0,45 (0,49)
Несимметричный $R_A = 68 \text{ Ом}$ $R_B = R_C = 150 \text{ Ом}$	70 (67)	55	55 (52)	0,67 (0,76)	0,47 (0,49)
Обрыв фазы А $R_B = R_C = 150 \text{ Ом}$	0	40	40 (39)	0	0,46 (0,48)
Короткое замыкание фазы А $R_B = R_C = 150 \text{ Ом}$	— (130)	80	80 (75)	1,32 (1,45)	0,51 (0,48)
В фазе А – $C = 22 \text{ мкФ}$ $R_B = R_C = 150 \text{ Ом}$	60 (63)	70	20 (19)	0,66 (0,65)	0,14 (0,14)

По результатам измерения для различных режимов трехфазной цепи "вручную" строятся векторные диаграммы, для которых проводится сравнение с данными из подготовки к работе, а также проверяется выполнение баланса активной мощности. Даже эти простые действия у современных студентов, привыкших к использованию графических редакторов, могут вызывать некоторые сложности и, как правило, требуют дополнительного объяснения преподавателя.

III. ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Для повышения качества и результативности лабораторного практикума на кафедре ТОО «НИУ «МЭИ» была произведена модернизация оборудования [4,5] за счет установки блоков аналого-цифровых преобразователей (АЦП) в лабораторные стенды и внедрения информационно-измерительного программно-технического комплекса (ПТК) «DeltaProfi». Данный ПТК является разработкой российского производителя (НПП «Учтех-Профи»), а его элементная база состоит преимущественно из отечественных комплектующих. Проведение лабораторных работ на модернизированных лабораторных стендах позволяет обрабатывать и представлять на дисплее персонального компьютера (ПК) результаты физических экспериментов, что расширяет познавательные возможности студента в рамках проведения лабораторных работ.

Фотография лабораторного стенда с собранной электрической цепью лабораторной работы «Исследование трехфазной цепи» в соответствии с заданием приведена на рис. 2, а мнемосхема с результатами измерений для исследования несимметричного режима представлена на рис. 3.

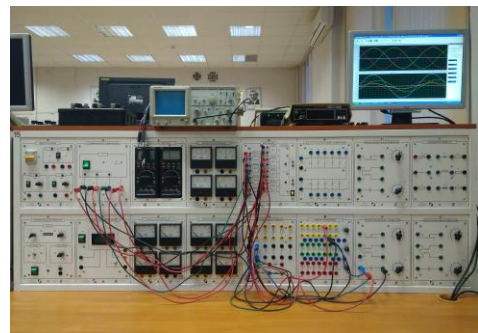


Рис. 2. Лабораторный стенд с подключением ПТК «DeltaProfi»

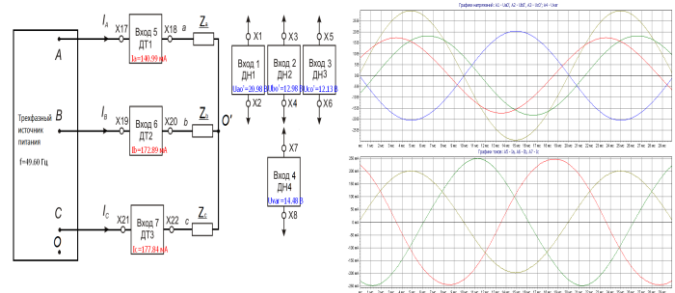


Рис. 3. Мнемосхема и результаты компьютерного эксперимента

Использование информационно-измерительного ПТК «DeltaProfi» в курсе ТОЭ позволяет [4-5]:

- проведение реального физического эксперимента на лабораторном оборудовании с выводом и обработкой данных результатов эксперимента на ПК с обеспечением простоты и наглядности пользовательского интерфейса;
- анализ данных экспериментов на интерактивных мнемосхемах с набором измеряемых величин, который может быть дополнен самим студентом;
- одновременное представление 8 осциллограмм мгновенных значений входных сигналов с возможностью регистрации их изменений при измерении параметров сигналов, в том числе действующих и средних значений токов и напряжений, в режиме реального времени;
- повышение степени визуализации результатов экспериментов и возможность работы с программой «DeltaProfi» вне учебной лаборатории.

Внедрение современных информационных технологий не противопоставляется реальному физическому эксперименту, а дополняет его возможности в наиболее доступных и разнообразных формах представления результатов эксперимента, что существенно повышает наглядность и облегчает обучаемому анализ физических процессов, происходящих в электрических цепях, и расширяет возможности проведения физического моделирования.

IV. ВИРТУАЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Для разработки виртуальных приборов электротехнической лаборатории была выбрана среда графического программирования LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), представляющей собой инструментальные средства и язык графического программирования, а также все инструменты, необходимые для сбора данных, их анализа и представления [6-8]. Имея в своем составе большой выбор стандартных элементов управления и индикации, а также средств взаимодействия между ними, LabVIEW позволяет достаточно быстро создать виртуальный лабораторный стенд. Файл виртуального прибора (ВП) передается обучаемому в виде исполняемого файла с расширением .exe, который образован средствами LabVIEW из рабочего файла ВП с расширением .vi., а также поддержка подпрограммы LabVIEW Run-Time Engine для запуска ВП.exe. Пользователю необходимо сначала установить LabVIEW Run-Time Engine (объем памяти на жестком диске не менее 600 МБ, объем памяти ОЗУ не менее 1 Гб, операционные системы для персональных компьютеров типа Windows XP, Vista, Windows 7). При этом коды блок-диаграммы ВП недоступны для пользователя, благодаря чему обеспечивается надежное функционирование лицевой панели.

Лицевая панель может полностью имитировать физический стенд (рис. 4) или быть в большей степени ориентирована на подготовку обучаемого к проведению лабораторной работы и проверки теоретических расчетов комплексных токов и напряжений (рис. 5) в зависимости от режимов электрической цепи при виртуальном моделировании. Краткое описание работы, входных и выходных данных, а также требуемых результатов сравнения расчетных и экспериментальных данных для ВП (рис. 5) приведены в разделе "Документация", выбор которого доступен в меню, всплывающем при нажатии иконки ВП, расположенной в верхнем правом углу лицевой панели. Обучаемый имеет возможность установки произвольных комплексных нагрузок, включая сопротивление нейтрального провода, что затруднительно при проведении физического эксперимента

Для слушателей ИДДО проведение виртуального эксперимента максимально ориентировано на повторение физического эксперимента, проверки совпадения результатов теоретической подготовки и рабочего задания. Виртуальный стенд позволяет моделировать проведение работы подобно физическому эксперименту (возможность изменения параметров элементов, изменения топологии электрической цепи, работу с виртуальными приборами). У пользователя создается впечатление, что он работает с реальным лабораторным стендом.

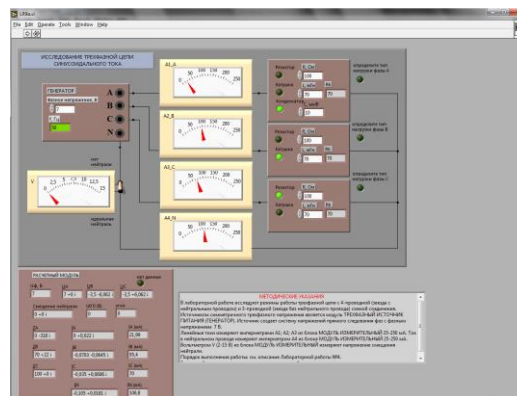


Рис. 4. Лицевая панель ВП

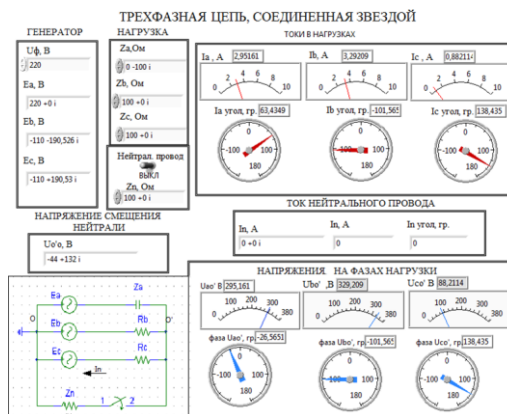


Рис. 5. Лицевая панель ВП

Для дистанционной формы обучения описание виртуальной лабораторной работы, методические указания к её проведению должны быть полными и подробными, так как дистанционная форма обучения предполагает самостоятельное проведение слушателем учебного процесса. На рис. 6 приведен пример методического описания виртуальной лабораторной работы «Исследование трехфазной цепи синусоидального тока».

На рис. 7 приведен бланк отчета виртуальной лабораторной работы, выполненный слушателем ИДДО группы ИД-03130-16.

Состав и описание виртуальных лабораторных работ включены в ЭУМК [9-10].

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сочетание физического и виртуального экспериментов эффективно используется на кафедре ТОЭ НИУ «МЭИ» при проведении всего комплекса лабораторных работ по темам «Линейные и нелинейные электрические и магнитные цепи», включая ряд работ по теме «Теория электромагнитного поля», что достигается при относительно небольших экономических затратах.

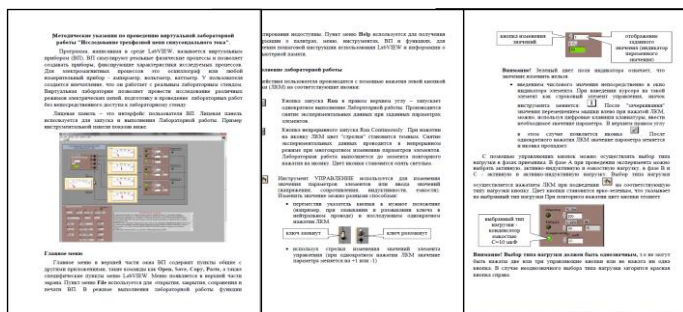


Рис. 6. Методические указания к проведению виртуальной лабораторной работы



Рис. 7. Бланк отчета виртуальной лабораторной работы

Обучаемый имеет возможность сборки электрической схемы, подключения и наблюдения показаний приборов и различных датчиков, исследования характеристик и параметров схем замещения электрических цепей, математических моделей описания наблюдаемых процессов, анализа полученных результатов и ошибок (или отклонений) физического эксперимента. С помощью управляющих команд, действующих на объект виртуального эксперимента, реализуется возможность достижения различных режимов работы такого объекта, в том числе недоступных при физическом эксперименте, а также достоверной проверки теоретических положений и значений расчетных параметров исследуемых процессов. Таким образом, имеется возможность предоставления электротехнической лаборатории не только как темы конкретной дисциплины, но и как синтеза информационных технологий и эксперимента, приближающего процесс обучения к творческому подходу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Информатизация образования: направления, средства, технологии/ под. общ. ред. С.И. Маслова. – М.: Издательство МЭИ, 2004.
- [2] Кафедра ТОЭ. Лабораторный и компьютерный комплексы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://toe.mpei.ru> (дата обращения 26.03.2018).
- [3] Лабораторный практикум «Цепи постоянного и синусоидального тока»: методическое пособие / под ред. М.П. Жоховой. М.: Издательство МЭИ, 2017. 115 с.
- [4] Программно-технический комплекс DeltaPROFI. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.uralstend.ru/DeltaProfi.pdf> (дата обращения 26.03.2018).
- [5] Михеев Д.В., Карпунина М.В., Алексеев Г.С., Третьяков П.М. Компьютеризация лабораторных работ по дисциплине «Теоретические основы электротехники» // Радиотехника, электротехника и энергетика: Двадцать четвертая Международ. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (15–16 марта 2018 г., Москва): Тез. докл. М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2018. С. 1005 с.
- [6] Алексейчик Л.В., Бутырин П.А., Васильковская Т.А., и др.. Автоматизация физических исследований. Компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW (30 лекций). Под ред. П.А. Бутырина. Второе издание: М.: ДМК Пресс, 2014. 256 с.
- [7] Алексейчик Л.В., Жохова М.П., Васильковская Т.А. Использование мультимедийных средств для визуализации процессов в длинных линиях // Вестник МЭИ. 2018. №1. С. 132-138. DOI: 10.24160/1993-6982-2018-1-132-138.
- [8] М.П. Жохова, В.В. Краушкин, Г.И. Лесников. Виртуализация учебной электротехнической лаборатории// Труды международной научно-методической конференции ИНФОРИНО 2012, 10-11 апреля 2012 г, Москва, Издательский дом МЭИ, с. 291-293.
- [9] Жохова М.П. ЭУМК «Теоретические основы электротехники» направления подготовки 13.03.02 Электротехника и электроэнергетика/ договор №04з/17 от 31.05.2017. СДО МЭИ.
- [10] Жохова М.П. ЭУМК «Электротехника» направления подготовки 27.03.04 Управление в технических системах/ договор №05з/17 от 31.05.2017 СДО МЭИ.

Разработка программного обеспечения для управления цифровым осциллографом GW Instek GDS-2062

Анисимов А.Д., Краюшкин В.В., Мишин А.А.
ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский университет "МЭИ"
Москва, Российская Федерация

Аннотация – В работе рассматриваются вопросы разработки кроссплатформенного программного обеспечения для управления цифровыми приборами учебно-исследовательской лаборатории, в частности, осциллографом GW Instek GDS-2062. Описаны достоинства и недостатки, а также перспективы развития рассматриваемого программного обеспечения.

Ключевые слова – современное инженерное образование, информатизация учебного процесса, кроссплатформенное программное обеспечение, цифровой осциллограф.

I. ВВЕДЕНИЕ

Данная работа посвящена вопросам разработки кроссплатформенного программного обеспечения (ПО) для управления цифровыми приборами, составляющими основу лабораторных стендов учебно-исследовательских лабораторий «Основы электротехники и электроники» кафедры ВМСС НИУ МЭИ. Ниже на рисунке представлен внешний вид лабораторного стенда, используемого в лабораториях:

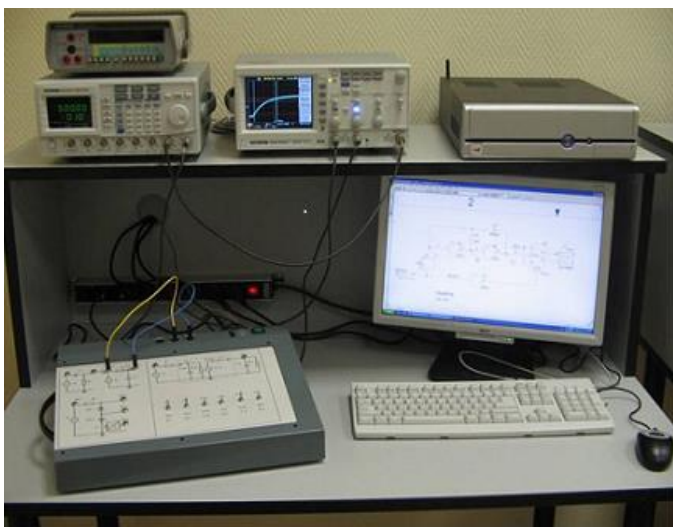


Рис 1. Лабораторный стенд

Отказ от проприетарного программного обеспечения и переход к свободным аналогам является, несомненно, важным и разумным шагом в контексте образовательного программного комплекса. Однако переход к открытому ПО сопряжен с некоторыми проблемами. Так, например, для задач, поставленных в курсе “Веб-технологии”, потребовалась замена операционной системы на стеновых компьютерах в электротехнических лабораториях МЭИ с ОС Windows XP SP3 фирмы Microsoft на дистрибутив GNU/Linux OpenSUSE Leap 42.3. В ходе смены ОС возникла задача переноса существующего комплекса программного обеспечения, сопровождающего лабораторное оборудование, на новую платформу. В частности, потребовалось разработать программу для передачи изображения формы волны и удаленного управления с персонального компьютера осциллографом GW Instek GDS-2062 (в дальнейшем GDS-2062) [1]. Существующий комплекс ПО, разработанный компанией GW Instek, а именно FreeWave, не подходит, так как он разработан исключительно под операционную систему Windows XP. В связи с этим, было принято решение разработать ПО, которое бы являлось функциональным аналогом программы FreeWave, но при этом было кроссплатформенным. А именно, поддерживало бы операционные системы семейства Microsoft Windows, а также дистрибутивы на базе GNU/Linux (в частности дистрибутив OpenSUSE). Также, необходимо обеспечить данное ПО подробной документацией, и выпустить его под свободной лицензией для упрощения дальнейшей доработки и расширения функционала другими сотрудниками кафедры.

II. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Целью данной работы была разработка программного обеспечения для передачи формы волны с осциллографа, а также сопутствующих данных, таких как частота сигнала, его период и прочие данные, измеряемые устройством.

В выполненной работе были поставлены следующие задачи:

- Исследовать возможности передачи данных с GDS-2062 на ПК.
- Разработать ПО для построения осциллограммы на основе полученных с осциллографа данных и вывода её, а также сопутствующий данных на экран ПК, используя для передачи данных интерфейс USB 2.0 Full-Speed, со скоростью передачи данных 0,5-12 Мбит/с.
- Исследовать дальнейшие перспективы использования свободного ПО в других институтиских курсах.

III. АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ И ДРУГИХ ИСТОЧНИКОВ ДАННЫХ

В процессе выполнения данной работы был произведен анализ доступной печатной литературы по данной теме. В ходе работы выяснилось, что документация, предоставленная компанией GW Instek вместе с прибором, а также на официальном сайте, не является полной. В ней отсутствовали некоторые функции и запросы для моделей серии GDS-2000, в частности функция полного дампа памяти осциллографа на ПК по протоколу USB. Однако эти функции присутствовали в документации к моделям серии GDS-2000E, и они работали при применении их к модели GDS-2062. Отсюда следует, что документация не является полной, что, в свою очередь, усложняло разработку и препятствовало использованию всех возможностей модели GDS-2062.

IV. ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной работе объектами исследования являются осциллограф GDS-2062 и ПК на базе дистрибутива OpenSuse Leap 42.3. Спецификация ПК представлена в таблице 1.

Полученное в ходе данной работы приложение разрабатывалось как функциональный аналог программы FreeWave работающий только под ОС Windows XP. Помимо ограниченного числа поддерживаемых операционных систем, а также отсутствия поддержки осциллографов старшего поколения новыми версиями FreeWave, важным недостатком является посредственная производительность в виду передачи изображения экрана осциллографа целиком, а не отрисовка его с помощью ресурсов ПК на основе полученных точек. Примеры интерфейса FreeWave изображены на Рис. 2 и Рис. 3.

Таблица 1. Спецификация ПК.

Модель центрального процессора	Intel Core 2 Duo E6300 1,83GHz
ОЗУ	1 Gb DDR2 800MHz
Графическая подсистема	Встроенная графика Intel GMA 3100 OpenGL 2.0 DirectX 10.0
Память	50 Gb HDD SATA 2

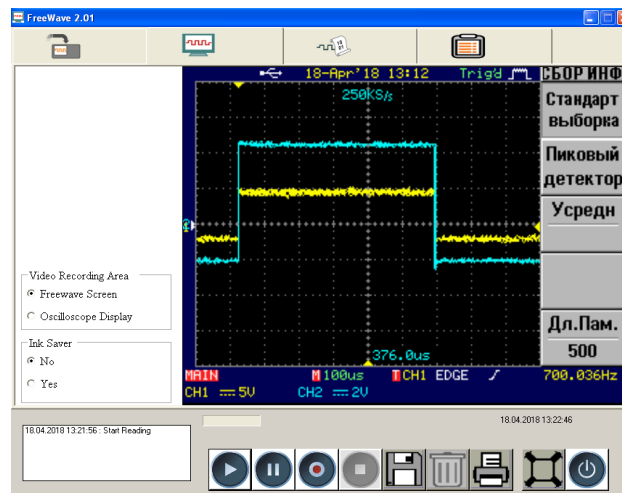


Рис. 2. Интерфейс программы FreeWave

V. ИСПОЛЬЗУЕМАЯ СРЕДА РАЗРАБОТКИ

В данной работе использовалась кроссплатформенная среда разработки Qt Framework 5.10 [2] - [4]. Qt позволяет запускать написанное с его помощью программное обеспечение в большинстве современных операционных систем путём простой компиляции программы для каждой системы без изменения исходного кода. Также фреймворк включает в себя все основные классы, которые могут потребоваться при разработке прикладного программного обеспечения, начиная от элементов графического интерфейса и заканчивая классами для работы с сетью, базами данных и парсинга XML. Qt является полностью объектно-ориентированным, расширяемым и поддерживающим технику компонентного программирования.

Отличительная особенность фреймворка — использование метаобъектного компилятора предварительной системы обработки исходного кода.

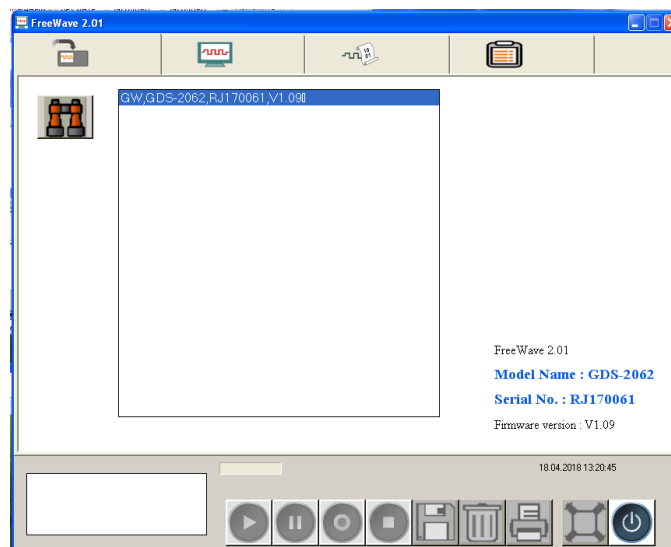


Рис. 3. Интерфейс программы FreeWave

Расширение возможностей обеспечивается системой плагинов, которые возможно размещать непосредственно в панели визуального редактора. Также существует возможность расширения привычной функциональности виджетов, связанной с размещением их на экране, отображением, перерисовкой при изменении размеров окна.

Интерфейс данной программы написан с использованием языка QML.

QML (Qt Meta Language или Qt Modeling Language) — декларативный язык программирования, основанный на JavaScript, предназначенный для дизайна приложений, делающих основной упор на пользовательский интерфейс. Является частью Qt Quick, среды разработки пользовательского интерфейса, распространяемой вместе с Qt.

Логика программы была написана на C++ с использованием классов и особенностей Qt Framework.

VI. ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ С GDS-2062 НА ПК ПО КАБЕЛЮ USB 2.0

Данный осциллограф имеет 2 метода передачи данных через интерфейс USB2.0.

Первый метод — это передача изображения в формате BMP. Этот метод использует программа FreeWave. Поскольку скорость передачи данных по интерфейсу ограничена спецификациями стандарта USB2.0 Full-Speed, то данный метод был отброшен, так как он требует слишком больших ресурсов для передачи одного «кадра». Под «кадром» подразумевается один снимок осциллограммы. Если это формат BMP, то будет сделан снимок всего экрана осциллографа, и он будет передан на ПК. Если формат CSV, то под «кадром» подразумевается строка длиной 1014 символов в HEX которую потом можно преобразовать в график средствами программы.

Вместо первого метода было решено использовать второй метод передачи данных, а именно передачу данных в формате CSV (comma separated value, «значения, разделенные запятой»). Данный формат передачи данных намного более экономичный с точки зрения размера одного «кадра». Требуется передать всего лишь 1014 символов в кодировке HEX для каждого канала.

Осциллограф поддерживает общение через USB с помощью predefined команд, описание которых можно найти в документации по программированию данной модели.

Запрос GDS-2062 и ответ обрабатываются с помощью класса QSerialPort, который предоставляет большие возможности для работы с последовательными портами.

VII. ОБРАБОТКА ДАННЫХ НА ПК И ПОСТРОЕНИЕ ОСЦИЛЛОГРАММЫ

После получения данных через QSerialPort, эти данные переводятся в формат HEX для упрощения их редактирования и преобразования в напряжение.

От QSerialPort на вход дается строка в формате HEX длиной 1014 символов. Ниже, на Рис. 4 приведен пример строки, содержащей информацию о форме волны получаемой через терминал

Первые 14 символов это сервисная информация. В ней содержится длина строки, интервал между точками, номер канала и прочая информация. Остальные 1000 символов содержат данные о осциллограмме, которые можно перевести в напряжение с помощью данного кода:

```
QVector<float> getVoltage(QString _string) {
    for (int i=4; i<_string.size();i+=4+1){
        _string.insert(i," ");
    }
    QStringList list = _string.split(' ');
    for (int i =0; i<7;i++){
        list.removeFirst();
    }
    QString temp = "";
    int i=0, chanscal = 2;
    bool valid;
    float AD = 24.5;
    QVector<float> _pvector(500);
    while (i<500){
        temp[0] = list[i][2];
        temp[1] = list[i][3];
        temp[2] = list[i][0];
        temp[3] = list[i][1];
        union data2 {
            char a[2];
            signed int abc;
        } myData3;
        myData3.abc = 0;
        myData3.a[0] = temp.left(2).toInt(&valid,16);
        myData3.a[1] = temp.right(2).toInt(&valid,16);
        if (myData3.abc > 65281) {
            _pvector[i] = ((float)(myData3.abc-
65535)/AD)*chanscal;
        }
        else {
            _pvector[i] = ((float)(myData3.abc)/AD)*chanscal;
        }
        i++;
    }
    return _pvector;
}
```

Построение графика выполняется с помощью модуля <QtCharts>. Пример такого графика и интерфейса программы приведены на Рис. 5.

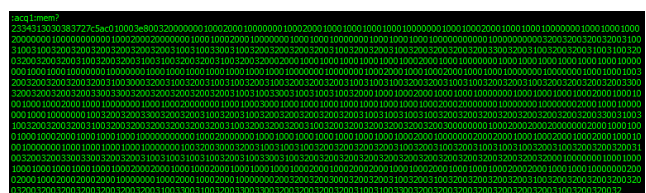


Рис. 4. Строка, содержащей информацию о форме волны, получаемой через терминал.

VIII. ВЫВОДЫ

Данная осциллограмма обновляется 20 раз в секунду. В ходе эксперимента было выявлено, что дополнительное увеличение количества кадров в секунду приводит к значительному увеличению потребления ресурсов системы без видимого эффекта, а также это повышает вероятность ошибки при передаче данных между персональным компьютером и осциллографом.

При этом при грамотной анимации переходов при изменении 2-х наборов точек переход не будет выглядеть «дерганым», то есть приложение будет работать более плавно и потреблять меньше ресурсов, чем если бы оно работало на более высокой частоте обработки кадров в секунду.

В настройках приложения можно будет выбрать количество кадров в секунду, чтобы не ограничивать в скорости работы более быстрые машины, для которых потребление дополнительных ресурсов не играет большой роли и требуется более высокая скорость обновления осциллограммы.

Также в настройках будет выбор режима отрисовки данной осциллограммы. Первый режим будет строить осциллограмму по точкам, соединяя две соседние точки прямой. Второй режим будет строить кривую сглаживая тем самым переходы и предоставляя более правильную с точки зрения электротехники картинку.

Построение графика производится с применением библиотеки OpenGL 2.0, тем самым достигается значительное улучшение быстродействия и снижение нагрузки на центральный процессор, с переносом ее на графический ускоритель.

В данной работе была создана программа для получения информации от цифрового осциллографа GW Instek GDS-2062. Список поддерживаемых моделей в теории не ограничен, так как добавление новой модели потребует только небольшое добавление в код программы, вроде новых команд и функций обработки полученной информации, в то время как интерфейс, и ядро программы остаются неизменными.

Данная программа работает как под GNU Linux, так и под ОС Windows, что в свою очередь соответствует требованию кроссплатформенности данного ПО.

Производительность данной программы выше чем у той, которую она заменяет, за счет кардинального изменения метода передачи данных между осциллографом и персональным компьютером. Таким образом системные требования для данного ПО не превосходят, те, которые были у программы, которую она заменяет. Что в свою очередь дает совместимость с большинством компьютеров, стоящих в лабораториях в школах и ВУЗах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] GDS-2000 Series User Manual. — GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD. No. 7-1, Jhongsing Rd, Tucheng City, Taipei County 236. Taiwan.
- [2] Боровский А. Qt 4.7+ Практическое программирование на C++. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — С. 496. — ISBN 978-5-9775-0757-8
- [3] Макс Шлее. Qt 5.3 Профессиональное программирование на C++. — СПб.: БХВ-Петербург, 2015. — С. 928. — ISBN 978-5-9775-3346-
- [4] Макс Шлее. Qt 5.10 Профессиональное программирование на C++. — СПб.: БХВ-Петербург, 2018. — С. 1072. — ISBN 978-5-9775-3678-3.

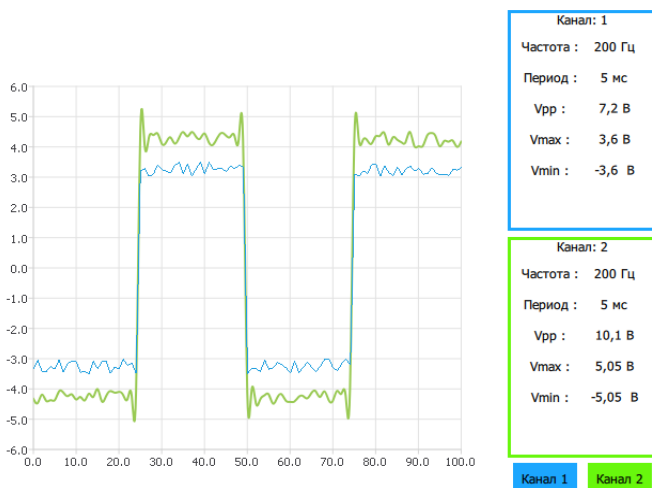


Рис. 5. Пример интерфейса программы и построенного графика.

Применение стабиллографии для исследования влияния ограничения подвижности суставов человека в задаче сохранения вертикальной позы

Бабанов Н.Д., Кобрин А.И.
ФГБОУ ВО Национальный исследовательский
университет «МЭИ»,
Москва, Россия

Аннотация — Применение отечественного оборудования и программного обеспечения, позволяющего исследовать силовые характеристики взаимодействия человека с опорой (опорные реакции), обеспечивает расширение возможностей в подготовке специалистов в таких областях, как, например, проектирование антропоморфных роботов, конструирование экзоскелетов и протезов конечностей. Цель работы – демонстрация возможности использования одной из технологий индустрии 4.0 при подготовке в НИУ «МЭИ» высококвалифицированных специалистов, владеющих методами регистрации и использования биологических сигналов. На примерах использования трёхзвенной и двухзвенной моделей человека показан способ использования стабиллографической платформы в качестве исследовательского инструмента в задаче сохранения вертикальной позы. Получены качественные оценки положения равновесия человека с использованием основных показателей статокинезограмм. Обсуждается перспективность использования стабиллографического комплекса в том числе при организации студенческих экспериментально-теоретических лабораторных работ в области индустрии 4.0.

Ключевые слова — опорные реакции, силовые платформы, стабиллометрия, постурография, антропоморфные роботы, экзоскелеты, программное обеспечение, инженерное образование.

I. ВВЕДЕНИЕ

Близкие теории автоматического управления известные физиологические концепции П.К. Анохина [1] и Н.А. Бернштейна [2], можно рассматривать как адаптацию универсальных физических законов для биологии. В частности, Н.А. Бернштейн, говоря о системных теориях, кибернетике, использовал определение «общей науки об управлении сложными системами, информации и связи» [2]. Соответственно, логика развития современных технических систем, природоподобных технологий, демонстрирует актуальность сочетания чисто физических, инженерных знаний и биологических. Например, в разработке двуногих роботов – это следование природным образцам [3], с использованием различных биомеханических моделей, в том числе, связанных с исследованием

опорных реакций при стабилизации позы [4]. Также наоборот, традиционным подходом для механики является создание моделей, которые можно использовать и для решения медико-биологических задач – например, кроме моделей разных видов маятников для вертикальной позы человека [4], это может быть рассмотрение движения полых тел, заполненных жидкостью [5]. Более широкое понимание задач проектирования обуславливает необходимость исследования оптимального сенсорного обеспечения и управления движением (например, [6]). Основной рисунок движения, изменение конфигурации скелетного многозвенника во времени, складывается из согласованных наборов взаимных перемещений звеньев скелета – синергий. Каждая из синергий соотнобразует со своим назначением и выполняет его наиболее экономным энергетически и по «информационным ресурсам системы управления» способом. Глобальная сгибательная синергия обеспечивает кинематически и энергетически реализацию основной позы «человека прямоходящего» при вставании. Организация движений звеньев при глобальной сгибательной синергии осуществляется за счет низших уровней управления, а определенная устойчивость вертикальной позы обеспечивается работой иерархически высших уровней управления, обладающих существенно более высокими точностью и быстродействием по сравнению с низшими «синергетическими» уровнями и доминирующими над ними. Параметры управления по обратной связи при вертикальном стоянии в сагиттальной плоскости определяются обычно используемой двусуставной (голеностопный и тазобедренный суставы) биомеханической моделью тела человека. Анализ проводится в терминах нормальных координат [7], описывающих малые колебания в тазобедренном и голеностопном суставе. Нормальные колебания представляют собой независимые базовые элементы движений, которые управляются центральной нервной системой с помощью обратной связи при коррекции позы в ответ на внешние возмущения. Использование обуви, фиксирующей голеностопный сустав (например, у горнолыжников или хоккеистов) часто не является наилучшим решением с точки зрения биомеханики человеческого тела. Уникальные физиологические

требования, например, в горнолыжном спорте обязывают спортсмена иметь высокую степень эксцентрической, изометрической и концентрической работы мышц и координации для стабилизации и активности голеностопного сустава. Такая же особенность наблюдается в экзоскелетах, предназначенных для увеличения силовых возможностей человека. Их использование, наряду с расширением возможностей человеческого тела, имеет ряд ограничительных последствий. Часто, используемая конструкция нижней конечности предполагает фиксацию голеностопного сустава. Если оператор экзоскелета пользуется устройством продолжительное время, а не просто демонстрирует его возможности, то из-за нарушений, вызванных измененной биомеханикой, он будет чувствовать существенный дискомфорт. При этом введение дополнительных связей может существенно влиять на регуляцию вертикальной позы, изучение которой представляет собой важную и актуальную задачу биоинформатики. Для получения теоретических значений и качественной оценки способности поддержания вертикальной позы, используется стабиллографическая платформа, оснащённая аналитическим программным комплексом [8]. Стабиллографический комплекс с программным обеспечением STPL является перспективным инструментом в решении технических и исследовательских задач, связанных с обеспечением вертикальной позы человека. диагностикой нарушений равновесия тела человека, изучением биомеханики движения, оценкой тренированности и психо-эмоционального состояния человека, динамикой функционального состояния.

В этой связи, достаточно простые в практическом применении приборы и технологии, которые позволяют наглядно представить и количественно исследовать параметры управления позой человека по опорным реакциям, особенно интересны для инженерного образования. Целью данной работы была демонстрация возможности соответствующего использования отечественной однокомпонентной силовой платформы (стабилоплатформы) с многофункциональной управляющей программой STPL [9].

II. ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАБИЛОГРАФИИ В ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Рассмотрим влияние ограничения подвижности голеностопного сустава на способность человека сохранять вертикальную позу. Для описания движений человека будем использовать традиционные модели. Движение в сагиттальной плоскости часто описывается моделью перевернутого маятника. При этом полученные уравнения позволяют производить определение положения центра давления в зависимости от угла отклонения тела и развиваемого управляющего момента в суставе. Однако в работе [10] было показано, что такое представление не является достаточным для описания поставленной задачи. Корректней использовать трёхзвенную модель

перевернутого маятника с подвижными голеностопным, коленным и тазобедренным суставами. Эта проблема обсуждалась на конференции [11] и научной сессии [12]. Была поставлена цель изучить влияние зажатого голеностопного сустава, при подвижности остальных, на способность человека сохранять вертикальную позу. Нами получены уравнения для описания двух моделей человека: трёхзвенного перевернутого маятника, моделирующего человека без ограничений, и двухзвенного перевернутого маятника, как случай с зажатым голеностопным суставом. Считается, что звенья недеформируемые, обладающие массой. Модели максимально повторяли массово-габаритные характеристики человека. Принимается упрощение, что руки неподвижны и расположены вдоль корпуса (руки по швам), голова также неподвижна. Корпус, руки и голова представляют из себя единое звено. Наклоны и изгибы в пояснице отсутствуют. Наклон корпуса вперёд и назад обеспечивается за счёт тазобедренного сустава. Отмечено, что при построении теоретической области значений отклонения центра давления человека наибольший вклад вносили значения развиваемых управляющих моментов в суставах, в то время как значения углов отклонения звеньев вносили небольшие изменения на рассчитываемые значения сагиттальной и фронтальной координат центра давления – 2-3 % от вычисляемого значения. Такую особенность можно объяснить тем, что задача решается при малых углах отклонения звеньев. Можно сказать, что при малых углах отклонения тела центр давления является вертикальной проекцией центра масс на плоскость стабиллографической платформы.

Для сравнения полученных теоретических и практических значений, нами были проведены исследования, во время которых регистрировался центр давления у свободностоящего человека и у человека с зафиксированным суставом. При испытаниях фактически сравнивались трёхзвенная модель перевернутого маятника с двухзвенной моделью, описанной выше. Для качественной оценки сравнения моделей использовался индекс энергозатрат A [13]. При испытаниях использовался жёсткий ортез (техническое устройство для фиксации, или разгрузки сустава). Для регистрации поведения центра давления, использовался комплекс, состоящий из стабиллографической платформы ST-150 и программы STPL. В случае использования программы STPL получаемой информацией являются визуальная информация, выводимая на монитор перед испытуемым (зрительная биологическая обратная связь) и звуковая информация, меняющая свой тон в зависимости от отклонения центра давления. Важно отметить, что данная платформа была подвергнута метрологическим сертификационным испытаниям и введена в Государственный реестр средств измерений. Принципиальная схема комплекса представлена на рисунке (см. рис. 1). На рисунке 1, в качестве примера комплекса, используется случай с использованием зрительной биологической обратной связи – использование визуальной информации, выводимой на монитор перед испытуемым.

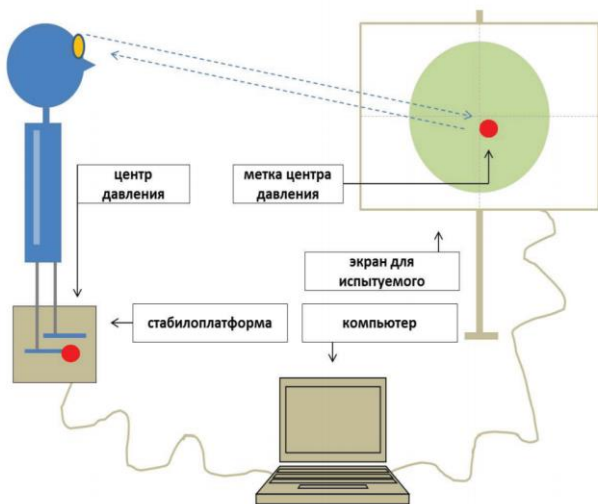


Рис. 1. Принципеальная схема комплекса на примере использования биологической обратной связи.

Такой метод даёт информацию о расположении центра давления испытуемого в виде небольшого круга на экране монитора, что позволяет ему производить собственную оценку положения центра давления и скорости его смещения в условиях поставленной задачи, например в тренингах на координацию движения, когда необходимо сместить свой центр давления в необходимую область экрана.

Используя программное обеспечение стабилиграфической платформы, были построены графики статокинезиограмм свободных (см. рисунок 2) и зафиксированных (см. рисунок 3) ног. На представленных графиках показана траектория центра давления во фронтальной и сагиттальной плоскости. Для анализа стабилметрических исследований по опорной реакции и тестов с биологической обратной связью использовались основные показатели:

a) Площадь статокинезиограммы S : Показатель рассеяния положений центра давления по сагиттальной и фронтальной плоскостям.

b) Индекс энергозатрат A : Показатель механической работы, совершаемой центром давления в плоскости опоры.

c) Длина статокинезиограммы L : Оценка размера траектории центра давления.

d) Оценка времени одного учётного результативного действия Tr : Сохранение положение центра давления в необходимой области экрана за заданный интервал времени в задаче с биологической обратной связью.

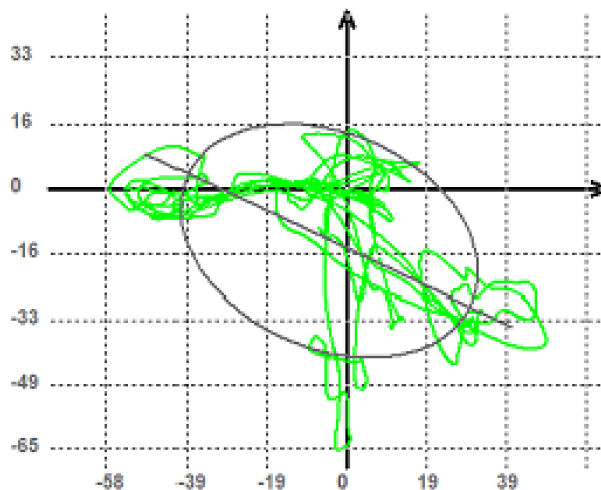


Рис. 2. Статокинезиограмма свободной ноги

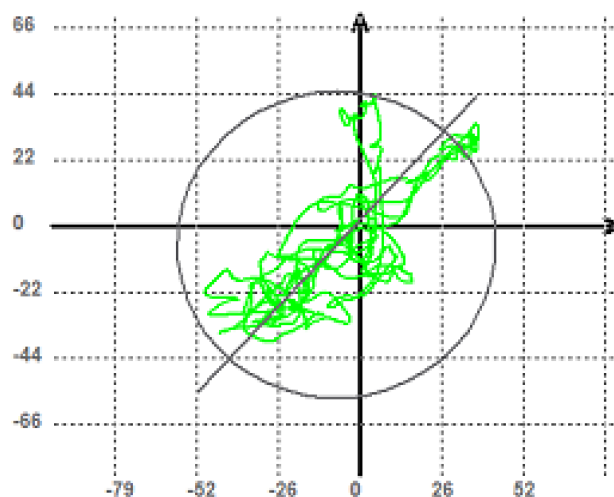


Рис. 3. Статокинезиограмма с зафиксированным суставом

Параметром, позволяющим определить способность человека сохранять положение равновесия, является площадь «статокинезиограммы» (обычно определяемой по формуле площади эллипса). Используя этот параметр, можно судить о мышечной активности, активности мышечного тонуса, выявить проблемы равновесия или устойчивости, синдром постурального дефицита (псевдоголовкружения). В данном случае площадь статокинезиограммы свободной ноги составляла 3212 мм². При фиксации сустава площадь увеличилась до 8267 мм². Несмотря на то, что данный показатель не позволяет точно локализовать причину изменения определяемого параметра, видно, что во втором случае устойчивость равновесия испытуемого сильно упала. Одной из причин такого поведения, вероятно, является изменение общей стратегии поддержания равновесия. Уже существуют исследования, связанные с сменой описываемых моделей [14]. Показано, что в терминах собственных значений голеностопной, коленной и тазобедренной синергий, основной вклад вносят голеностопная и тазобедренная

синергия, таким образом, анализ механической системы с тремя степенями свободы сводится к анализу системы с двумя степенями свободы в голеностопном и тазобедренном суставах. В проводимом нами исследовании фиксируется голеностопный сустав, что исключает применение такой механики. Видно, что функции голеностопного сустава, вносящего максимальный вклад в стратегию поддержания равновесия, вынуждены принимать на себя тазобедренный и коленный сустав.

Была использована также группа показателей, основанных на оценке механической работы, совершаемой телом массой m при смещении его центра давления между двумя последовательными позициями в плоскости опоры за всё время исследования или иной процедуры [15]. Они имеют более ясные, однозначные физические свойства и высокую чувствительность, что обеспечивает надёжность и достоверность результатов при выполнении тестов на стабильной платформе, а также облегчает их физиологическую интерпретацию для конкретных наблюдений. Предложенная методика и полученные результаты могут использоваться в проектировании узлов голеностопа у экзоскелета, а также помочь в вопросах функциональных состояний спортсменов. Задачи биомеханики ориентированы на описание моделей движения человека. Изучение биологических особенностей и механических моделей тесно связаны. Стоит отметить, что при оценке с помощью площади «статокинезиограммы» существенное значение могут иметь случайные влияния, вызванные индивидуальными особенностями человека. Таким образом, при единичных измерениях, появляется вероятность неверной оценки изменения состояния испытуемого. Действительно, нами было зафиксировано, что во время проведения однотипных действий, испытуемые демонстрировали различные показатели площади «статокинезиограммы». Выявить определённую закономерность, влияющую, на показание значения S , не удалось.

Ещё одним параметром, позволяющим дать оценку эффективности поддержания равновесия является «длина статокинезиограммы». Этот параметр характеризует величину пути, пройденную центром давления за время исследования. На значение этого параметра оказывает частота девиаций. В случае, когда увеличивается значение длины статокинезиограммы - величина девиаций, или спектра частот смещается в более высокочастотную область, или меняются оба параметра одновременно. Важно отметить, что длина пути статокинезиограммы и ее площадь не отвечают прямой зависимости. Как показывают проведенные исследования, коэффициент корреляции между ними составляет около 0.243. Возникают случаи, когда внутри одинаковой площади длина пути может быть разной.

Для получения более точных результатов используется «индекс энергозатрат» A , основанный на оценке механической работы центра давления испытуемого в плоскости опоры. Для получения такого индекса, программным комплексом STPL, рассчитывается скорость элементарного смещения центра давления между двумя

соседними точками статокинезиограммы. По полученным значениям, на элементарных смещениях, рассчитываются суммарные энергозатраты, определяемые как сумма приращений кинетической энергии тела на каждом элементарном перемещении центра давления с заданной частотой дискретизации. В проводимом нами исследовании показано, что в случае с зажатым голеностопным суставом полученное значение индекса энергозатрат, в среднем, равно 51,8 Дж, в то время как для свободно стоящего испытуемого это значение составляло 35,7 Дж, что позволяет сделать вывод о негативном влиянии исключения голеностопного сустава из стратегии поддержания вертикальной позы, поскольку каждая из синергий соотнобразуется со своим назначением и выполняет его наиболее экономным энергетически и по «информационным ресурсам системы управления» способом. Мы считаем, что одним из лучших и объективных доказательств улучшения функционального состояния испытуемого является именно уменьшение энергетических затрат на поддержание вертикальной позы.

III. ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ОБРАЗОВАНИИ

A. Инженерные задачи

Построение экзоскелета является крайне сложной задачей. Одной из главных задач этих устройств является компенсация силы тяжести. Большинство таких систем напрямую зависят от устойчивости самого оператора, так как не обладают активными системами стабилизации. Часто, таким системам необходимо наличие дополнительных средств для устойчивости. Например, некоторые модели экзоскелетов активно применяются в клинической практике и хорошо себя зарекомендовали в вопросах реабилитации: восстановление нарушенных и компенсация утраченных функций опорно-двигательного аппарата. Но, для поддержания равновесия необходимо использовать костыли.

При разработке и проектировании таких систем на каждом этапе активно используются вычислительные комплексы такие как: системы компьютерной алгебры, системы автоматизированного проектирования, различные языки программирования. Для проведения испытаний предлагается использовать программу STPL с стабилиграфической платформой. С испытуемым проводится серия наблюдений с свободными ногами и в экзоскелете стоя перед монитором. Суть данного исследования заключается в оценке способности испытуемого точно выполнить инструкцию и сделать это за короткий период времени. Предполагается, что в неудовлетворительно разработанном экзоскелете человеку будет сложнее достичь цели. Комплекс позволяет определить куда и на сколько сместился центр давления при использовании экзоскелета. Мы считаем, что такая методика позволит определить влияние устройства на поддержание постурального баланса человека. Показано, что с помощью такого метода, можно производить анализ корректности работы узлов экзоскелета и управляемых приводов, так как возможности построенного управления

и конструкции напрямую влияют на способность испытуемого достичь цели.

При обучении специалистов, комплекс удобно использовать как средство измерения в лабораторных работах. Например, при построении управления узлов экзоскелета специалист может использовать комплекс STPL в натуральных испытаниях. Тогда, значения, зарегистрированные комплексом, могут являться критериями оценки эффективности выведенных уравнений и параметров.

В. Задачи биомеханики

Задачи биомеханики, в отличие от инженерных задач, больше ориентированы на описание внутренних моделей самого человека, поэтому изучение биологических особенностей и механических моделей тесно связаны. Большое внимание уделяется структуре скелетно-мышечного аппарата и биологической обратной связи.

Интерес представляет использование, комбинированных систем, когда происходит регистрация не только одного определённого параметра, но и дополнительного, влияющего на общий ход решения задачи [7]. Рассматривается задача, когда для регистрации отклонения центра давления используется стабиллографическая платформа, в то время как для получения угла смещения конкретного звена/сустава используется, например, гироскоп. Получая эти параметры, можно более точно сказать о влиянии такого сустава на рассчитываемую модель. Решая обратную задачу кинематики с применением регистрируемых параметров, определяются управляющие моменты, либо возникающие усилия. На сегодня такие структуры уже демонстрируют высокую эффективность в вопросах описания функциональных состояний человека. В последнее время, особое внимание уделяется задачам с обратной связью, когда испытуемому предоставляется информация о своих внутренних характеристиках.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Теория многоуровневого управления движениями, в том числе локомоциями человека, положила начало развитию новых принципов понимания жизнедеятельности. Поставив в центр внимания проблему активности организма по отношению к среде, она породила единую науку – физиологию движений. Возникла одна из первых чётких формулировок понятия биологической обратной связи, а также идея - иерархической организации движений. Сформировалась антропоморфная интерактивная робототехника. На примере проведённого нами исследования, показано каким образом можно применять стабиллографический комплекс в вопросах влияния внешних ограничений на подвижность суставов ног, а также производить качественные оценки эффективности поддержания вертикальной позы. Продемонстрирована возможность использования одной из передовых технологий индустрии

4.0 при подготовке в НИУ «МЭИ» высококвалифицированных специалистов, владеющих методами диагностики функционального состояния. Мы считаем, что качество подобного исследования можно повысить с помощью использования стабиллографического комплекса с использованием дополнительных датчиков регистрирующих электрофизиологическую активность в организме, например, биоэлектрическую активность человеческого мозга и мышц.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Анохин П. К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. – М.: Медицина, 1968. – 546 с.
- [2] Бернштейн Н.А. Новые линии развития в физиологии и их соотношение с кибернетикой / Материалы к совещанию по философским вопросам физиологии высшей нервной деятельности и психологии. М., Институт философии АН СССР – 1962. – 45 с.
- [3] Rezazadeh S, Gregg RD. A Control Framework for Anthropomorphic Biped Walking Based on Stabilizing Feedforward Trajectories. Proc ASME Dyn Syst Control Conf. 2016 Oct;2016. pii: V001T06A007. doi: 10.1115/DSCC2016-9851
- [4] Кручинин П.А. Механические модели в стабиллометрии / Российский журнал биомеханики. – 2014. – Т. 18, № 2. – С. 184–193.
- [5] Кобрин А.И. К задаче о движении тела с полостью, заполненной вязкой жидкостью, относительно центра масс в потенциальном поле массовых сил // Прикладная математика и механика. 1969. Т. 33. Вып. 3. С. 431–440.
- [6] Der R, Martius G. Self-Organized Behavior Generation for Musculoskeletal Robots. Front Neurobot. 2017 Mar 16;11:8. doi: 10.3389/fnbot.2017.00008. eCollection 2017
- [7] В. Ф. Журавлев, Д. М. Климов. Прикладные методы в теории колебаний /.—М.: Наука, 1988
- [8] Патенты на изобретение: RUS 2456920, RUS 2476151
- [9] Кубряк О.В., Гроховский С.С., Добродный А.В. Руководство по работе с программой STPL. – М.: Мера-ТСП, 2016. – 34 с. URL: <https://www.biomera.ru/upload/biblio/STPL.pdf> (дата проверки: 05.05.2018)
- [10] Терехов А.В. Математическое моделирование регуляции позы человека. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Москва, 2007
- [11] Н.Д. Бабанов, А.И. Кобрин. Алгоритм определения центра давления человека с зафиксированным голеностопным суставом. Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Двадцать четвертая международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов. Москва, 15-16 марта 2018 г. : Тез. докл.: [В 3 т.] / Москва, 2018. Том Т. 3
- [12] Н.Д. Бабанов. Теоретическое определение координат центра давления на опору при фиксации голеностопного сустава. XLIII итоговая научная сессия Первого Московского государственного медицинского университета имени И.М.Сеченова. Стендовый доклад. Москва. Январь, 2018 г.
- [13] Кубряк О.В., Гроховский С.С., Исакова Е.В., Котов С.В. Биологическая обратная связь по опорной реакции: методология и терапевтические аспекты. М.: Маска, 2015. 128 С. ISBN 978-5-9906966-9-3
- [14] Александров А.В., А.А. Фролов, Ж. Масьон. Стратегия поддержания равновесия человека при наклоне корпуса вперед на узкой опоре. Российский журнал биомеханики, том 6, № 4: 63-77, 2002 УДК 531/534:57+612.7
- [15] Ткаченко П.В., Даминов В.Д., Карпов О.Э. Использование экзоскелета в комплексной реабилитации пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой. Вестник восстановительной медицины. 2017. № 2 (78). С. 90-100.

Оценка средствами компьютерного моделирования критических параметров электронных лавин в воздухе

Белогловский А.А., Галимова А.В.

Кафедра Техники и электрофизики высоких напряжений

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

Москва, Россия

beloglovsky@mail.ru; angelinka2010angelinka10@rambler.ru

Аннотация

В докладе представлены результаты вычислительных экспериментов, посвящённых исследованию лавинно-стримерных переходов в заполненном воздухе при нормальных атмосферных условиях разрядном промежутке с однородным электрическим полем с напряжённостью в 1,160÷1,832 превышающем начальную. Применён критерий лавинно-стримерного (ЛС) перехода, в соответствии с определением стримера предполагающий его появление с начала формирования плазменного канала.

Ключевые слова — электронная лавина, трехмерная дрейфово-диффузионная модель, лавинно-стримерный переход, плазменный канал.

I. ВВЕДЕНИЕ

Существует широкий круг ситуаций, в которых недопустимо появление стримерного разряда между элементами оборудования, электрически заряженными продуктами производства и заземлёнными конструкциями. Чтобы исключить его, необходимо знать критерий ЛС перехода, уметь оценивать критические параметры электронных лавин. Поэтому важно изучение электронных лавин и их математических моделей, как одного из средств исследования разрядных процессов.

Электронная лавина – это компактная группа свободных электронов, дрейфующих в электрическом поле в газе и производящих его ударную ионизацию [1]. После её прохождения остаётся след из положительных ионов. По мере продвижения лавины число электронов n_e в ней и ионов в следе возрастает, поле между ними ослабевает. Электроны, оставшиеся в ослабленном поле, менее интенсивно участвуют в ударной ионизации и смешиваются с ионами следа. Здесь возникает плазма и формируется стример – нетермоионизованный квазинейтральный плазменный канал с избыточным зарядом в головной части, удлиняющийся за счёт ударной ионизации газа в её поле [1]. Преобразование лавины в стример называется лавинно-стримерным (ЛС) переходом, а её параметры в этот момент – критическими. Путь, пройденный лавиной к этому моменту, именуется её критическим путём $x_{кр}$, количество накопившихся в ней электронов – их критическим числом $n_{кр}$.

В однородном поле накопление электронов в лавине до ЛС перехода в первом приближении происходит по закону $n_e = \exp(\alpha x) = \exp(\alpha v_e t)$ [1], где α – коэффициент ударной ионизации газа, $x = v_e t$ – путь, пройденный лавиной за время t , v_e – скорость дрейфа электронов в поле. Значения α и v_e зависят от напряжённости и вида газа. Поэтому для момента перехода справедливо соотношение $n_{кр} = \exp(\alpha x_{кр})$, откуда $\alpha x_{кр} = \ln(n_{кр})$.

Экспериментальные исследования лавин и ЛС переходов в воздухе при нормальных атмосферных условиях в однородном поле [2] дают оценку $\alpha x_{кр} = 18 \div 20$ и $n_{кр} \approx 10^8$, которая указывается как установленный опытным путём критерий ЛС перехода [1], [3], [4].

С точки зрения соответствия сформулированному выше определению стримера, однако, критерием ЛС перехода должно быть не накопление некоторого числа электронов в лавине и ионов в её следе, а формирование плазменного канала между ними. Поэтому в [5] один из авторов этой статьи предложил использовать в качестве критерия ЛС перехода начало формирования такого канала, то есть появление между лавиной и её следом области, заполненной квазинейтральным ионизированным газом, размером много больше радиуса Дебая [1].

Ниже изложены результаты вычислительных экспериментов по изучению ЛС переходов одиночных лавин в заполненном воздухе при нормальных атмосферных условиях разрядном промежутке с однородным полем напряжённостью E_0 , превышающей начальную напряжённость E_n . Переходы происходили в середине промежутка длиной $D > x_{кр}$, и в нём формировались двухголовочные стримеры, чья положительная головка распространялась к катоду, отрицательная – к аноду. Получены зависимости критических параметров лавин от величины E_0 .

Поэтому изучение основ теории лавинного электрического разряда и ЛС переходов предусмотрено учебным планом бакалавров, обучающихся в Институте электроэнергетики НИУ "МЭИ" по направлению "Электроэнергетика и электротехника". Подробнее эти вопросы рассмотрены в их подготовке по профилям "Высоковольтные электроэнергетика и электротехника" и

"Техника и электрофизика высоких напряжений". Вычислительный эксперимент с использованием современных математических моделей и IT-технологий является частью такой подготовки.

II. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОДИНОЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАВИНЫ В ВОЗДУХЕ В СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

Для описания формирования в воздухе электронной лавины и ЛС перехода применена трёхмерная дрейфово-диффузионная модель [1, 6], в которой концентрации частиц, потенциал и напряжённость поля являются функциями времени t и пространственных декартовых координат x, y, z .

В модель включены уравнения неразрывности потока заряженных частиц (1)–(3), уравнение Пуассона (4), описывающее распределение потенциала ϕ , и уравнение связи (5) между ним и распределением вектора напряжённости поля E .

По сравнению с полной моделью [1, 6], здесь в неё внесены упрощения, позволившие уменьшить объём вычислений при решении уравнений. Во-первых, в уравнениях неразрывности не учтён вклад диффузии в движение частиц. Это обусловлено тем, что в сильных полях она мало влияет на значения критических параметров лавины [1]. Во-вторых, поскольку скорость электронов примерно на два порядка больше, чем ионов [1, 7], то их дрейф в модели не учитывается.

С учётом сказанного развитие электронной лавины описывается следующей системой дифференциальных уравнений в частных производных (ДУЧП):

$$\begin{aligned} \partial N_e / \partial t + \partial(N_e v_{ex}) / \partial x + \partial(N_e v_{ey}) / \partial y + \partial(N_e v_{ez}) / \partial z = & \\ = (\alpha - \eta) N_e |v_e| + \alpha_{от} N_- |v_-|, & (1) \\ \partial N_+ / \partial t = \alpha N_e |v_e|, & (2) \\ \partial N_- / \partial t = \eta N_e |v_e| - \alpha_{от} N_- |v_-|, & (3) \\ \partial^2 \phi / \partial x^2 + \partial^2 \phi / \partial y^2 + \partial^2 \phi / \partial z^2 = -(N_+ - N_e - N_-) e / \epsilon_0, & (4) \\ E = (iE_x + jE_y + kE_z) = -(\partial \phi / \partial x + j \partial \phi / \partial y + k \partial \phi / \partial z), & (5) \end{aligned}$$

где $E_x = -\partial \phi / \partial x$, $E_y = -\partial \phi / \partial y$, $E_z = -\partial \phi / \partial z$ – проекции вектора E на оси x, y, z , v_{ex}, v_{ey}, v_{ez} – проекции на них вектора скорости дрейфа электронов v_e , v_- – вектор скорости дрейфа отрицательных ионов. Направления векторов E и v_e противоположны. Зависимости обобщённых коэффициентов ударной ионизации α , прилипания электронов η , их отлипания от отрицательных ионов $\alpha_{от}$, а также величин $v_e = |v_e|$ и $v_- = |v_-|$, от модуля напряжённости электрического поля $E = |E|$ приняты в соответствии с рекомендациями, данными в [7].

Система уравнений (1)–(5) дополняется начальными (НУ) и граничными (ГУ) условиями для концентраций и потенциала на электродах. Здесь принято допущение, что формирование разряда инициирует малая неоднородность

в начальном распределении электронов, которое описывается соотношением

$$N_e(x, y, z) |_{t=0} = N_{max1} \exp\{-[x^2 + y^2 + (z - z_1)^2] / r_1^2\}. \quad (6)$$

Их максимальная концентрация достигает величины N_{max1} в её центре, имеющем координаты $x = y = 0, z = z_1$, и спадает по мере удаления от него по закону (6). В начальный момент $t = 0$ электроны присутствуют в разрядном промежутке только в этой неоднородности. Также при $t = 0$ в объёме равномерно распределены положительные и отрицательные ионы в равных концентрациях N_0 :

$$N_+(x, y, z) |_{t=0} = N_-(x, y, z) |_{t=0} = N_0, \quad (7)$$

Значения N_{max1} и N_0 много меньше концентрации нейтральных молекул в газе N .

Граничные условия для заряженных частиц отражают допущение, что на поверхностях электродов отсутствуют их источники, а электрическое поле полностью уносит положительные частицы от анода и отрицательные – от катода. Поэтому на аноде $N_+ = 0$, а на катоде $-N_e = N_- = 0$.

Модель (1)–(5) здесь реализована в расчётной области (РО) на рис. 1. Это прямоугольный параллелепипед размером $L \times L \times D$. Начало декартовой системы координат (точка O) помещено в середину его нижней стороны, а направление осей показано на рис. 1.

Нижняя плоскость ($z = 0$) является анодом, и при $t \geq 0$ её потенциал равен $\phi = U \geq 0$. Потенциал верхней плоскости ($z = D$) – катода – равен $\phi = 0$. Область ограничена фиктивными границами $x = \pm L/2$ и $y = \pm L/2$. Полагается, что на них потенциал изменяется по линейному закону $\phi(z) = (1 - z/D) \cdot U$. Тогда ГУ для потенциала ϕ на границах приобретают вид

$$\begin{aligned} \phi(z=0) = U, \quad \phi(z=D) = 0, \quad \phi(x=\pm L/2) = \phi(y=\pm L/2) = \\ = (1 - z/D) \cdot U. \end{aligned} \quad (8)$$

Значение L выбирается так, чтобы фиктивные границы не влияли на распределение поля, где важна точность вычисления параметров, т.е. вблизи координатной оси Oz . Это обусловлено тем, что ниже будет моделироваться распространение электронной лавины именно вдоль этой оси.

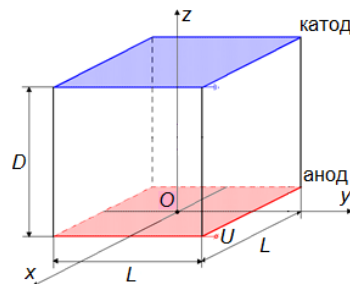


Рис. 1. Расчётная область

Граничные условия для концентраций N_e , N_+ , N_- с учётом формы расчётной области и размещения координатных осей имеют вид

$$N_e(x, y, D) = 0, N_+(x, y, 0) = 0, N_-(x, y, D) = 0. \quad (9)$$

Таким образом, система ДУЧП (1)–(5) здесь решается с НУ (6)–(7) и ГУ (8)–(9). Для её численного решения использован эффективный вычислительный алгоритм [6], основанный на конечно-разностном (КР) подходе к её решению.

III. КРИТЕРИ ЛАВИННО-СТРИМЕРНОГО ПЕРЕХОДА

Здесь в соответствии с определением стримера [1] в качестве критерия ЛС перехода принято появление нетермоионизованного квазинейтрального плазменного канала между лавиной и её следом. Учтено, что квазинейтральный ионизированный газ можно считать плазмой, если размер заполненной им области пространства много больше дебаевского радиуса экранирования [1].

Чтобы определить понятие квазинейтральности плазмы, введён параметр

$$C_p = |(N_+ - N_e - N_-) / N_+|. \quad (10)$$

Значения C_p вычисляются в каждом узле КР сетки в объёме, занятом ионизированным газом. В квазинейтральной плазме $C_p \ll 1$.

Принято, что некий объём пространства заполнен квазинейтральной плазмой, если в любой его точке выполняется условие

$$C_p \leq C_{pmax}, \quad (11)$$

где C_p вычисляется по формуле (10), а $C_{pmax} \ll 1$ – параметр модели ЛС перехода.

Таким образом, здесь за момент ЛС перехода принят момент времени, когда во всех точках некоторого объёма ионизированного газа выполняется критерий (11), причём размеры этого объёма много больше дебаевского радиуса экранирования [1], найденного при текущих параметрах газа.

IV. ИЗУЧЕНИЕ ЛАВИННО-СТРИМЕРНЫХ ПЕРЕХОДОВ

Обсудим результаты вычислительных экспериментов, выполненных при помощи компьютерной программы, реализующей алгоритм [6] совместного решения ДУЧП (1)–(5) с НУ (6)–(7), ГУ (8)–(9) и критерием ЛС перехода (11). Лавины распространялись в воздухе при нормальных атмосферных условиях (то есть его относительная плотность $\delta=1$) в сильных однородных полях с напряжённостью $E_0 = U / D$, превышающей начальную напряжённость поля E_n в промежутке длиной D . Согласно [1] для таких промежутков с рассмотренными здесь

длинами $E_n = 24,5\delta + 6,4(\delta / D)^{0,5}$, где D измеряется в см, а E_n – кВ/см.

В качестве характерного примера ниже представлены данные, полученные при $N_0 = 10^3 \text{ см}^{-3}$, $N_{max1} = 10^8 \text{ см}^{-3}$, $r_1 = 0,005 \text{ см}$, $z_1 = 0,55 \text{ см}$, $D = 0,6 \text{ см}$, $E_0 = (3,8 \div 6,0) \cdot 10^4 \text{ В/см}$, $C_{pmax} = 0,01$. При указанном значении D начальная напряжённость равна $E_n = 3,276 \cdot 10^4 \text{ В/см}$, и $E_0 / E_n = 1,160 \div 1,832$. Шаг КР сетки по осям x , y , z принят постоянным и равным $h = 0,0004 \text{ см}$.

На рис. 2 показаны расчётные распределения концентраций электронов N_e в лавине и положительных ионов N_+ в её следе, а также напряжённости поля E в координатной плоскости xOz расчётной области (см. рис. 1) при $E_{0m} = 3,8 \cdot 10^4 \text{ В/см}$. Они представлены в виде полутонковых изображений, на которых каждому оттенку серого цвета соответствует некоторое значение функции N_e , N_+ или E . Данные приведены на момент $t = 27,6 \text{ нс}$ выполнения критерия (11). В это время максимальная концентрация электронов в лавине достигла $N_{emax} = 9,328 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$, а положительных ионов в следе – $N_{+max} = 1,405 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$. Наименьшее значение напряжённости между лавиной и следом составило $E_{min} = 3,521 \cdot 10^4 \text{ В/см}$, а наибольшее – $E_{max} = 4,059 \cdot 10^4 \text{ В/см}$ (перед лавиной со стороны анода). Лавина распространяется от катода к аноду, то есть сверху вниз на рис. 1 и 2.

На рис. 3 приведены расчётные зависимости критического пути лавины $x_{кр}$ и числа электронов в ней $n_{екр}$ от E_0 . С ростом E_0 от $3,8 \cdot 10^4$ до $6 \cdot 10^4 \text{ В/см}$ критический путь уменьшился с 0,4405 до 0,0635 см, а критическое число электронов, напротив, возросло с $1,821 \cdot 10^7$ до $3,033 \cdot 10^7$. Таким образом, в результате усиления поля в 1,579 раза значения $x_{кр}$ уменьшились в 6,937 раза, а величины $n_{екр}$ увеличились лишь в 1,666 раза, то есть примерно в той же мере, что и поле. Величина $\alpha x_{кр} = \ln(n_{екр})$ возросла с 16,717 до 17,228. Это чуть меньше, чем предсказывает эмпирический критерий ЛС перехода ($\alpha x_{кр} = 18 \div 20$, [2]).

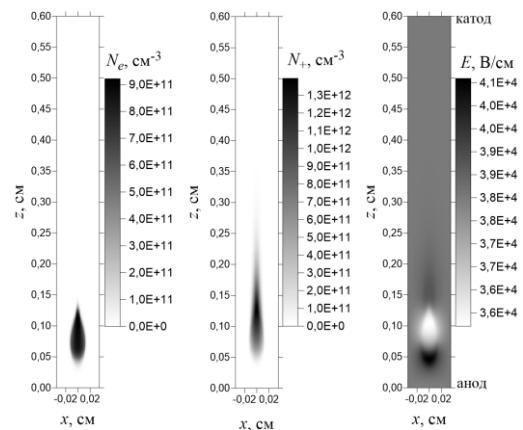


Рис. 2. Расчётные распределения $N_e(x, z)$, $N_+(x, z)$ и $E(x, z)$ в координатной плоскости xOz расчётной области (рис. 1) при $D = 0,6 \text{ см}$ и $E_0 = 3,8 \cdot 10^4 \text{ В/см}$ на момент $t = 27,6 \text{ нс}$ выполнения критерия ЛС перехода (11)

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В докладе показано, что выполнение критерия (11) в соответствии с определением стримера, в общем виде соответствует выполнению критерия, требующего для преобразования лавины в стример сопоставимости поля, созданного зарядами лавины и её следа, с внешним полем [1]. Однако понятие «сопоставимости» полей сложно оценить количественно: в момент перехода наибольшее отклонение напряжённости суммарного поля, созданного объёмным зарядом и поверхностными зарядами на электродах, от напряжённости внешнего поля E_0 сильно зависит от величины E_0 . При $E_0 < 4,5 \cdot 10^4$ В/см оно не превышает 10%, а в сильных полях с $E_0 \geq 6 \cdot 10^4$ В/см приближается к $\approx 20\%$.

Исследование ЛС переходов показало, что с ростом E_0 с $3,8 \cdot 10^4$ до $6 \cdot 10^4$ В/см величина $\alpha x_{кр}$ увеличилась с 16,717 до 17,228. Это чуть меньше, чем предсказывает эмпирический критерий [2] ($\alpha x_{кр} = 18 \div 20$). Авторы объясняют отмеченное расхождение тем, что в экспериментах [2] определялись критические параметры уже сформированных «молодых» стримеров, а здесь они оценены по состоянию на момент начала формирования стримерного канала.

Показано, что в момент выполнения критерия (11) между лавиной и её следом ещё продолжается эффективная ударная ионизация.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] И.М. Бортник и др. Электрофизические основы техники высоких напряжений: учебник для вузов – 2-е издание, переработанное и дополненное; под ред. И.П. Верещагина. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
- [2] Ретер Г. Электронные лавины и пробой в газах. – М.: Мир, 1968.
- [3] Куффель Е., Цаенгель В., Куффель Дж. Техника и электрофизика высоких напряжений. Пер. с англ.: Учебно-справочное руководство. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011.
- [4] Райзер Ю.П. Физика газового разряда. Научное издание / 3-е изд. переработанное и дополненное. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2009.
- [5] Белогловский А.А. Сопоставление критериев лавинно-стримерного перехода при численном моделировании электронной лавины в воздушном промежутке с сильным электрическим полем // Материалы: XXIII Всероссийская конференция «Электромагнитное поле и материалы (фундаментальные физические исследования)» с международным участием. – М.: ИНФРА-М, 2015. – С.54-61.
- [6] Белогловский А.А. Верещагин И.П. Трёхмерное математическое моделирование стримерного разряда в воздухе с учётом ветвления: экономичный расчёт электрического поля // Электричество. 2011. № 11. – С. 17-24.
- [7] Соколова М.В., Сергеев Ю.Г. Обобщенные данные по коэффициентам элементарных процессов разрядов в газе // Сборник статей «Теория и практика электрических разрядов в энергетике» / Под ред. А.Ф. Дьякова. – Пятигорск: Издательство ЮЦПК РП «Южэнерготехнадзор», 1997. – С. 26–56.

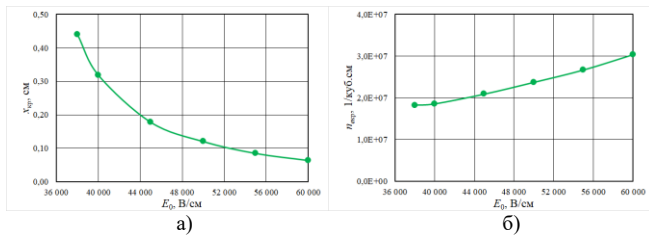


Рис. 3. Расчётные зависимости критических параметров лавин $x_{кр}(E_0)$ (а) и $n_{кр}(E_0)$ (б) при $D = 0,6$ см (рис. 1), оцененные по критерию ЛС перехода (11)

Различие, по всей видимости, объясняется тем, что в физических экспериментах [2] определялись критические параметры сформировавшихся «молодых» стримеров, а здесь они оценены средствами математического моделирования по состоянию на момент начала формирования стримерного канала.

Теперь рассмотрим результаты расчёта минимальной $E_{мин}$ и максимальной $E_{макс}$ напряжённости поля (рис. 4.а), а также их отклонений $\delta E_{мин} = |(E_0 - E_{мин}) / E_0|$ и $\delta E_{макс} = |(E_0 - E_{макс}) / E_0|$ от E_0 (рис. 4.б). Зависимости $E_{мин}(E_0)$ и $E_{макс}(E_0)$ близки к линейным, а кривые $\delta E_{мин}(E_0)$ и $\delta E_{макс}(E_0)$ нелинейные. При $E_0 = 3,8 \cdot 10^4$ В/см $\delta E_{мин} = 0,0734$ и $\delta E_{макс} = 0,0682$. С ростом E_0 они монотонно увеличиваются, устремляясь к большим значениям: для величины $\delta E_{мин}$ это $\approx 0,2$, а для $\delta E_{макс} - \approx 0,14$. Однако зависимости $\delta E_{мин}(E_0)$ и $\delta E_{макс}(E_0)$ приближаются к ним лишь в сильных полях с $E_0 \approx 6 \cdot 10^4$ В/см и более. Такая форма зависимостей $\delta E_{мин}(E_0)$ и $\delta E_{макс}(E_0)$ обусловлена тем, что чем слабее внешнее поле, чем ближе значение E_0 к критической величине $E_{к} = b\delta$, тем менее интенсивны ионизационные процессы, и меньше искажения поля.

Необходимо также обратить внимание на то, что в момент выполнения критерия (11) $E_{мин} > E_{к}$ (см. рис. 4.а). Следовательно, к этому моменту между лавиной и следом ещё продолжается эффективная ударная ионизация.

Результаты вычислительных экспериментов слабо зависят от выбранного значения $C_{Pмакс}$ в (11). Расчёты показали, что его увеличение или уменьшение по сравнению с использованным здесь ($C_{Pмакс} = 0,01$) в 2 раза приводит к изменению критического пути лавины $x_{кр}$ не более чем на 6%, критического числа электронов $n_{кр}$ в ней – на 20%, минимальной напряжённости поля $E_{мин}$ – на 2%.

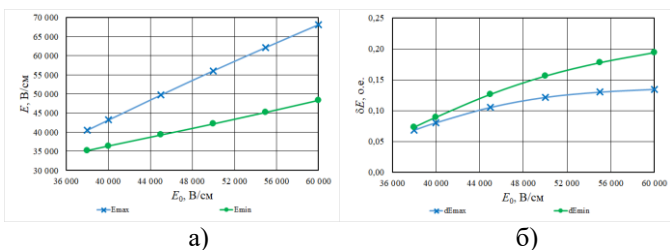


Рис. 4. Расчётные зависимости $E_{мин}(E_0)$ и $E_{макс}(E_0)$ (а), а также $\delta E_{мин}(E_0)$ и $\delta E_{макс}(E_0)$ (б) при $D = 0,6$ см (рис. 1) на момент выполнения критерия (11)

Термическая стойкость кабелей при подключении объектов распределённой генерации к электроэнергетической системе

Борванов С.В., Асаинов Д.Н.
Кафедра электрических станций
НИУ «МЭИ», ул. Красноказарменная 17
111250 Москва, Россия
stepan.borvanov@yandex.ru; asainovdn@gmail.com

Аннотация — При проектировании электрической части электростанций производится выбор не только основного электрооборудования (генераторы, трансформаторы, выключатели), но и кабельных линий связи и токопроводов. При проверке кабелей в цепи статора генератора на термическую за время теплового воздействия принимается время отключения КЗ при срабатывании основных защит, а за расчётный ток — ток КЗ от энергосистемы или генератора. Целью данной работы является уточнение методики выбора кабеля в цепи статора генератора малой мощности, встроенного как объект распределённой генерации в существующие узлы электроэнергетической системы (ЭЭС). Для проверки оборудования в цепи статора таких генераторов по условию термической стойкости расчётная точка КЗ может быть на смежном участке электрической сети. В таком случае при электрически близких КЗ и их последующем отключении без отключения генератора от сети в цепи статора помимо тока КЗ будет воздействовать повторный всплеск тока и ток асинхронного хода. В результате выработаны рекомендации по уточнению методики выбора кабелей в цепи статора генератора малой мощности на примере газотурбинной установки (ГТУ) малой мощности, работающей параллельно с ЭЭС, по условию проверки на термическую стойкость.

Ключевые слова — *электромагнитные и электромеханические переходные процессы; токи короткого замыкания*

I. ВВЕДЕНИЕ

При встраивании распределённой генерации малой мощности в существующие электрические сети возникает ряд проблем: увеличиваются токи КЗ в узлах подключения, причем их уровень может выйти за пределы допустимых значений для установленного в сети электрооборудования; возрастает риск потери синхронной работы генераторов при возмущениях как со стороны электроэнергетической системы, так и со стороны распределительной сети; возрастает риск нарушения электродинамической стойкости генераторов и механической прочности ГТУ в целом.

Это связано с тем, что в существующих участках сети релейная защита построена по принципу распределения

энергии и ее настройка не учитывает наличие в сети источников электрической энергии. Следовательно, при проверке на термическую стойкость кабельной линии (КЛ) генераторов ГТУ малой мощности необходимо учитывать процессы после отключения КЗ, так как в этих случаях на кабели оказываются значительные термические воздействия, сопоставимые с таковыми при КЗ.

Таким образом, разработка рекомендаций по учету переходных процессов при отключении КЗ при проверке на термическую стойкость КЛ генераторов ГТУ малой мощности является актуальной.

Целью работы является уточнение методики выбора кабеля в цепи статора генераторов объектов распределённой генерации с учётом дополнительного тепловыделения в кабеле, возникающего после отключения КЗ в смежном участке электрической сети.

Решение поставленных задач проводилось с помощью метода математического моделирования на основе системы обыкновенных дифференциальных уравнений в программе моделирования электромагнитных и электромеханических переходных процессов EMTP-RV. Данный программный комплекс используется на кафедре «Электрические станции» НИУ «МЭИ» для обучения и изучения электромагнитных переходных процессов. В работе рассмотрено влияние на переходный процесс систем возбуждения с автоматическим регулятором (АРВ) и автоматического регулирования частоты вращения и мощности (АРЧМ) генератора.

II. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ОБЪЕКТОМ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

A. Объект моделирования

Объектом моделирования является ГТУ малой мощности, работающая параллельно с электроэнергетической системой большой мощности. Расчётная схема ГТУ и смежного участка электросети представлена на рис. 1.

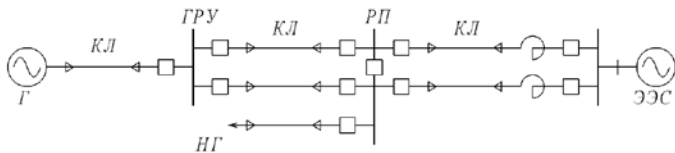


Рис. 1: Схема моделируемой ГТУ и смежного участка электросети

На представленной схеме генератор ГТУ подключен к генераторному распределительному устройству (ГРУ). Связь ГРУ с электроэнергетической системой (ЭС) осуществляется с помощью кабельных линий (КЛ). К шинам распределительного пункта (РП) подключена местная активно-индуктивная нагрузка (НГ). Для уменьшения токов КЗ от ЭС между РП и шинами ЭС установлены токоограничивающие реакторы.

Разработка математической модели ГТУ и расчет режимов произведены в программе для исследования электромагнитных и электромеханических переходных процессов EMTP-RV. При разработке математических моделей синхронных машин применены следующие общепринятые допущения: отсутствуют потери в стали; воздушный зазор равномерен, магнитная проводимость одинакова и распределение магнитного поля в воздушном зазоре синусоидально; отсутствует влияние емкостей внутри и между обмотками; активное сопротивление не зависит от температуры; статор имеет трехфазную симметричную обмотку. При моделировании системы возбуждения генератора учтена форсировка возбуждения, а также устройство автоматического регулирования возбуждения с регулятором, реагирующим на отклонение напряжения статора. Для исследования переходных процессов продолжительностью до пяти секунд учтено устройство автоматического регулирования частоты вращения и мощности турбины, изменяющее подачу топлива в газовую турбину. Так как не ставилась задача подробно исследовать продолжительные переходные процессы, приняты упрощенные модели турбин, вполне пригодные для описания процессов [1]. Принято допущение о том, что электрическая система является системой бесконечной мощности с неизменным значением напряжения, приложенного за внутренним сопротивлением.

В. Математическая модель синхронного генератора

Модель синхронного генератора состоит из четырех обмоток (см. рис. 1): три обмотки на статоре (по одной на каждой фазе), и обмотка возбуждения на роторе.

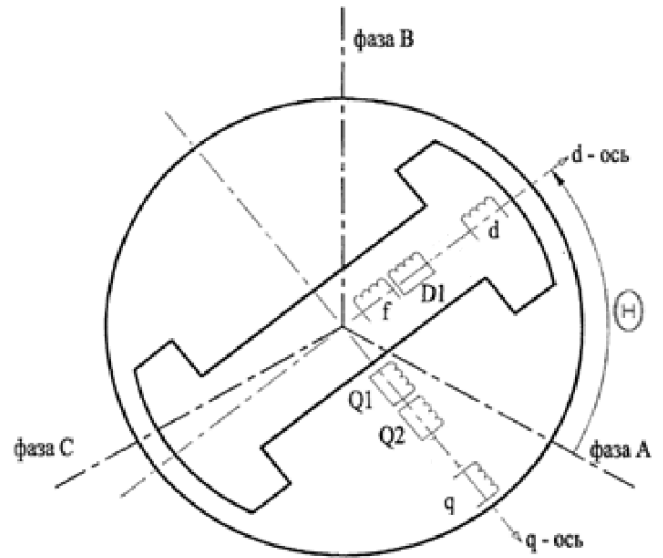


Рис. 2: Принципиальная схема синхронного генератора

По продольной оси (d-ось) расположен один демпферный контур и обмотка возбуждения f , по поперечной оси (q-ось) расположено два демпферных контура.

Моделирование синхронного генератора выполнено по известным дифференциальным уравнениям Парка-Горева [2]. На каждом шаге расчета производится перерасчет переменных к фазным координатам abc .

С. Математическая модель системы возбуждения синхронного генератора

Структурная схема системы возбуждения генератора с устройством АРВ показана на рис. 3.

Напряжение статора генератора сперва подается на вход сглаживающего фильтра, который представляет собой инерционное звено первого порядка с постоянной времени T_r . В расчетах значение постоянной времени принято равной 0,016 с.

На вход регулятора подается напряжение рассогласования V_E :

$$V_E = V_{REF} - V_C - V_F, \quad (1)$$

где V_{REF} — задача по напряжению; V_C — напряжение после фильтрации; V_F — сигнал обратной связи по напряжению возбуждения.

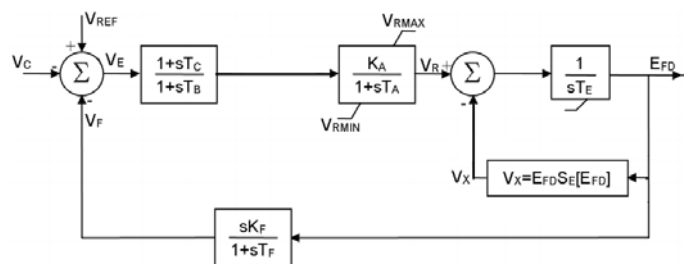


Рис. 3: Структурная схема модели системы возбуждения генератора [3]

Сам усилитель имеет постоянные времени T_B и T_C , которые в настоящих расчётах не учитывались.

Далее напряжение поступает в звено регулятора, которое представляет собой линейную систему первого порядка с постоянной времени T_A и коэффициентом усиления K_A , его выходное напряжение V_R ограничено сверху и снизу величинами V_{RMAX} и V_{RMIN} . После регулятора напряжение поступает на возбудитель, имеющий постоянную времени T_E .

Учёт насыщения, моделируемый с помощью функции $S_E(E_{FD})$, в данных исследованиях не производился.

Передаточная функция с постоянной времени T_F и коэффициентом передачи K_F обеспечивает отрицательную обратную связь по первой производной и эффект введения аperiodического звена, что способствует повышению запаса устойчивости.

Принятые в расчётах параметры независимой системы возбуждения (СНВ) представлены в таблице 1.

D. Математическая модель регулятора частоты вращения и мощности газовой турбины

Для анализа переходных процессов продолжительностью до пяти секунд в настоящей модели предусмотрена возможность учета влияния системы регулирования частоты на мощность турбины.

Очевидно, что режим работы и поведение газовой турбины (ГТ) во время переходных процессов зависит от многих параметров. Необходимо совместно решать уравнения термодинамики, газодинамики и механики с учетом законов регулирования таких систем, как топливоподача, управление воздухозаборным устройством, температурного контроля и др. В мире разработано много моделей ГТ с регуляторами мощности и частоты вращения, например, Rowen model, CAST, GAST 2A, IEEE model, GGOV1, SIGRE model и др. [4], [5]. Они различаются точностью описания физических процессов в ГТ, а также качеством математического моделирования различных систем ГТУ (топливоподачи, температурного контроля, управления входным аппаратом воздухозаборного устройства и т.д.).

Чем больше управляющих воздействий, вызванных отклонением режима работы ГТ, учтено в модели, тем более точен расчет всего хода переходного процесса, вызванного различными возмущениями в электросети. Однако вместе с повышением точности модели возрастает и время вычислительного процесса, которое может оказаться (при использовании персонального компьютера) довольно продолжительным.

На рис. 4 представлена модель ГТ, используемая в данной работе.

Таблица 1. ПАРАМЕТРЫ НЕЗАВИСИМОЙ СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Параметр	K_A	K_F	V_{RMAX}	V_{RMIN}	T_A	T_E	T_F
Значение	150	0,003	5,326	-5,326	0,02	0,3	0,3

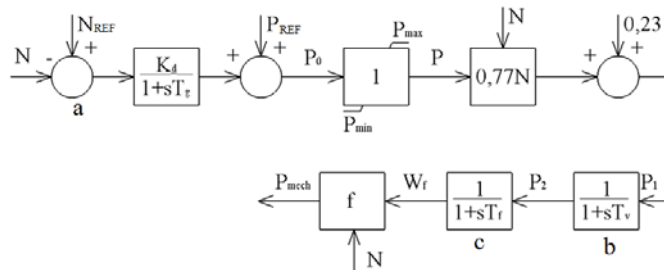


Рис. 4. Структурная схема ГТ [1]

Здесь: N — частота сети; $N_{уст}$ — задача по частоте; $P_{уст}$ — задача по мощности; a — звено регулятора частоты вращения; b, c — звенья системы топливоподачи; W_f — расход топлива; f — функция вычисления механической мощности турбины, равная:

$$f = 1.3 \cdot (W_f - 0.23) + 0.5 \cdot (1 - N). \quad (2)$$

Регулятор скорости (звено "a") выдает команду на увеличение или снижение подачи топлива в камеру сгорания ГТУ. Константа 0,23, входящая перед звеном топливной системы, является минимальным расходом топлива, которое необходимо для устойчивой работы ГТУ. Звено "b" моделирует скорости открытия и закрытия клапанов подачи топлива. Звено "c" моделирует инерционность топливного насоса. В свою очередь выходная механическая мощность ГТ является функцией расхода топлива и частоты вращения вала ГТУ.

Данная модель достаточно точна в течение первых пяти секунд переходного процесса. После пяти секунд наблюдается расхождение расчётных значений параметров режима с экспериментальными данными, так как управляющие воздействие системы температурного контроля начинает оказывать существенное влияние на режим работы газовой турбины [1].

Значения параметров системы регулирования частоты и мощности представлены в таблице 2.

E. Верификация математической модели малой электростанции, работающей в мощной энергосистеме

Для проверки правильности математической модели ГТУ сопоставляются результаты моделирования с расчетными данными, полученными на основе теории электромагнитных и электромеханических переходных процессов. Сопоставлению подлежат действующие значения периодических составляющих токов трехфазного КЗ на выводах генератора. Расчеты произведены для случая включенного устройства АРВ СНВ.

Таблица 2. ПАРАМЕТРЫ АРЧМ

Параметр	K_d	T_g	P_{MAX}	P_{MIN}	T_V	T_f
Значение	25	0,5	1	0,01	0,05	0,4

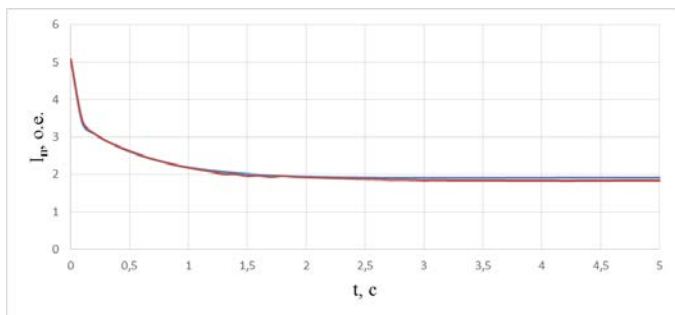


Рис. 5: Зависимость периодической составляющей тока КЗ от времени: (—) – расчёт на модели, (—) – ручной расчёт

Расчётная схема приведена на рис. 1. Генератор работает с номинальной нагрузкой и выдает мощность в электроэнергетическую систему. Включена система регулирования возбуждения СНВ. Регулятор частоты вращения и мощности АРЧМ включен.

На рис. 5 представлены зависимости периодической составляющей тока КЗ, рассчитанные на математической модели и по существующей методике вручную [6].

Как видно на рис. 5, при расчёте на модели периодической составляющей тока КЗ от генератора имеет место ее частичное несовпадение с периодической составляющей рассчитанной по существующей методике. Максимальное расхождение периодических составляющих тока КЗ наблюдается в момент времени 4,2 с. При этом относительная погрешность не превысила 4,23 %.

Причина возникновения погрешностей состоит в том, что при ручных расчетах, в отличие от расчета на модели, принимаются определенные допущения: частота энергосистемы остаётся неизменной; отсутствует насыщение магнитных систем (все элементы схемы являются линейными); действующее значение синхронной ЭДС генератора по поперечной оси к моменту КЗ рассчитано по упрощённой формуле.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что расчет на математической модели является более точным.

III. РАСЧЁТ ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТОКОВ КЗ В ЦЕПИ СТАТОРА ГЕНЕРАТОРА

Для решения поставленных задач было рассмотрено влияние на значение интеграла Джоуля (B_k - показатель термического воздействия тока КЗ) при КЗ и после его отключения таких факторов, как влияние системы возбуждения генератора, автоматического регулятора частоты и мощности, жёсткости связи генератора с энергосистемой и удалённости КЗ.

Интеграл Джоуля в общем случае определяется как интеграл квадратичного тока по данному интервалу времени:

$$B_k = \int_0^{t_{откл}} i_k^2(t) dt. \quad (3)$$

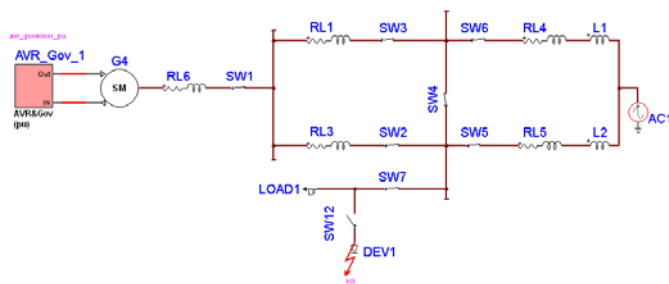


Рис. 6: Модель для расчёта КЗ на смежном участке электрической сети

Так как, согласно нормативным документам [6], трехфазное КЗ на выводах обмотки статора генератора является критерием прочности и надежности конструктивного исполнения не только основных узлов, но и почти всех частей генератора, то в проведенных исследованиях расчетным возмущением принято металлическое трехфазное КЗ.

Кабельная линия цепи статора генератора оснащена продольной дифференциальной токовой отсечкой. Эта защита имеет отстройку для гарантированного несрабатывания при внешнем КЗ, чтобы избежать неселективной работы защит. Таким образом, при КЗ на смежном участке электрической сети основная быстродействующая защита КЛ цепи статора генератора не будет работать, и генератор после отключения КЗ останется в работе. Расчётная модель представлена на рис. 6.

Значение интеграла Джоуля зависит от значения тока КЗ и от времени отключения КЗ. При условии сохранения системой динамической устойчивости тепловыделение в кабеле будет максимальным при времени отключения КЗ, равном предельному времени отключения по условию сохранения динамической устойчивости. В таком случае электрический угол δ будет максимальным, что приведёт к качаниям ротора с наибольшей амплитудой, а, следовательно, и к наибольшему повторному броску тока в цепи статора.

Согласно [7], допускается кратковременная работа турбогенераторов в асинхронном режиме. При таком режиме тепловыделение в кабеле цепи статора генератора будет больше вследствие относительно продолжительных колебаний тока статора вокруг некоторого повышенного значения.

A. Расчёт КЗ при разной степени жёсткости связи с энергосистемой

Для расчёта теплового воздействия тока КЗ определяется время отключения КЗ, при котором интеграл Джоуля будет наибольшим при условии, что после отключения КЗ и выпадении генератора из синхронизма наступит ресинхронизация до срабатывания автоматики ликвидации асинхронного режима (АЛАР), которая отключит генератор от сети. В зависимости от жёсткости связи генератора с энергосистемой это время будет меняться. В данной работе в качестве параметра, характеризующего жёсткость связи, принято отношение

тока КЗ от энергосистемы к току КЗ от генератора при металлическом трёхфазном КЗ на выводах генератора I_S/I_G .

На рис. 7 представлены расчётные зависимости действующего значения тока КЗ от генератора и электрического угла от времени КЗ на смежном участке электрической сети для случаев с относительно низкой и высокой жёсткостью связи генератора с энергосистемой. В данном случае рассматривается потеря динамической устойчивости с последующей ресинхронизацией генератора.

Из рис. 7 видно, что при жёсткости связи с энергосистемой 5 о.е. повторные броски тока после отключения КЗ больше, чем при жёсткости 1,88 о.е., а также что переходный процесс завершается быстрее. Большая длительность переходного процесса при жёсткости 1,88 о.е. связи приводит к тому, что значения интеграла Джоуля оказывается близким к значению при жёсткости 5 о.е.

В таблице 3 приведены результаты расчётов интеграла Джоуля по току КЗ от энергосистемы для случая трёхфазного КЗ на выводах генератора (K1) и по току от генератора для случая КЗ на смежном участке электрической сети (K2) в зависимости от жёсткости связи с энергосистемой.

Таблица 3. ЗНАЧЕНИЯ ИНТЕГРАЛА ДЖОУЛЯ ПРИ РАЗНОЙ ЖЁСТКОСТИ СВЯЗИ ГЕНЕРАТОРА С ЭНЕРГОСИСТЕМОЙ

Жёсткость связи генератора с энергосистемой	Ток I_{nc} в точке K1, кА	$B_{ж}$, $A^2 \cdot c$	
		K1	K2
1,88 о.е. с сохранением динамической устойчивости	5,23	$3,24 \cdot 10^6$	$5,72 \cdot 10^6$
1,88 о.е. потеря динамической устойчивости	5,23	$3,24 \cdot 10^6$	$14,11 \cdot 10^6$
4,32 о.е. потеря динамической устойчивости	12,01	$13 \cdot 10^6$	$12,38 \cdot 10^6$
17,1 о.е. потеря динамической устойчивости	47,53	$228 \cdot 10^6$	$12,9 \cdot 10^6$

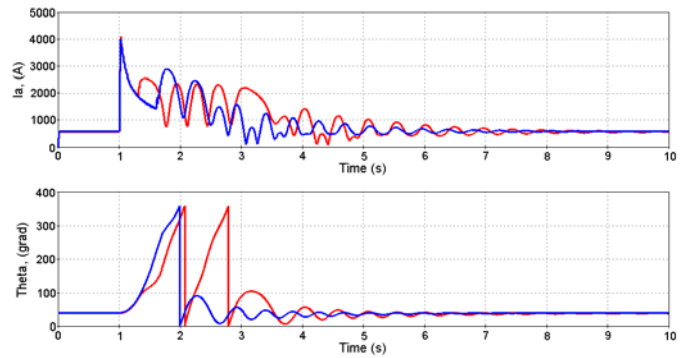


Рис. 7: Зависимости тока генератора и электрического угла от времени: (—) - $I_S/I_G = 1,88$ о.е., (—) - $I_S/I_G = 5$ о.е.

Как видно из таблицы 3, при жёсткости связи генератора с энергосистемой меньше 4,32 о.е. тепловыделение в кабеле цепи статора генератора будет больше в случае КЗ на смежном участке электрической сети. При этом значительную роль играет потеря динамической устойчивости, что может привести к увеличению тепловыделения более чем в два раза.

В. Влияние работы АРЧМ на тепловыделение в кабеле

На электромеханический переходный процесс в значительной степени оказывает влияние работа органа регулирования мощности турбины. При увеличении скорости вращения агрегата регулятор будет уменьшать расход топлива, чтобы воспрепятствовать росту скорости вращения. Когда ресинхронизация подойдёт к концу, регулятор начнёт увеличивать мощность на валу турбины в соответствии со своей задачей.

В работе был рассмотрен случай ресинхронизации в момент, когда электрический угол принимает наибольшее допустимое значение по условию сохранения динамической устойчивости, а частота вращения агрегата равна номинальной. В момент ресинхронизации АРЧМ начал увеличивать расход топлива в соответствии с задачей, что привело к ещё одному несинхронному провороту и дополнительному нагреву кабеля цепи статора генератора. В качестве способа избежать данной ситуации, а также уменьшить время переходного процесса и, соответственно, тепловыделения в кабеле был рассмотрен вариант отключения датчика мощности АРЧМ по мощности в момент времени, соответствующий предельно допустимому времени отключения генератора по условию сохранения динамической устойчивости.

На рис. 8 изображены зависимости мощности на валу турбины и электрического угла от времени для случаев с отключением датчика мощности и без.

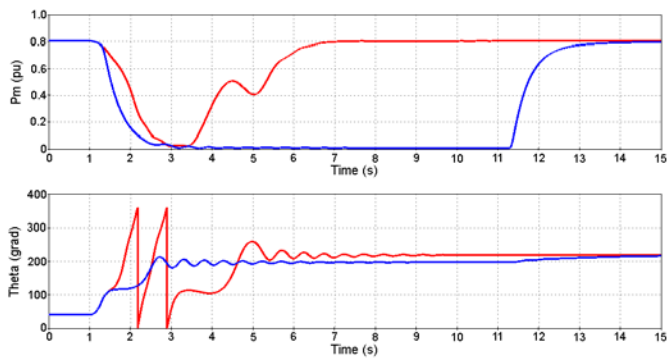


Рис. 8: Зависимости мощности на валу турбины и электрического угла от времени: (—) – без отключения регулятора мощности, (—) – с отключением регулятора мощности

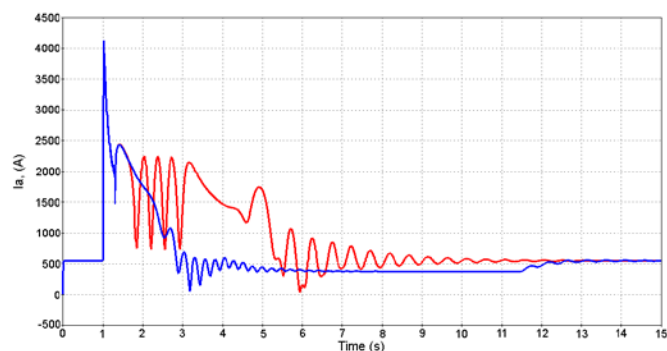


Рис. 9: Зависимость действующего значения тока в цепи статора генератора от времени: (—) – без отключения регулятора мощности, (—) – с отключением регулятора

Таблица 4. Влияние отключения регулятора мощности на интеграл Джоуля

$B_{кз}, A^2 \cdot c$	
С отключением регулятора	Без отключения регулятора
$7,09 \cdot 10^6$	$14,11 \cdot 10^6$

Из рис. 8 видно, что отключение задачи по мощности заметно ускоряет процесс ресинхронизации. Это способствует уменьшению повторных бросков тока после отключения КЗ в цепи статора (см. рис. 9).

Для жёсткости связи 1,88 о.е. был произведён расчёт интеграла Джоуля для случаев с отключением и без отключения задачи АРЧМ по мощности. Результаты расчёта приведены в таблице 4.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрены переходные процессы при КЗ на смежном участке электрической сети и после его отключения. Значения интеграла Джоуля были сопоставлены с таковыми при трёхфазном КЗ на выводах

генератора при срабатывании основных защит. По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. В цепи статора генератора могут быть сопоставимы ток КЗ и бросок тока после отключения КЗ на смежном участке электрической сети
2. При КЗ на смежном участке электрической сети значение интеграла Джоуля может быть больше такового при КЗ в цепи статора генератора.
3. При расчёте КЗ на смежном участке электрической сети рекомендуется учитывать потерю генератором динамической устойчивости с последующей ресинхронизацией.
4. Предложено в качестве критерия необходимости расчёта КЗ на смежном участке электрической сети принять жёсткость связи генератора с электроэнергетической системой ниже 5 о.е.
5. Предложено ввести в логику автоматики управления газовой турбиной отключение регулятора по мощности на период переходного процесса для улучшения условий ресинхронизации, уменьшения теплового воздействия бросков тока на кабель и статор генератора, а также уменьшения механических нагрузок на турбоагрегат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] C. Sharma, "Modeling of an island grid," IEEE Trans. Power Syst., vol. 13, no. 3, pp. 971–978, 1998.
- [2] Казовский Е.Я., Рубисов Г.В. Переходные процессы в синхронных машинах при аномальных режимах в энергосистеме. – Л.: Наука, 1994.
- [3] IEEE Std 421.5-2016 (Revision of IEEE Std 421.5-2005): IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies. S.I.: IEEE, 2016.
- [4] S. K. Yee, J. V. Milanovic, and F. M. Hughes, "Overview and Comparative Analysis of Gas Turbine Models for System Stability Studies," IEEE Trans. Power Syst., vol. 23, no. 1, pp. 108–118, 2008.
- [5] I. Report, "Dynamic Models for Steam and Hydro Turbines in Power System Studies," IEEE Trans. on Power Apparatus and Syst., vol. PAS-92, no. 6, pp. 1904–1915, 1973.
- [6] ГОСТ Р 52736 – 2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчёта электродинамического и термического воздействия тока короткого замыкания
- [7] СО 153-34.20.501-2003 "Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации"

Особенности анализа свойств замкнутой электромеханической системы с микропроцессорным регулятором

Вершинин Д.В., Колосов О.С., Овчинников Н.Е., Парфенова О.И.

Кафедра Управления и Информатики
Национального исследовательского университета МЭИ
Москва, Россия,
kolosovos@mpei.ru

Аннотация — В работе рассматривается специфика проведения исследований динамики системы управления частотой вращения синхронного двигателя с микропроцессорным регулятором. Рассматриваются характерные режимы работы замкнутой системы, которые позволяют оценивать статические характеристики ее в разомкнутом состоянии. В анализе динамических свойств системы используются диаграммы Боде и переходные процессы, получение которых обеспечивает микропроцессорный регулятор.

Ключевые слова — микропроцессорный контроллер, замкнутая система управления, идентификация параметров.

I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В практике построения электромеханических систем происходит активное вытеснение двигателей постоянного тока синхронными двигателями со встроенными энкодерами и с частотным управлением. В качестве пропорционально-интегрально-дифференциальных (ПИД) регуляторов в таких системах применяют микропроцессорные контроллеры, которые позволяют достаточно просто реализовать стандартные алгоритмы управления: пропорциональный (П), пропорционально-дифференциальный (ПЛ), пропорционально-интегральный (ПИ), пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД). Вместе с тем, изучение свойств подобных замкнутых систем традиционными приемами затруднено, так как нет возможности исследовать отдельные элементы структуры. Известные приемы исследований систем автоматического управления (САУ) ориентированы, главным образом, на изучение свойств разомкнутых структур [1, 2]. В силу этого целью данной работы является отработка приемов проведения исследований на учебном лабораторном макете замкнутой электромеханической системы. Рассматриваемые приемы позволяют получить модель системы в разомкнутом состоянии для дальнейшего анализа и синтеза параметров регулятора известными способами.

Описываемые приемы отрабатывались на лабораторном макете электромеханической системы управления частотой вращения синхронного двигателя ЕСМА-С1-0604FS со встроенным энкодером, с сервопреобразователем ASD-A2-0421OU [3] и

регулятором на базе микропроцессорного контроллера Delta ASD-A2 [4].

Методы исследований базируются на обработке и анализе экспериментально определяемых статических характеристик, переходных процессов, а также на анализе экспериментально определяемых с помощью микропроцессорного контроллера диаграмм Боде. В России эти диаграммы более известны как логарифмические амплитудно-частотные характеристики (ЛАЧХ) и логарифмические фазо-частотные характеристики (ЛФЧХ).

II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДОКЛАДА

Обобщенная функциональная схема исследуемой системы представлена на рис. 1. Система содержит регулятор на базе микропроцессорного контроллера, в котором осуществляется сравнение в цифровом виде уставки по скорости $\omega_{\text{вх}}$ и сигнала обратной связи, пропорционального действительной частоте вращения двигателя $\omega_{\text{вых}}$, а также реализуются возможные законы ПИД-регулирования. Второй блок рассматриваемой схемы состоит из частотного привода, синхронного двигателя со встроенным энкодером [5] и нагрузки в виде маховика

Анализ одноконтурных систем сводится обычно к оценке сквозной (вход – выход) статической характеристики разомкнутой структуры и оценке параметров динамических звеньев, входящих в структуру системы. Статическая характеристика разомкнутой системы позволяет учитывать влияние нелинейностей на динамику работы системы в зависимости от положения рабочей точки на этой характеристике.

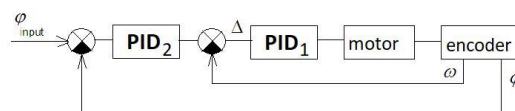


Рис. 1. Обобщенная функциональная схема системы

III. ОЦЕНКА СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗОМКНУТОЙ СИСТЕМЫ.

Поскольку исследуемая система при пропорциональном управлении является статической, то ее статическая характеристика (коэффициент разомкнутой системы) определяется очевидным соотношением:

$$K_p(\Delta, k_{IP}) = \frac{\omega_{ВЫХ}}{\Delta} = \frac{\omega_{ВЫХ}}{\omega_{ВХ} - \omega_{ВЫХ}} \quad (1)$$

где $\Delta = \omega_{ВХ} - \omega_{ВЫХ}$ в теории управления называется статической ошибкой. Статическая характеристика определяется для выбранного значения $K_{пр}$ и при варьировании $\omega_{ВХ}$.

На рис. 2 представлены две статические характеристики системы для двух значений пропорциональных коэффициентов регулятора $K_{пр}$, отличающихся друг от друга в три раза ($K_{пр2} = 3K_{пр}$). Полученные характеристики позволяют выбрать требуемый коэффициент пропорциональной части регулятора в зависимости от задаваемых в техническом задании диапазона регулируемых скоростей.

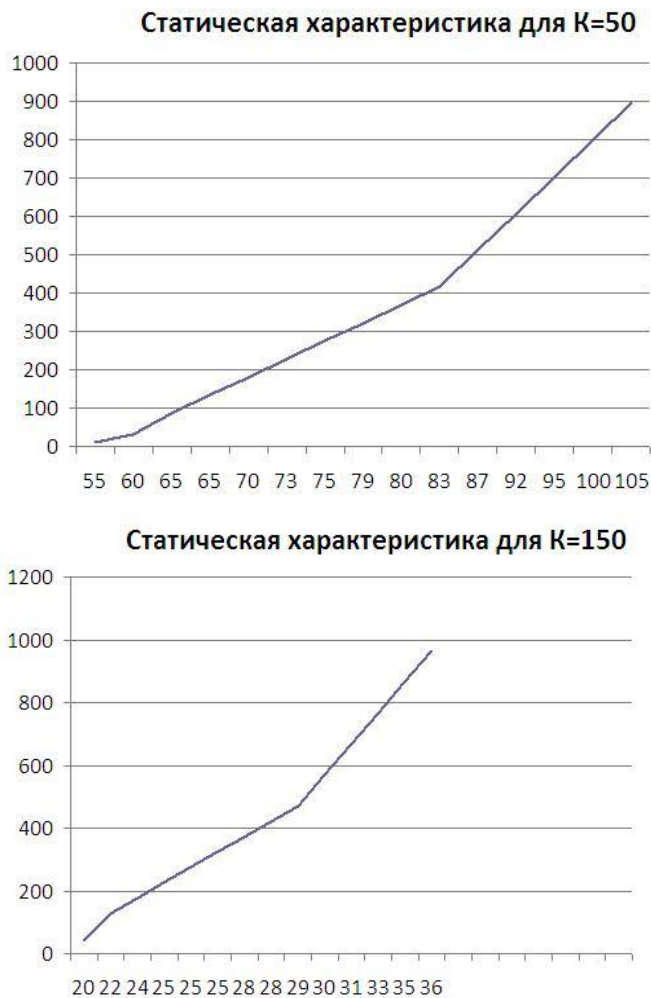


Рис. 2. Статические характеристики системы для двух значений пропорциональных коэффициентов регулятора ($K_{пр2} = 3 K_{пр}$)

IV. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗВЕНЬЕВ В СТРУКТУРЕ СИСТЕМЫ

Для разомкнутых систем подобная задача параметрической идентификации может быть решена различными известными способами. Одним из распространенных способов связан с обработкой графика переходного процесса на выходе объекта исследования при отработке скачка на входе. Однако этот способ оказывается мало пригодным при исследовании замкнутой системы.

Оценку порядка и числа звеньев в структуре системы можно сделать анализируя ЛАЧХ и ЛФЧХ системы в разомкнутом состоянии. Съем таких характеристик производит сам контроллер в специальном режиме функционирования. На рис. 3 представлены ЛАЧХ и ЛФЧХ системы для тех же двух значений коэффициентов пропорциональности регулятора.

Отметим характерные особенности представленных характеристик:

1. Диапазон частот (в Герцах) достаточно высокий $3 \text{ Гц} < f \text{ (Гц)} < 500 \text{ Гц}$ и на всем этом диапазоне ЛФЧХ не зависит от пропорционального коэффициента регулятора.
2. Наклон ЛАЧХ, за исключением области высоких частот, составляет $-20 \frac{дБ}{дек}$.
3. Расстояние между ЛАЧХ с разными $K_{пр}$ составляет 10 децибел, то есть один коэффициент больше другого в 3 раза.
4. ЛФЧХ пересекает уровень -90° на частоте 11 Гц. Это означает то, что порядок характеристического уравнения системы в рассматриваемом диапазоне частот оказывается выше первого.

Представим передаточную функцию исследуемой системы в виде (2) и найдем ее параметры.

$$W_p(s) = \frac{K_p}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} \quad (2)$$

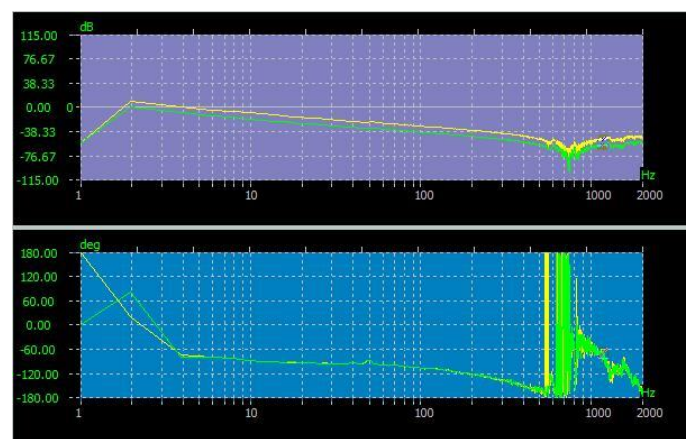


Рис. 3. ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы для двух значений коэффициентов пропорциональности регулятора ($K_{пр2} = 3 K_{пр}$)

Пусть $S = j\omega$. Тогда (2) примет вид:

$$W_p(j\omega) = \frac{K_p}{(1 - (T_1 T_2) \omega^2) + j\omega(T_1 + T_2)} \quad (3)$$

Общий коэффициент разомкнутой системы K_p для заданных условий находится по статической характеристике (1).

Заметим, что действительная часть знаменателя (3) обращается в ноль при прохождении ЛФЧХ через уровень -90° . Если K_p системы можно определить по величине статической ошибки (1), то постоянные времени T_1 , T_2 находятся с использованием координат ω_m , A_m точки ЛАЧХ разомкнутой системы, для которой ЛФЧХ равна -90° , путем решения системы из двух уравнений с двумя неизвестными;

$$\begin{aligned} T_1 T_2 &= \frac{1}{\omega_m^2} \\ T_1 + T_2 &= \frac{K_p}{\omega_m A_m} \end{aligned} \quad (4)$$

Воспользовавшись данными точками на ЛАЧХ и ЛФЧХ рис. 3, получаем оцениваемые значения постоянных времени аperiodических звеньев в структуре системы, реализованной в лабораторном стенде:

$$\begin{aligned} T_1 &= 0.6c \\ T_2 &= 0.0027c \end{aligned} \quad (5)$$

Заметим, что использование координат точек, связанных с переходом ЛФЧХ через уровень -90° не является обязательным условием. В самом деле, рассмотрим значения модуля $|W_p(j\omega_1)| = A(j\omega_1)$ и фазы $\phi(j\omega_1)$ передаточной функции разомкнутой системы (3) для произвольного значения частоты ω_1 .

$$\begin{aligned} A(j\omega_1) &= \frac{K_p}{\sqrt{(1 - \omega_1^2 T_1 T_2)^2 + \omega_1^2 (T_1 + T_2)^2}} = \\ &= \frac{K_p}{(1 - \omega_1^2 T_1 T_2) \sqrt{1 - tg(\phi(\omega_1))^2}} \end{aligned} \quad (6)$$

Решение (6) позволяет найти произведение T_1 , T_2 . Подстановка полученного произведения в выражение:

$$\phi(\omega_1) = -\arctg \frac{\omega_1 (T_1 + T_2)}{1 - \omega_1^2 T_1 T_2} \quad (7)$$

дает возможность определить сумму постоянных времени $T_1 + T_2$. Совместное решение полученных двух уравнений с двумя неизвестными позволяет в общем виде найти неизвестные постоянные времени.

Заметим, однако, что полученные соотношения (4) оказываются наиболее простыми для вычислений параметров знаменателя передаточной функции (2).

Анализируя получившиеся результаты (5) оценки постоянных времени передаточной функции исследуемой

системы в разомкнутом виде (2), отмечаем, что они отличаются друг от друга на два порядка. Влияние меньшей постоянной времени замечается на частотных характеристиках только в области высоких частот. В силу этого обстоятельства исследуемую систему можно попробовать описать в разомкнутом состоянии передаточной функцией первого порядка вида:

$$W_p(s) = \frac{K_p}{T_1 s + 1} \quad (8)$$

Для оценки постоянной времени T_1 можно воспользоваться графиком переходного процесса изменения частоты вращения ротора двигателя замкнутой системы при ступенчатом изменении входного сигнала управления.

В наблюдаемом переходном процессе практически не просматривается влияние малой постоянной времени на начальном участке процесса, что также оправдывает использование в анализе упрощенного представления вида передаточной функции разомкнутой системы (8).

Передаточная функция замкнутой системы имеет вид:

$$W(s) = \frac{K_p}{T_1 s + (1 + K_p)} = \frac{\frac{K_p}{1 + K_p}}{\frac{T_1}{1 + K_p} s + 1} = \frac{K}{Ts + 1} \quad (9)$$

Фактически, анализируя переходный процесс в замкнутой системе, мы можем оценить на основании (9) эквивалентную постоянную времени T :

$$T = \frac{T_1}{1 + K_p} \quad (10)$$

Эта постоянная времени T достаточно просто и точно определяется по отрезку времени от начала переходного процесса до момента времени, когда значение скорости станет равным 0.63 от ее установившегося значения [1]. Определенная по переходному процессу эквивалентная постоянная времени T позволяет оценить постоянную времени T_1 передаточной функции разомкнутой системы (8):

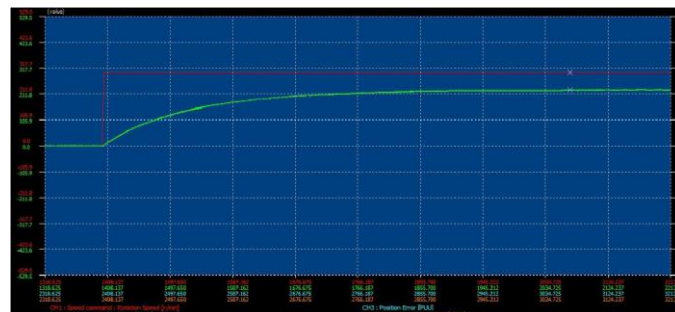


Рис. 4. Переходный процесс изменения частоты вращения двигателя в замкнутой системе при ступенчатой подаче управляющего сигнала, соответствующего скорости 300об/мин

$$T_1 = T(1 + K_p) . \quad (11)$$

Обработка переходных процессов системы при тех же двух значениях K_p дает значения постоянной времени T_1 с расхождением в пределе -15% от ранее оцененного значения в 0.6 с. Частично эта погрешность зависит от относительно грубой дискретизации самого переходного процесса. Используя линейную интерполяцию, эту погрешность можно существенно снизить.

Полученная модель исследуемой системы позволяет в дальнейшем проводить настройку параметров регулятора, вводя интегральную и дифференцирующую составляющую, известными методами [1, 2].

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были рассмотрены приемы работы с замкнутой статической системой для оценки параметров ее в разомкнутом состоянии. При этом ключевую роль в этом процессе играет возможность анализировать как переходные процессы в замкнутой системе, так и амплитудные и фазовые частотные характеристики исследуемой системы в разомкнутом состоянии. Съём и построение этих характеристик осуществляется с помощью управляющего микропроцессорного контроллера в специальном режиме.

Разработанные навыки и приемы работы с замкнутой системой автоматического управления, которые позволяют получать ее описание в разомкнутом состоянии, существенно облегчают синтез и настройку параметров регулятора традиционными методами, хорошо разработанными для разомкнутых систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Теория автоматического управления. Под ред. А.В. Нетушила. М.:Высшая школа. 1976 г. 400 с.
- [2] Ротач В.Я. Теория автоматического управления. – М.:Издательство МЭИ. 2004, - 314 с.
- [3] Лабораторный стенд «Сервопривод и системы стабилизации». Техническое описание. «Учтех-Профи». Челябинск 2013 г. 20 с. www.uralstend.ru.
- [4] Delta ASD-A2. ASIA DTLTATELETKTRONIKS. [http // www.deltronics.ru](http://www.deltronics.ru).
- [5] Технические средства автоматизации и управления. Учебник для академического бакалавриата. Под ред. О.С.Колосова. М. :Юрайт. 2017г. 291с

Экспериментальное исследование нелинейных эффектов в динамике микромеханического гироскопа

О.В. Грибова, И.В. Меркурьев, Г.В. Панкратьева
НИУ «МЭИ»: каф. РМДПМ
г. Москва

Аннотация — Изучены вынужденные нелинейные колебания чувствительного элемента микромеханического гироскопа. Теоретическое исследование проведено в квазилинейной постановке методами малого параметра и усреднения Крылова-Боголюбова. Построены и исследованы амплитудно-фазочастотные характеристики опытного образца микромеханического гироскопа. Определены условия возникновения стационарных колебаний в малой окрестности главного резонанса.

Ключевые слова — микромеханический гироскоп, нелинейные колебания, метод малого параметра, метод усреднения

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существенный интерес представляет разработка и создание перспективных систем навигации и управления движением объектов различного назначения, построенных на базе нового класса инерциальных приборов - микромеханических гироскопов (ММГ) [1-2].

В статье [1] определена основная, принципиальная погрешность маятника Фуко, как прибора для измерения угловой скорости Земли, обусловленная нелинейными слагаемыми в модели движения. Показано, что эта погрешность присуща всем без исключения гироскопам, реализующим идею маятника Фуко, например, микромеханическим и волновым твердотельным гироскопам. В работах [3-4] исследовано влияние геометрической и физической нелинейности микромеханических гироскопов. Найдены стационарные режимы колебаний чувствительного элемента ММГ и даны оценки точности гироскопа из-за нелинейных эффектов различной физической природы.

Объектом исследования является ММГ разработки ФГУП «ЦЭНКИ» - «НИИ ПМ им. академика В.И. Кузнецова», представляющий собой рамочную конструкцию, изготовленную методом плазмохимического травления из монокристаллической пластины кремния (рис. 1).

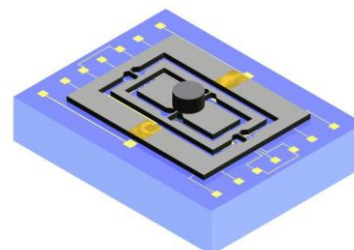


Рис. 1. Микромеханический гироскоп

Для увеличения кинетической энергии и чувствительности гироскопа к угловой скорости основания на внутренней рамке закреплен массивный чувствительный элемент гироскопа, совершающий малые угловые колебания вместе с рамками и тонкими упругими торсионами.

Вращение основания прибора с угловой скоростью Ω_* вокруг оси z_* (рис. 2) вызывает деформацию упругого подвеса чувствительного элемента и приводит к его колебаниям по углу β вокруг оси y . Емкостная система измерений, использующая электроды на основании прибора, регистрирует колебания ротора по углу β и после соответствующей обработки формирует сигнал, пропорциональный угловой скорости основания Ω_* .

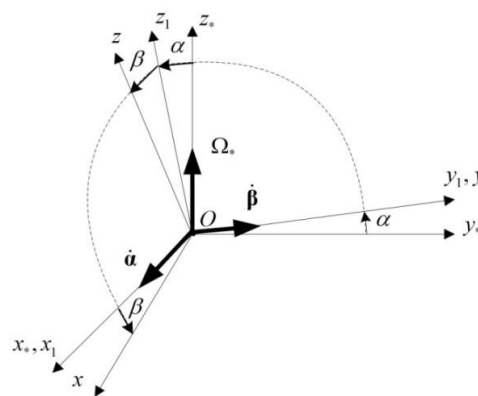


Рис. 2. Системы координат

Рассматриваемая схема гироскопа имеет ось чувствительности z_* и предназначена для измерения одной составляющей вектора угловой скорости основания ММГ.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В данной работе рассматривается динамика ММГ на подвижном основании с учетом нелинейных свойств электростатической системы управления колебаниями. Поставлена задача исследования нелинейных эффектов в динамике чувствительного элемента с использованием методов механики и теории эксперимента. Исследуются условия возникновения пространственных стационарных колебаний чувствительного элемента в окрестности главного резонанса.

III. УРАВНЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ММГ

Будем предполагать, что гироскоп сбалансирован, т.е. центр масс чувствительного элемента и центр упругого подвеса находятся в неподвижной точке O (рис. 2). Введем системы координат: $Ox_*y_*z_*$ – связанную с основанием гироскопа, $Ox_1y_1z_1$ – связанную с промежуточной рамкой карданова подвеса. Систему координат $Oxyz$ жестко свяжем с главными центральными осями чувствительного элемента. Положение чувствительного элемента относительно основания определим малым углом поворота α промежуточной рамки вокруг оси x_* и малым углом поворота β чувствительного элемента вокруг оси y .

Особенностью электростатического управления колебаниями по углу α является нелинейная зависимость момента управления от зазоров между подвижной рамкой и неподвижными электродами, а также от разности потенциалов на электродах управления (рис. 3):

$$M = s_0 \left(\frac{U_0 - \Delta U}{1 - h\alpha} \right)^2 - s_0 \left(\frac{U_0 + \Delta U}{1 + h\alpha} \right)^2, \quad (1)$$

где U_0 – «опорное» напряжение на электродах; h, s_0 – постоянные электростатического привода, $\Delta U = u \sin ft$ – переменное напряжение для резонансного управления колебаниями, амплитуда которого u выбирается равной $\frac{M_0}{4s_0U_0}$, чтобы при $\alpha = 0$ момент электростатического привода (1) представлял собой гармоническую функцию времени $M = M_0 \sin ft$ частоты f и амплитуды M_0 .

Используя формализм Лагранжа, запишем дифференциальные уравнения малых колебаний чувствительного элемента ММГ:

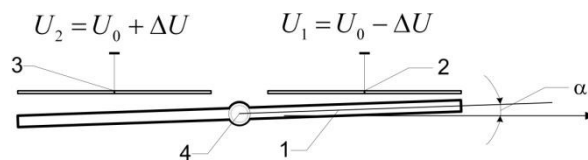


Рис. 3. Электростатический контур управления колебаниями (1 – чувствительный элемент, 2,3 – силовые электроды, 4 – торсион промежуточной рамки)

$$\begin{aligned} J_x \ddot{\alpha} - \Omega_* (J_x + J_y - J_z) \dot{\beta} + k_1 \dot{\alpha} + c_1 \alpha &= M, \\ J_y \ddot{\beta} + \Omega_* (J_x + J_y - J_z) \dot{\alpha} + k_2 \dot{\beta} + c_1 \beta &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где J_x, J_y, J_z – моменты инерции чувствительного элемента; c_1, c_2 – коэффициенты жесткости торсионного подвеса; k_1, k_2 – коэффициенты демпфирования. В уравнениях (2) опущены слагаемые, пропорциональные квадрату угловой скорости основания. Предполагается, что угловая скорость основания постоянная.

В дальнейшем будем рассматривать квазилинейные колебания системы около положения равновесия. Введем безразмерные коэффициенты и параметры

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \left(\frac{M_0}{c_1} \right)^{2/3}, \quad \omega = \sqrt{\frac{c_1'}{J_x}} = \sqrt{\frac{c_2}{J_y}}, \quad \frac{f}{\omega} = \mu, \\ \frac{k_1}{\sqrt{c_1' J_x}} &= \frac{k_2}{\sqrt{c_2 J_y}} = \varepsilon \gamma, \quad c_1' = c_1 - \frac{4hs_0 U_0^2}{\omega^2 J_x}, \quad \tau = \omega t, \\ \xi &= \frac{8h^3 s_0 U_0^2}{\omega^2 J_x}, \quad \frac{\Omega_*}{\omega} = \varepsilon \nu, \quad \alpha = \sqrt{\varepsilon j_1} \alpha', \quad \beta = \sqrt{\varepsilon j_2} \beta', \\ j_1 &= \frac{J_x + J_y - J_z}{J_x}, \quad j_2 = \frac{J_x + J_y - J_z}{J_y}, \\ (\mu, \nu &\sim 1; 0 < \varepsilon \ll 1) \end{aligned} \quad (3)$$

где ε – малый параметр, характеризующий малость амплитуды момента M_0 по отношению к коэффициенту жесткости подвеса c_1 ; μ – отношение частоты f изменения момента M к частоте собственных колебаний ω линейного осциллятора; γ, c_1', ξ – параметры, характеризующие демпфирование и жесткость электростатического подвеса; ν – безразмерная угловая скорость основания; j_1, j_2 – массово-геометрические характеристики чувствительного элемента, τ, α', β' – безразмерные переменные, характеризующие время и угловые координаты α, β .

С учетом (1) и (3) преобразуем уравнения (2) к виду:

$$\begin{aligned} \ddot{\alpha} + \alpha &= \varepsilon(-\gamma\dot{\alpha} + v\dot{\beta} - \xi\alpha^3 + \sin \mu \tau), \\ \ddot{\beta} + \beta &= -\varepsilon(\gamma\dot{\beta} + v\dot{\alpha}), \end{aligned} \quad (4)$$

где точкой обозначено дифференцирование по безразмерному времени τ (штрихи над буквами опускаем).

Далее рассмотрим практически важный случай колебаний чувствительного элемента ММГ в малой окрестности главного резонанса, т.е. при

$$f = \omega + \Delta\omega, \quad \mu = 1 + \varepsilon\lambda,$$

где $\Delta\omega$ и λ – частотная расстройка, соответственно в размерном и нормализованном виде.

К возмущенной одночастотной системе (4) применим метод усреднения [6] и приведем её к стандартному виду посредством перехода от переменных $\dot{\alpha}, \alpha, \beta, \dot{\beta}$ к оскулирующим (медленным) переменным “амплитуда-фаза” A, B, φ, ψ по формулам

$$\begin{aligned} \alpha &= A \sin(\mu\tau + \varphi), & \dot{\alpha} &= \mu A \cos(\mu\tau + \varphi), \\ \beta &= B \sin(\mu\tau + \psi), & \dot{\beta} &= \mu B \cos(\mu\tau + \psi), \end{aligned} \quad (5)$$

здесь A, B – медленно изменяющиеся амплитуды углов α, β соответственно, φ, ψ – фазовые расстройки парциальных колебаний по углам α, β . Дифференцируя формулы замены (5) по τ из уравнений (4), найдем стандартную по Боголюбову систему [6], усредняя которую по явно входящему аргументу τ , получим дифференциальные уравнения для амплитуд A, B и фазовых расстроек φ, ψ :

$$\begin{aligned} \dot{A} &= \varepsilon[-\gamma A + vB \cos(\psi - \varphi) - \sin \varphi]/2, \\ \dot{\varphi} &= \varepsilon[-8\lambda A + 4vB \sin(\psi - \varphi) - 3\xi A^3 - 4 \cos \varphi]/(8A), \\ \dot{B} &= \varepsilon[-\gamma B - vA \cos(\psi - \varphi)]/2, \\ \dot{\psi} &= \varepsilon[-8\lambda B + 4vA \sin(\psi - \varphi)]/(8B). \end{aligned} \quad (6)$$

В докладе обсуждается программная реализация алгоритмов осреднения с использованием системы символьных вычислений «Mathematica».

Для приложений представляется важным исследование стационарных колебаний. Соответствующие резонансные значения A, B, φ, ψ определяются как стационарные точки системы (6).

Для расчета амплитудно-фазочастотных характеристик нелинейной системы необходимо задать частоту внешнего гармонического воздействия вблизи резонансной частоты и численно определить стационарные значения амплитуд и фаз колебаний, используя уравнения (6). В докладе представлена программная реализация алгоритмов

построения расчетной и экспериментальной амплитудно-фазочастотных характеристик системы (рис. 4-6).

Рассмотрим нелинейные колебания ММГ на неподвижном основании (угловая скорость $\Omega_* = v = 0$). В этом случае уравнения (6) распадаются на две подсистемы. Первые два уравнения описывают усредненные колебания осциллятора Дуффинга с мягкой характеристикой. Стационарные решения A, φ определяются соотношениями

$$\begin{aligned} \gamma A + \sin \varphi &= 0, \\ \lambda + 3/8 \xi A^2 + 1/(2A) \cos \varphi &= 0, \quad A \geq 0 \end{aligned} \quad (7)$$

Избавляясь от тригонометрических функций в уравнениях (7), получим неявное выражение для резонансной кривой

$$3/8 \xi A^2 \pm \sqrt{1 - \gamma^2 A^2} / (2A) + \lambda = 0 \quad (8).$$

Существенный интерес представляет изучение зависимости амплитуд стационарных колебаний от параметров, характеризующих демпфирование, частотную расстройку и нелинейности системы. Из ограничений на значения тригонометрических функций в (7), следует ряд условий возникновения стационарных колебаний, например, $A(\lambda, \gamma) \leq 1/\gamma$.

При малых значениях демпфирования γ (рис. 4) получается известная характеристика [4]. Пунктирная и штрихпунктирная линии на рис. 4 соответствуют колебаниям «в фазе» с внешним воздействием ($\varphi = 0$), сплошная линия – «в противофазе» ($\varphi = \pi$). Анализ уравнения (8) показывает, что при выполнении

неравенства $\lambda \geq -\frac{4}{3} \left(\frac{2}{3} \xi \right)^{\frac{1}{3}}$ резонансная кривая $A(\lambda)$ становится однозначной.

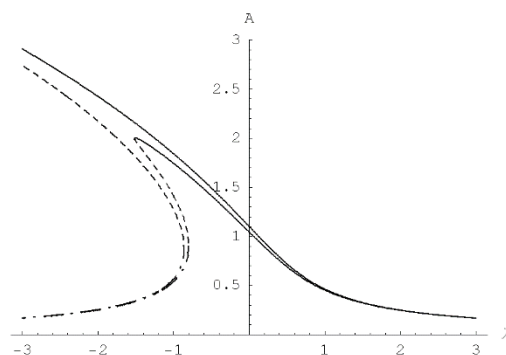


Рис. 4. Амплитуды стационарных колебаний $A(\lambda)$ в зависимости от частотной расстройки λ . Для значений коэффициента демпфирования $\gamma = 1/10$ и $\gamma = 1/2$, соответственно, максимальное значение амплитуды $A = 1/\gamma = 10$ и

$$\lambda = -\frac{3}{8} \frac{\xi}{\gamma^2}.$$

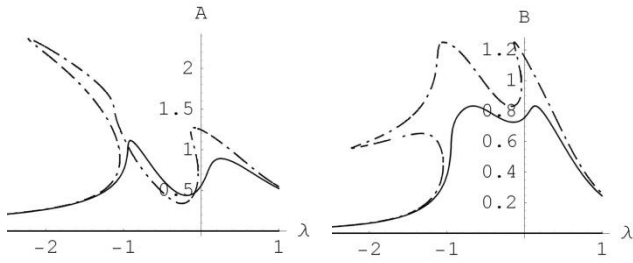


Рис. 5. Зависимость амплитуд колебаний А и В от частотной расстройки при значениях $\gamma=0,6$; $\gamma=0,4$ (сплошная и штрихпунктирная линия соответственно)

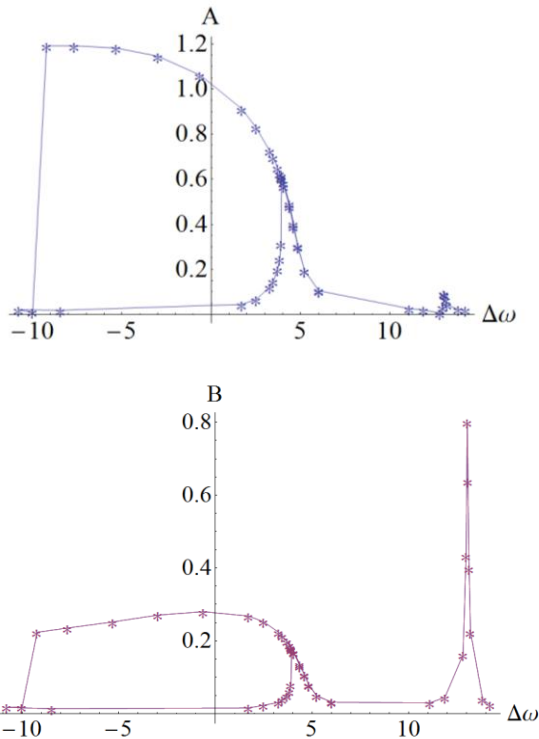


Рис. 6. Экспериментальные амплитудно-фазочастотные характеристики ММГ.

Отметим, что максимальное значение амплитуды колебаний $A=1/\gamma$ достигается при достаточно больших значениях частотной расстройки:

Этот случай соответствует точке соединения на рис. 4 пунктирной и сплошной ветви резонансной кривой $A(\lambda)$.

Полученные стационарные колебательные режимы имеют существенное значение для объяснения явлений срыва колебаний и скачков амплитуд, наблюдаемых при экспериментальных исследованиях ММГ (рис. 6).

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что амплитудно-фазочастотная характеристика является существенно нелинейной и неоднозначной функцией, качественно совпадающей с расчетной характеристикой.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методами малого параметра и усреднения Крылова-Боголюбова получены осредненные уравнения, описывающие динамику ММГ с учетом нелинейности электростатического контура управления колебаниями чувствительного элемента. Исследованы режимы пространственных стационарных колебаний чувствительного элемента гироскопа в окрестности главного резонанса в зависимости от параметров системы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 16-08-01269-а).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Журавлев В.Ф. О глобальных эволюциях состояния обобщенного маятника Фуко // Изв. АН. МТТ. 1998. № 6. С. 5-11.
- [2] Журавлев В.Ф. Управляемый маятник Фуко как модель одного класса свободных гироскопов // Изв. АН. МТТ. 1997. № 6. С. 27-35.
- [3] Басараб М.А., Кравченко В.Ф., Матвеев В.А. Методы моделирования и цифровая обработка сигналов в гироскопии. М.: Физматлит, 2008. 248 с.
- [4] Меркурьев И.В., Подалков В.В. Динамика микромеханического и волнового твердотельного гироскопов. М: Физматлит, 2009. 228 с.
- [5] Распопов В.Я. Микромеханические приборы. М.: Машиностроение, 2007. 476 с.
- [6] Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М: Наука, 1974. 503 с.

Особенности использования лабораторного практикума компании «Научные развлечения» на кафедре физики имени В.А.Фабриканта Московского энергетического института

Сергей Владимирович Григорьев
Людмила Григорьевна Лапина
Ольга Владимировна Петрова
Галина Михайловна Янина
«НИУ МЭИ», кафедра физики имени В.А.Фабриканта,
111250 г. Москва, Красноказарменная улица, дом 14, Россия

Аннотация. В работе рассмотрены некоторые особенности практического использования в учебном процессе компьютеризированных лабораторных установок по курсу «Физика», разработанных компанией «Научные развлечения», на кафедре физики имени В.А.Фабриканта Московского энергетического института»

Ключевые слова: *физический эксперимент; компьютеризированные лабораторные установки.*

I. ВВЕДЕНИЕ

Отличительной особенностью нашего времени является стремительное развитие информационных технологий во многих сферах деятельности человека. Новые технологии успешно применяются и в системе образования. Компьютеризация является неотъемлемой частью учебного процесса. Нет сомнений в необходимости использования компьютеров при проведении и дальнейшей обработке результатов измерений в лабораторном практикуме.

Концепция проведения измерений с помощью электронных датчиков и веб-камеры с дальнейшей компьютерной обработкой реализована в большинстве лабораторных комплексов, разработанных компанией «Научные развлечения».

Кафедра физики имени В.А.Фабриканта Московского энергетического института (МЭИ) с 2012г. сотрудничает с этой компанией и использует ее оборудование в лабораториях механики и молекулярной физики, электричества и магнетизма, волновой и квантовой оптики по курсу «Физика» для студентов первого и второго курсов МЭИ.

Важным моментом является также тот факт, что оборудование от «Научных развлечений» доступно по цене, в то же время методически ничем не уступает зарубежным, значительно более дорогим аналогам.

II. КОНСТРУКТИВНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАБОРАТОРНЫХ УСТАНОВОК КОМПАНИИ И «НАУЧНЫЕ РАЗВЛЕЧЕНИЯ»

Все лабораторные установки снабжены электронными измерительными датчиками и, при необходимости, веб-камерами. Данные, фиксируемые датчиками и веб-камерами, отображаются на экране компьютера. Обработка результатов измерений производится при помощи программы, разработанной компанией специально для лабораторного практикума. При этом предусмотрен вывод результатов обработки данных как в виде таблиц, так и, при необходимости, в виде графиков. При этом основу эксперимента составляет классический физический эксперимент, в ходе которого студенты работают с оборудованием, традиционно используемым в лабораторном практикуме. Например, в лаборатории оптики элементами установок часто являются оптическая скамья, источник излучения, поляризаторы и т.д., которые составляют основу, в том числе и рассматриваемого нами лабораторного практикума. Такой подход позволяет реализовать принцип наглядности физического эксперимента, сокращая одновременно время на обработку результатов измерений, и, в ряде случаев, облегчая сами измерения.

Перечень работ практикума, которым располагает кафедра, на данный момент уже довольно большой. Он включает: проверку теоремы Гюйгенса-Штейнера методом вращательных колебаний; определение показателя адиабатного процесса для воздуха; исследование магнитного поля в катушках Гельмгольца; определение длины световой волны методом Юнга, а также методом колец Ньютона; исследование явления дифракции Фраунгофера на щели и с помощью дифракционной решетки; изучение законов внешнего фотоэффекта и другие работы.

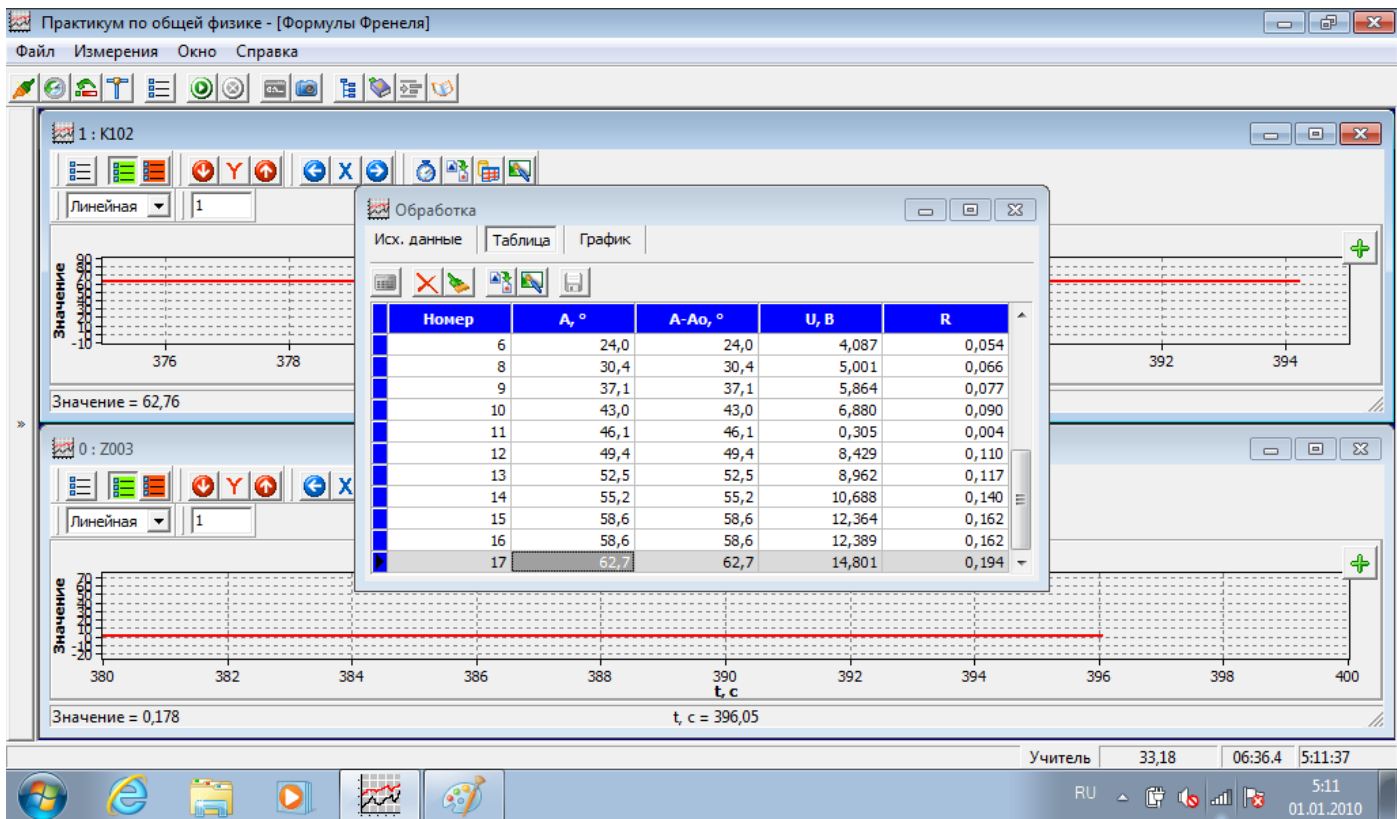


Рис.1. Пример рабочего окна компьютерной программы

Все лабораторные установки имеют современный вид; электронные датчики промаркированы, а их обозначения выведены над соответствующими таблицами или графиками в рабочих окнах программы.

В лаборатории оптики используются современные источники лазерного излучения (в основном это полупроводниковые лазеры).

Обычно и студенты, и школьники довольно легко справляются и с самим физическим экспериментом, и с используемой компьютерной программой. Для предварительной подготовки к выполнению лабораторной работы предусмотрена возможность ознакомления с методическими пособиями, размещенными в электронном виде на сайте кафедры; бумажные варианты пособий выдаются студентам и школьникам при выполнении работ. Пособия содержат как теоретическое введение к работам практикума, так и методику их выполнения. Особое внимание уделяется особенностям работы с компьютерной программой, которая является оригинальной разработкой компании «Научные развлечения». Интерфейс компьютерной программы интуитивно понятен, но все же требует вдумчивого и внимательного отношения со стороны обучающихся.

Каждая лабораторная работа имеет свой набор рабочих инструментов, который отображается в ее рабочем окне. Пример такого рабочего окна для лабораторной работы «Формулы Френеля» приведен на рис.1. На рисунке видны показания датчика угла поворота отсчетного

устройства в виде графика и числового значения (датчик K102) и фотодатчика (датчик Z003) также в виде графика и числового значения. Данные датчиков заносятся студентами в протокол измерений; при этом программой автоматически рассчитываются коэффициенты отражения от границы раздела двух диэлектрических сред для волн с соответствующим типом поляризации. Данные протокола измерений студенты используют для дальнейшего построения графиков зависимости коэффициента отражения от угла падения излучения для двух состояний поляризации с помощью компьютерной программы.

III. ОБ ОПЫТЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА КОМПАНИИ «НАУЧНЫЕ РАЗВЛЕЧЕНИЯ» НА КАФЕДРЕ ФИЗИКИ ИМЕНИ В.А.ФАБРИКАНТА МОСКОВСКОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

За время сотрудничества кафедры с компанией накоплен определенный опыт работы с практикумом. Была более детально отработана методика выполнения лабораторных работ с учетом замечаний студентов, подготовлены дополнительные пояснения, фотографии отдельных элементов установок.

Особое внимание уделяется операции масштабирования (нормировки) отрезков, которое выполняется с помощью изображения, полученного с веб-камеры. Эта методика является общей для многих работ и отличается только деталями.

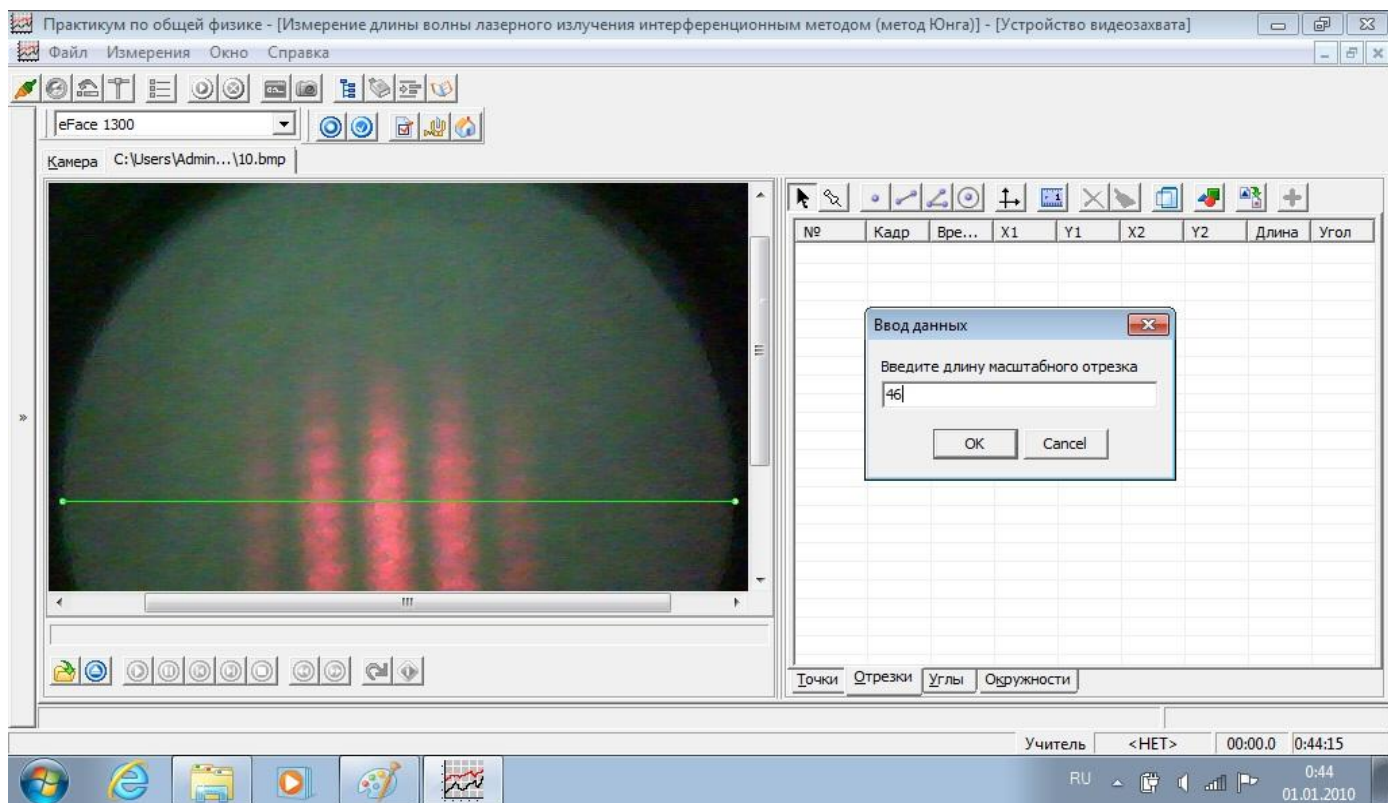


Рис. 2. Пример операции масштабирования (нормировки) отрезков с помощью изображения, полученного с веб-камеры

Так как студенты и школьники ранее не встречались на практике с технологией такого рода, у них иногда возникают затруднения, а также дополнительные вопросы.

Пример масштабирования отрезков показан на рис.2. Особенностью данной процедуры является программное сопоставление *реального* размера отрезка известной длины с размером того же самого отрезка, но полученного на изображении с помощью веб-камеры (нормировочного отрезка). В дальнейшем программа автоматически сопоставляет размеры всех рассматриваемых отрезков с длиной нормировочного отрезка.

Трудность масштабирования заключается в том, что в поле зрения веб-камеры не всегда можно разместить шкалу классической линейки. Поэтому необходимы такие объекты, расположенные в поле зрения камеры, размеры которых известны, (ими могут быть, например, отверстие в стойке бумажного экрана или какие-нибудь другие объекты). На рис. 2 показана операция нормировки отрезка с помощью изображения, полученного веб-камерой, где отрезком известной длины является диаметр просвета в стойке экрана, величина которого составляет 46 мм.

Студенты иногда путают размеры объектов, используемых для нормировки, с размерами интерференционной или дифракционной картины. Поэтому были подготовлены скриншоты окон компьютерной программы, где была отражена специфика

операции нормировки к каждой лабораторной работе (для тех работ, где эта операция присутствует).

На рис. 3 показан пример операции измерения отрезков неизвестной длины, которая выполняется при помощи масштабированного отрезка.

Опыт работы, проделанной сотрудниками кафедры по внедрению компьютеризированных лабораторных установок компании «Научные развлечения» обобщается. Часть работ практикума вошла в традиционно издаваемый в бумажном варианте сборник лабораторных работ по механике и молекулярной физике, который был издан в 2017 г. Другая часть работ практикума должна войти в следующие два сборника: по электричеству и магнетизму и по оптике. Эти сборники должны быть изданы в 2018 г. Наибольшая доля от всех работ компьютеризированного практикума приходится на лабораторию волновой и квантовой оптики. Авторы сборника по оптике сочли необходимым включить в него раздел, посвященный особенностям работы с компьютерной программой. В этот раздел включены материалы, поясняющий основные особенности работы с электронными датчиками и окнами и инструментами программы, а также метод нормировки отрезков в данной компьютерной программе. Поскольку в традиционных бумажных изданиях элементы лабораторных комплексов изображаются схематично, а из-за особенностей печати значительно теряется качество изображений скриншотов и фотографий как самих установок, так и их отдельных элементов, то планируется

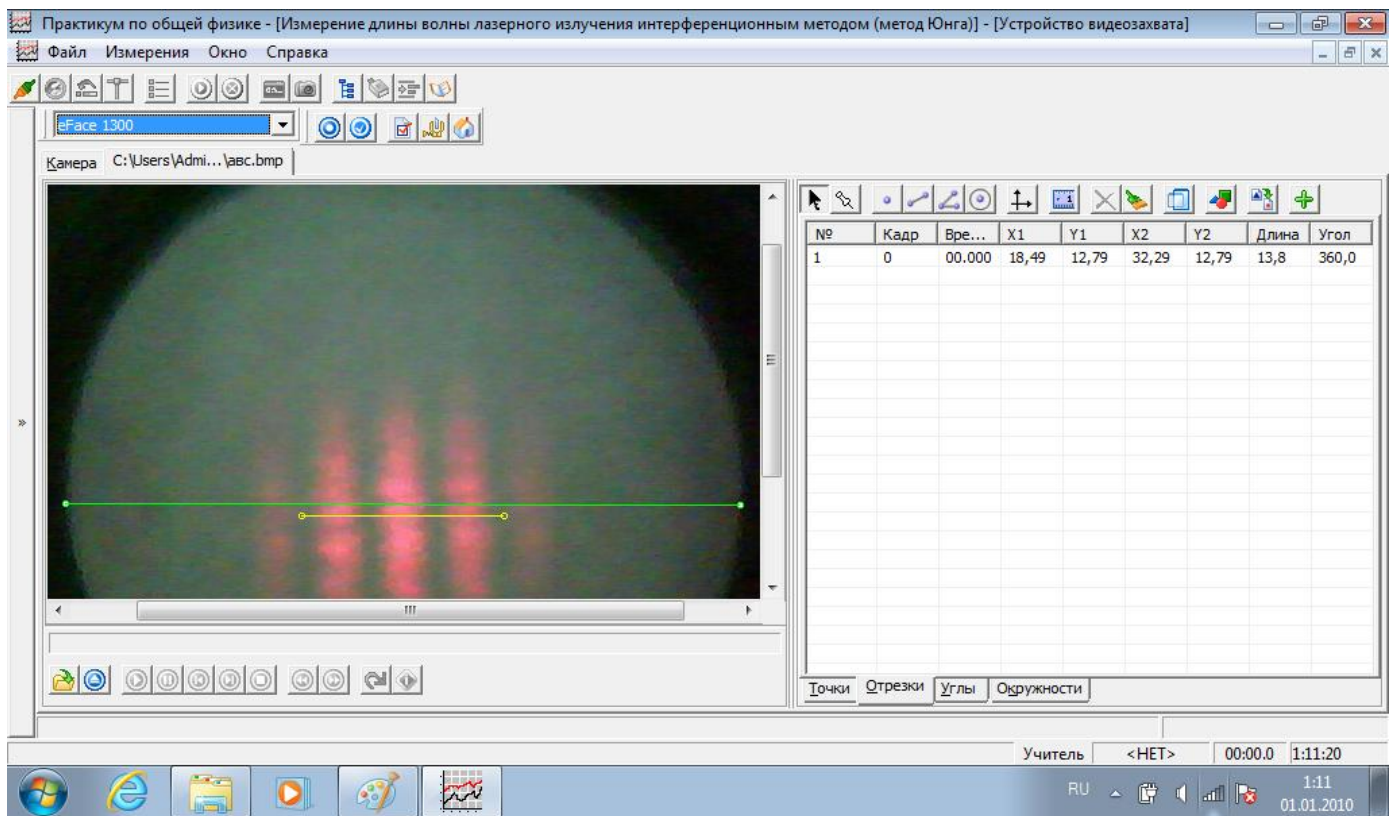


Рис. 3. Пример измерения (нормировки) отрезков неизвестной длины с помощью нормировочного отрезка

создание альбома приложений со скриншотами окон программы к каждой лабораторной установке, что позволит студентам и школьникам лучше понимать работу таких систем.

Такой подход в изложении методики выполнения работ практикума поможет, как студентам, так и школьникам, не только лучше усвоить саму методику эксперимента, но и более глубоко понять сущность исследуемых в эксперименте физических явлений. Как показывает опыт авторов, знание особенностей компьютерной программы позволяет сместить акцент в сторону более глубокого понимания студентами и школьниками исследуемых явлений и процессов, как при выполнении лабораторных работ, так и при обработке результатов измерений. Это, в свою очередь, облегчает анализ результатов работы и позволяет обучаемым сделать правильные обобщающие выводы по ее итогам.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На установках практикума с удовольствием работают не только студенты первого и второго курсов, изучающие курс общей физики, но и школьники, которые проходят предвузовскую подготовку. Определенный интерес проявляют к методике выполнения лабораторного практикума учителя физики школ и лицеев.

Стоит заметить, что при проведении летней практики школьников в ВУЗах использование изложенной выше методики выполнения работ практикума показало свою эффективность. Это имеет важное значение, так как зачастую школьники приходят на летнюю практику еще не имея соответствующей теоретической подготовки, но в то же время практически всегда справляются не только с выполнением работ, но и с оформлением по ним отчетов.

Имеющийся на кафедре опыт использования компьютеризированного лабораторного практикума по физике позволяет авторам надеяться, что его использование позволит улучшить качество образования, а заодно повысить интерес к изучаемому предмету, а в перспективе на базе уже имеющихся некоторых установок расширить вариативность эксперимента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Федеральная целевая программа развития образования на 2016-2020 годы
- [2] С.В. Григорьев, Л.Г. Лапина, О.В. Петрова, О.А. Поваляев, С.В. Хоменко, «Об опыте использования практикума ООО «Научные развлечения» на кафедре физики имени В.А.Фабриканта ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ»» Современный физический практикум, Сборник трудов XIV Международной учебно-методической конференции, г. Москва, 27-29 сентября 2016, Издательский дом Московского физического общества, Москва, 2016, стр.166-169.

Имитационное моделирование авиационной системы генерирования электроэнергии

А.А. Ефимов., С.Ю. Мельников

Кафедра управления в технических системах
Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения
Санкт-Петербург, Россия
efa33@mail.ru

А.Г. Гарганеев

Отделение электроэнергетики и электротехники
Национальный исследовательский Томский
политехнический университет
Томск, Россия
garganeev@rambler.ru

Аннотация — в докладе представлена разработанная в среде MATLAB/Simulink имитационная модель авиационной системы генерирования электроэнергии (АСГЭЭ), силовая часть которой содержит магнитоэлектрический генератор (МЭГ) и трехфазный активный преобразователь тока (АПТ).

Ключевые слова — генерирование электроэнергии; авиационная система электроснабжения; активный преобразователь тока; магнитоэлектрический генератор

I. ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития авиационных систем электроснабжения характеризуется использованием в перспективных разработках магнитоэлектрических генераторов с высокоэнергетическими постоянными магнитами и новейших достижений интеллектуальной силовой электроники, связанных с появлением мощных, высоковольтных силовых полупроводниковых приборов, специализированных сигнальных микроконтроллеров, позволяющих в реальном времени реализовать импульсно-модуляционные алгоритмы управления силовыми преобразователями электроэнергии.

Общеизвестно, что наилучшими удельными массогабаритными показателями обладают именно МЭГ, что и предопределяет их преимущественное применение в авиационных системах генерирования электрической энергии. Удельная масса генератора с возбуждением от постоянных магнитов может составлять $0,12 \div 0,06$ кг/кВт [1-3].

Одним из перспективных направлений в силовой электронике является создание схем активных преобразователей, позволяющих обеспечить одновременно с реализацией заданного качества выходных переменных, активное формирование режимов электропотребления из автономной питающей сети. Активные преобразователи обладают следующими уникальными свойствами, предопределяющими их перспективное применение в АСГЭЭ:

- двухсторонний обмен энергией с питающей сетью (т.е. способность активных преобразователей работать в режимах выпрямителя и инвертора), что определяет

возможность реализации электростартерного запуска первичного авиадвигателя;

- практически синусоидальный сетевой ток в режимах потребления и рекуперации энергии за счет реализации релейных или импульсно-модуляционных алгоритмов управления и применения замкнутых систем автоматического регулирования (САР);

- возможность регулирования не только коэффициента искажения сетевого тока, но и коэффициента сдвига, что обеспечивает полное управление в широких пределах коэффициентом мощности по входу полупроводникового преобразователя и реализацию его индуктивных, емкостных и единичного значений;

- обеспечение возможности сокращения потерь энергии в процессе ее преобразования за счет оптимизации релейных или импульсно-модуляционных алгоритмов управления силовыми полупроводниковыми преобразователями.

Интеграция МЭГ и интеллектуальных активных полупроводниковых преобразователей позволяет создать энергоэффективные АСГЭЭ, обладающие повышенными динамическими и энергетическими показателями.

Цель данной работы заключается в создании в среде MATLAB/Simulink и представлении имитационной модели АСГЭЭ, силовая часть которой содержит МЭГ и трехфазный АПТ.

Возможности МЭГ в АСГЭЭ изучены достаточно подробно, однако вопросы построения и применения АПТ, изучения их свойств, математического описания и синтеза систем управления разработаны в гораздо меньшей степени [4-13]. Следует отметить также, что в последние годы внимание к этим преобразователям существенно возрастает [14-20], но публикации по их применению в АСГЭЭ практически отсутствуют.

II. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Функциональная схема АСГЭЭ, соответствующая перспективной системе постоянного тока высокого напряжения 270 В, представлена на рис. 1.

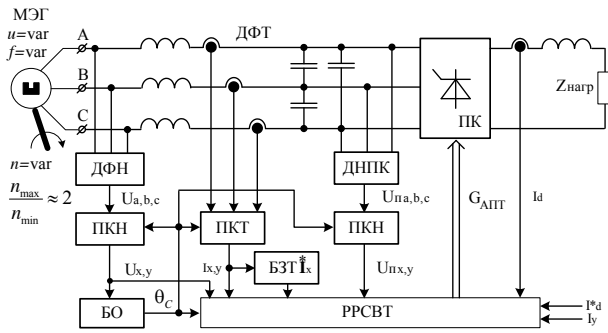


Рис. 1. Функциональная схема авиационной системы генерирования электроэнергии

Силовая часть её состоит из МЭГ и трехфазного АПТ. Информационная часть АСГЭЭ содержит систему автоматического регулирования (САР) трехфазного мостового АПТ, реализующую алгоритм единого разрывного регулятора сетевых и выходного токов (РРСВТ), работающего в скользящем режиме.

В силовой схеме АПТ блок полупроводникового коммутатора (ПК) представляет собой трехфазную мостовую схему, реализованную на полностью управляемых ключах с односторонней токовой проводимостью. Каждый ключ реализован, либо на GTO-тиристорах, либо на IGB-транзисторах с последовательно включенным диодом.

Для реализации анализируемого алгоритма работы в состав САР АПТ входят следующие датчики и блоки, представленные на рис. 1. Напряжение МЭГ и напряжение на входе ПК измеряются соответственно датчиками фазных напряжений ДФН и датчиками напряжений полупроводникового коммутатора ДНПК, а фазные токи – датчиками фазных токов ДФТ. Измеренные переменные с помощью двух преобразователей координат напряжений ПКН и преобразователя координат тока ПКТ преобразуются в двухфазную синхронно-вращающуюся с результирующим вектором питающего напряжения координатную систему $x-y$. Блок ориентации БО вычисляет угол поворота синхронно-вращающейся координатной системы θ_c относительно оси фазы А. Задание на активную составляющую задающего вектора сетевого тока I_x^* формируется по текущему состоянию, т.е. сетевой ток стабилизируется на уровне, который обеспечивает заданный выходной ток, который пропорционален I_x . Для получения его в САР включен блок задания тока БЗТ I_x^* , в котором реализовано усреднение текущего значения тока I_x фильтром первого порядка с постоянной времени T_x .

Силовой схеме АПТ соответствует его схема замещения, изображенная на рис. 2 [21-23]. Помимо ПК в его состав входит трехфазный сетевой фильтр с параметрами r_i, l_i, C_i ($i=a, b, c$), емкости которого преобразованы в эквивалентную звезду, а также индуктивный фильтр выходного тока l_d, r_d . Нагрузка представлена активным сопротивлением $r_{наг}$ и противо-

ЭДС $E_{наг}$, с емкостью $C_{наг}$. Питается АПТ от трехфазного МЭГ, частота вращения ротора которого меняется в диапазоне 12000...24000 об/мин, обеспечивая номинальное фазное напряжение 120 В, номинальная частота которого равна 400 Гц.

Условно-положительные направления токов силовой схемы АПТ соответствуют режиму работы её в качестве активного выпрямителя тока и отражают процесс преобразования энергии переменного тока МЭГ в энергию постоянного тока. В трехфазной мостовой схеме АПТ существует всего девять состояний, когда ток проводят только два ключа (один в анодной, другой в катодной группе).

Нумерация ключей стандартная (1, 3, 5 – в катодной, и 4, 6, 2 – в анодной группах). В зависимости от комбинации замкнутых ключей существует шесть ненулевых образующих векторов тока неизменной амплитуды, равной $I = \frac{2}{\sqrt{3}} i_d$ с фазовыми углами Θ_i , принимающими в неподвижной системе координат $\alpha-\beta$ дискретные значения: $\Theta_i = (2i-1)\frac{\pi}{6}$, где $i=1, 2, \dots, 6$ – номер сектора (рис. 3) [21-23].

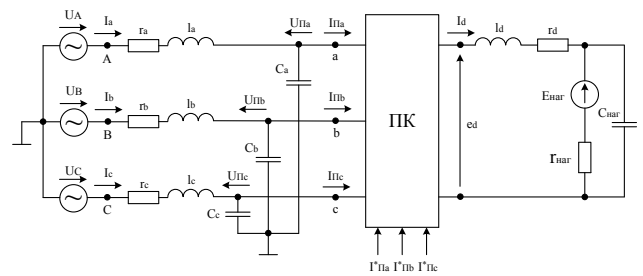


Рис. 2. Схема замещения АПТ в режиме выпрямителя

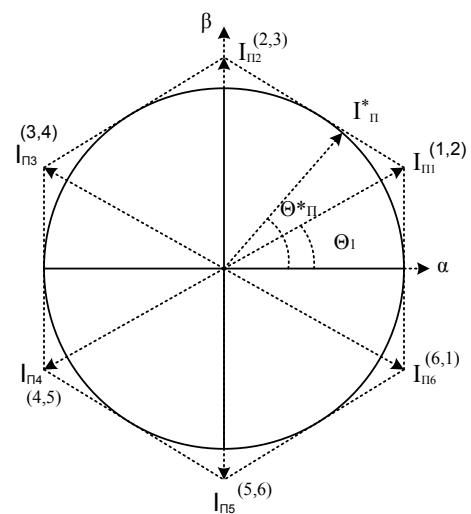


Рис. 3. Задающий вектор тока I_n^* и образующие векторы тока $I_{П(k)}$ ($k=1, 2, \dots, 6$) АПТ

Кроме того, в трехфазном АПТ существуют три нулевых образующих вектора сетевого тока, характеризующих одновременную проводимость ключей в одном из плеч ПК и соответствующих началу координат. Отсчет секторов начинается от вещественной оси α . Их номера совпадают с номером образующего вектора тока, расположенного в конце соответствующего сектора. Номера проводящих ключей у образующих векторов показаны в круглых скобках.

III. АЛГОРИТМ РАЗРЫВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СКОЛЬЗЯЩЕМ РЕЖИМЕ

Управление АПТ можно реализовать с помощью различных алгоритмов. В алгоритме векторной ШИМ АПТ [22, 23] среднее за период ШИМ значение вектора тока на входе ПК, равное модулю вектора задания \mathbf{I}_n^* , получается за счет использования двух ненулевых и одного нулевого образующих векторов, наиболее близких к требуемому среднему значению тока. В алгоритмах разрывного и прогнозирующего релейно-векторного (ПРВ) управления [5-9] на интервале дискретизации Δt (который также называется интервалом управления), реализуется только одно значение образующего вектора. При разрывном управлении выбор его заранее определен алгоритмом, а при ПРВ-управлении требуется поиск наиболее оптимального. Выбор необходимого для реализации образующего вектора в каждом из алгоритмов осуществляется по-разному, на основании своих правил [5, 6, 8, 9, 11-13, 22].

Отличие предложенного в данной работе алгоритма управления по сравнению с алгоритмом, представленным в работах [8, 9], заключается в организации регулирования в координатной системе x - y , вращающейся синхронно и синфазно с результирующим вектором сетевого фазного напряжения, что позволило реализовать единый РРСВТ, исключив пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор выходного тока АПТ. При этом идея метода разрывного управления [5, 8, 9] сохраняется, но скользящий режим создается по границе поверхности разрыва, заданной уравнениями $S_x=0$, $S_y=0$. Функции S_j , $j=x, y$ зависят от порядка системы и, в частности для LC -фильтра, имеющего второй порядок, определяются как линейная комбинация ошибки управления и её производной. При возникновении скользящего режима координаты ошибки и её производной стремятся к нулю с постоянной времени τ , величина которой выбирается при синтезе регулятора. При этом основная задача синтезируемого единого РРСВТ заключается в установлении такой последовательности переключения силовых ключей ПК, при которой потребляемые от МЭГ токи были бы близки к синусоидальным, регулировалась фаза входных токов относительно входных напряжений, а выходной ток стабилизировался на заданном уровне. Поверхность скольжения при этом определяется следующими выражениями функций переключения, которые следуют из дифференциальных уравнений, описывающих процессы во входной цепи

АПТ в синхронно-вращающейся координатной системе x - y [21-23]:

$$\begin{cases} S(e_x, e_{\theta_x}, t) = K_d(I_d^* - I_d) + K_i(I_x^* - I_x) + \\ + \tau_x \cdot (-\omega_c \cdot I_y^* - \frac{U_x - r_p \cdot I_x - U_{ix}}{l_p}) = 0; \\ S(e_y, e_{\theta_y}, t) = (I_y^* - I_y) + \\ + \tau_y \cdot (\omega_c \cdot I_x^* - \frac{U_y - r_p \cdot I_y - U_{iy}}{l_p}) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где: $I_x^* = \text{Re}(\mathbf{I}^*_n)$, $I_y^* = \text{Re}(\mathbf{I}^*_n)$; обозначенные заглавными буквами напряжения и токи – постоянные проекции результирующих векторов этих переменных на оси координатной системы x - y ; ω_c – угловая частота выходного напряжения МЭГ; K_d и K_i – коэффициенты, определяющие степень предпочтения в регулировании выходного и входного токов; τ_x , τ_y – параметры, зависящие от постоянной времени желаемой реакции входных токов и определяющие скорость затухания переходного процесса в скользящем режиме, выбранные равными $\tau_x = \tau_y = \tau = 0,00003$ с.

Для определения порядка включения силовых ключей используется следующее правило, аналогичное представленному в [8, 9]:

- если $S_x > 0$, то надо включить такие ключи, чтобы i_x увеличивался;
- если $S_x < 0$, то надо включить такие ключи, чтобы i_x уменьшался;
- если $S_y > 0$, то надо включить такие ключи, чтобы i_y увеличивался;
- если $S_y < 0$, то надо включить такие ключи, чтобы i_y уменьшался.

Данный набор правил, который образует алгоритм функционирования единого РРСВТ, можно представить таблицей 1. В ней указаны номера образующих векторов и ключей АПТ, которые необходимо включать в зависимости от номера сектора, в котором находится задающий вектор сетевого тока, и значений функций S_x и S_y , рассчитанных на текущем интервале управления.

Таблица 1. ВЫБОР ОБРАЗУЮЩЕГО ВЕКТОРА ПО НОМЕРУ СЕКТОРА И ЗНАКУ S_x и S_y .

Номер сектора	S_x	S_y	Вектор/ключи	Номер сектора	S_x	S_y	Вектор/ключи
1	<0	<0	4/4,5	4	<0	<0	1/1,2
	<0	>0	3/3,4		<0	>0	6/6,1
	>0	<0	6/6,1		>0	<0	3/3,4
	>0	>0	1/1,2		>0	>0	4/4,5
2	<0	<0	5/5,6	5	<0	<0	2/2,3
	<0	>0	4/4,5		<0	>0	1/1,2
	>0	<0	1/1,2		>0	<0	4/4,5
	>0	>0	2/2,3		>0	>0	5/5,6
3	<0	<0	6/6,1	6	<0	<0	3/3,4
	<0	>0	5/5,6		<0	>0	2/2,3
	>0	<0	2/2,3		>0	<0	5/5,6
	>0	>0	3/3,4		>0	>0	6/6,1

IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ АСГЭЭ В СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK

Для рассмотренной выше функциональной схемы АСГЭЭ и предложенного алгоритма управления была разработана соответствующая схема моделирования в среде MATLAB/Simulink (рис. 4).

Параметры МЭГ, используемого в модели, были выбраны следующими: номинальное фазное напряжение – 120 В; номинальная частота – 400 Гц; номинальная скорость вращения ротора – 12000 об/мин; диапазон изменения скорости вращения ротора – 12000...24000 об/мин; активное сопротивление фазы статора – 0,036 Ом; равные между собой индуктивности по осям d и q – 0,000535 Гн; число пар полюсов – 2.

АПТ моделировался идеальными ключами, последовательно с которыми были включены диоды. Параметры сетевого фильтра: $r_f=0,004$ Ом, $l_f=0,0003$ Гн, $C_f=1,0$ мкФ (звезда), ($i=a, b, c$). Параметры выходного дросселя: $l_d=0,005$ Гн, $r_d=0,5$ Ом, $r_{наг}=13,5$ Ом, $C_{наг}=50$ мкФ, $E_{наг}=0$ В.

РРСВТ, обозначенный на схеме моделирования как *Sliding_Control*, реализован в соответствии с (1), где $K_d=K_i=1$, и алгоритмом переключения ключей АПТ, представленным в табл. 1. Схема разработанного алгоритма РРСВТ представлена на рис. 5.

Для реализации этого алгоритма управления необходима информация о номере сектора, в котором находится вектор задания (задающий вектор) I_n^* . Эта информация получается с помощью блока определителя сектора *Det_Sect*, схема которого построена на определении фазы вектора задания и фиксации момента её превышения фазы образующих векторов входного тока АПТ, т.е. перехода вектора задания в следующий сектор. Блок *Det_Sect* определяет номер сектора в неподвижной системе координат, поэтому в блок *Sliding_Control* добавлен блок *xy-al_bet*, реализующий преобразование активной и реактивной составляющих задающего вектора тока из синхронно вращающейся координатной системы x - y в неподвижную систему координат α - β .

Разработанная имитационная модель АСГЭЭ позволяет проводить исследования различных режимов её работы. В случае постоянства сопротивления нагрузки РРСВТ, наряду с регулированием сетевых токов АПТ и их фазового сдвига относительно входных напряжений, обеспечивает регулирование выходного тока и выходного напряжения.

Для регулирования выходного напряжения, при изменении сопротивления нагрузки АПТ, в САР включен ПИ-регулятор напряжения нагрузки (*PI-reg_Unag*), настроенный на симметричный оптимум. Параметры его синтезированы при величине некомпенсируемой постоянной времени $T_u=0,0002$ с, величина которой определена в модели по переходной характеристике тока I_d при скачкообразном изменении сигнала задания I_d^* . Пропорциональная составляющая ПИ-регулятора равна 0,0625, интегральная 39,0625. Наряду с режимом стабилизации выходного

напряжения анализировался режим скачкообразного возрастания по амплитуде и частоте выходного напряжения МЭГ, а также его работа при скорости вращения ротора, равной 24000 об/мин, как при постоянном, так и меняющемся сопротивлении нагрузки.

Следует отметить, что во всех режимах работы был реализован единичный коэффициент сдвига входных фазных токов АПТ относительно его фазных напряжений при практически синусоидальной форме входных токов.

На рис. 6 и 7 представлены полученные в модели процессы во входной и выходной цепях АПТ, с регулятором напряжения нагрузки при $U^*d=270$ В, в режиме его подключения к МЭГ на частоте 400 Гц, скачкообразном переходе в момент времени $t=0,00125$ с на напряжение частотой 600 Гц, работе на этой частоте, и уменьшении вдвое сопротивления нагрузки с 13,5 Ом до 6,75 Ом в момент времени 0,00625 с.

На рис. 8 и 9. представлены полученные в модели процессы во входной и выходной цепях АПТ с регулятором напряжения нагрузки при $U^*d=270$ В в режиме его подключения к МЭГ на частоте 800 Гц и изменении в момент времени $t=0,005$ с сопротивления нагрузки с 13,5 Ом до 6,75 Ом.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Полученные результаты моделирования свидетельствуют об отличных динамических показателях работы разработанной АСГЭЭ и высокой точности стабилизации её выходного напряжения, как при изменении частоты вращения ротора МЭГ, так и сопротивления нагрузки АПТ. Длительности переходных процессов при подключении АПТ к МЭГ и при изменении сопротивления нагрузки в случаях работы на различных частотах выходного напряжения МЭГ не превышают 5...6 мс. Точность стабилизации выходного напряжения АПТ находится в пределах 1%.

2. Номинальный режим работы АПТ необходимо выбирать при номинальных параметрах выходного напряжения МЭГ, соответствующих нижнему значению диапазона изменения частоты вращения ротора МЭГ, т.к. АПТ позволяет регулировать его выходное напряжение в меньшую сторону при сохранении управления фазовым сдвигом токов и напряжений на своем входе.

3. Высокая частота переключения разрывного регулятора (десятки кГц) обуславливает выбор сверхмалого шага интегрирования (десятки наносекунд), что существенно увеличивает время интегрирования и требует применения быстродействующих компьютеров.

4. Направления дальнейших исследований связаны с необходимостью анализа энергетических показателей работы разработанной АСГЭЭ.

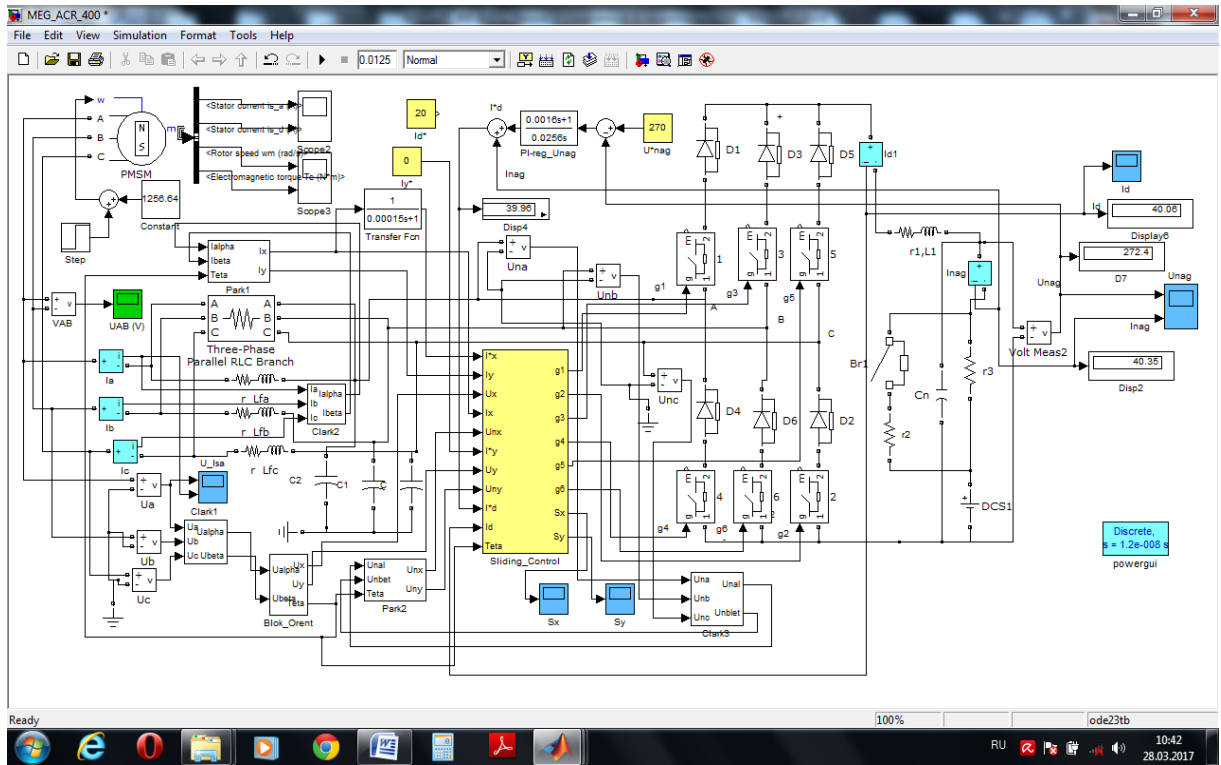


Рис. 4. Схема моделирования АСГЭЭ в среде MATLAB/Simulink

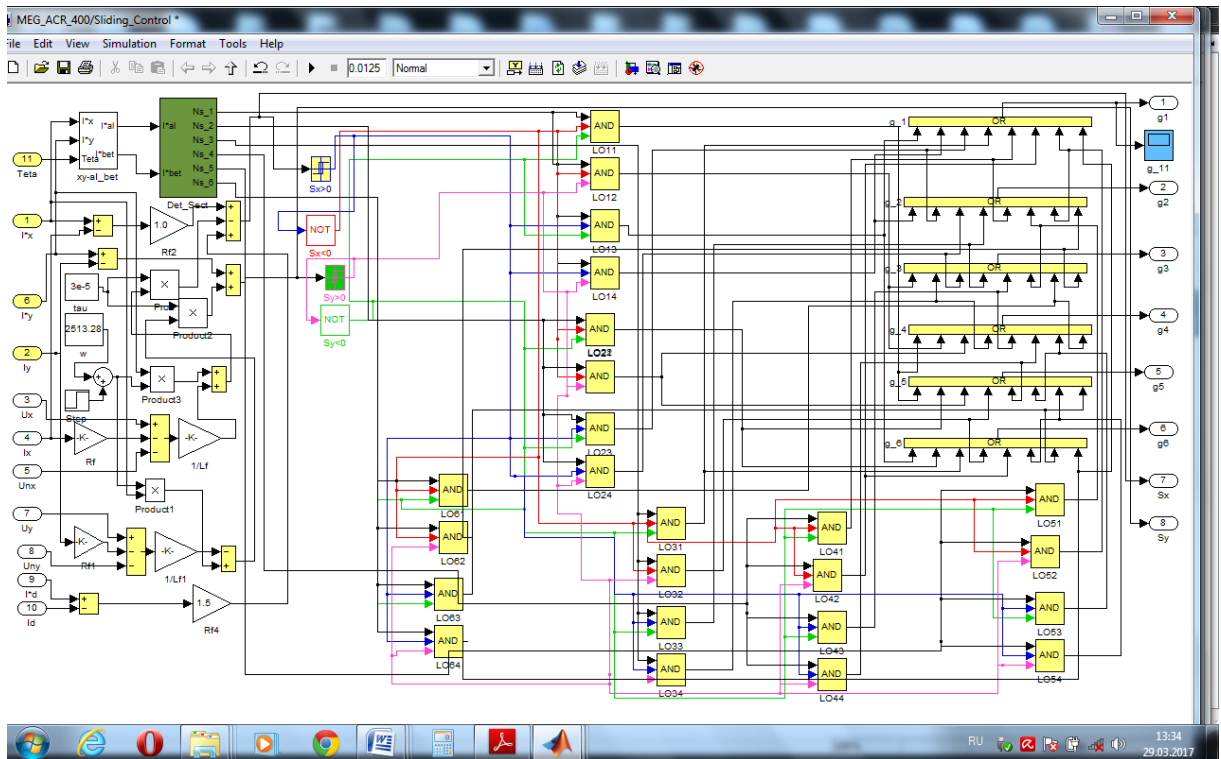


Рис. 5. Схема реализации в модели алгоритма PPCBT АИТ (Sliding_Control)

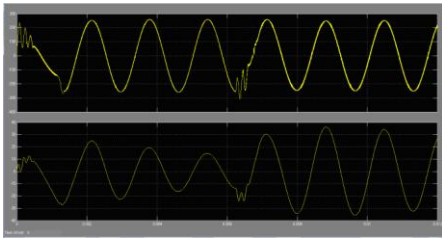


Рис. 6. Напряжение и ток фазы А МЭГ ($f=400$ и 600 Гц)

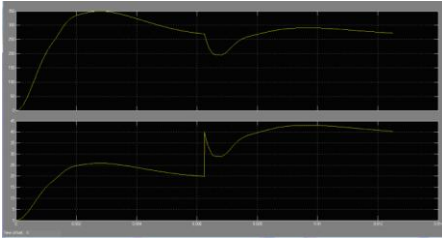


Рис. 7. Напряжение и ток нагрузки АПТ ($f=400$ и 600 Гц)

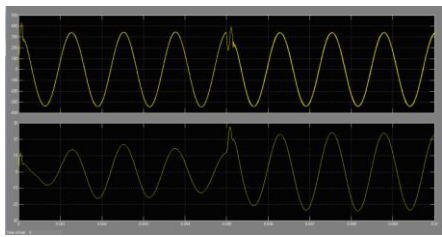


Рис. 8. Напряжение и ток фазы А МЭГ ($f=800$ Гц)

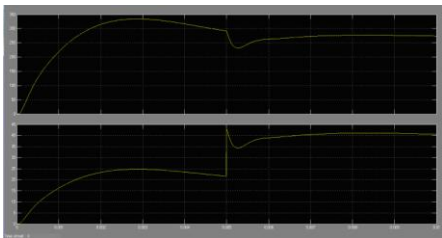


Рис. 9. Напряжение и ток нагрузки АПТ ($f=800$ Гц)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Гарганеев А. Г., Харитонов С.А. Перспективные системы электроснабжения самолета с полностью электрофицированным оборудованием. Доклады ТУСУРа. Томск: Изд-во ТУСУР. № 2(20), 2009. - С. 185-192.
- [2] Проектирование генератора с редкоземельными магнитами в системе электроснабжения летательных аппаратов /А. В. Левин, Д. В. Левин, Э. Я. Лившиц, Б. С. Зечихин. Электричество. № 10, 2009. С. - 41-47.
- [3] Функциональные системы летательных аппаратов. Электрическое и электронное оборудование: учебное пособие / А. Г. Гарганеев, Л. К. Бурулько, В. П. Петрович, А. П. Леонов. Томск: Изд-во ТПУ, 2016, - 240 с.
- [4] Doval – Gandoy J., Castro C., Penalver C. M. Dynamic and Steady – State Analysis of a Three Phase Buck Rectifier. Proceeding 9th International Conference on Power Electronics and Motion Control (EPE – PEMS 2000). 5 – 7 September 2000, Koshice, Slovak Republic, vol. 2, 2000. pp. 2-134-2-137.
- [5] Pires V. E., Fernando Silva J. Sliding Mode Current Controller for Three – Phase Single – State AC/DC Buck – Boost Converters. Proceeding 9th International Conference on Power Electronics and Motion Control (EPE – PEMS 2000). 5 – 7 September 2000, Koshice, Slovak Republic, vol. 2, 2000. pp. 1-151-1-156.
- [6] Шрейнер Р. Т., Ефимов А. А., Зиновьев Г. С., Корюков К. Н., Мухаматшин И. А., Калыгин А. И. Прогнозирующее релейно-векторное управление активными преобразователями частоты в системах электропривода переменного тока// Электротехника. 2004. № 10. С. 43-50.
- [7] Wiseman, J. C., Wu, B. Active Damping Control of a High-Power PWM Current-Source Rectifier for Line-Current THD Reduction. IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 52, no. 3, June 2005.
- [8] Ефимов А. А., Мухаматшин И. А. Управление активными преобразователями в системах электроснабжения и электропривода// Известия РАН. Энергетика. № 4. 2005. С. 91-112.
- [9] Шрейнер Р. Т., Ефимов А. А., Мухаматшин И. А. Релейное управление активными токовыми преобразователями частоты // Электротехника. № 9. 2005. С. 47-53.
- [10] Adzic M. S., Adzic E. M., Katic V. A. Space Vector Modulated Three-Phase Current Source Converter for DC Motor Drive. 14th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE-PEMS 2010), Macedonia, 2010. - pp. T5-52-T5-59.
- [11] Ефимов А. А. Управление активными преобразователями в составе электромеханических систем// Известия ГУАП. Аэрокосмическое приборостроение: науч. журнал. Выпуск 2. СПб.: ГУАП. 2012. С. 58-67.
- [12] Ефимов А. А., Косулин В. Д., Мельников С. Ю. Прогнозирующее релейно-векторное управление активными токовыми преобразователями// Информационно-управляющие системы: научный журнал. СПб.: ГУАП. 2014. № 4. С. 48-53.
- [13] Ефимов А. А. Управление активными преобразователями тока. Завалишинские чтения: Сб. докл. // СПб.: ГУАП. 2014. С. 61-67.
- [14] Волков А. Г. Многозонные электронные конверторы для автономных систем генерирования электрической энергии. Автореф. дисс...к.т.н. Новосибирск: НГТУ. 2016. 21с.
- [15] Ефимов А. А., Мельников С. Ю. Управление активным однофазным выпрямителем тока. Завалишинские чтения: Сб. докл.// СПб.: ГУАП. 2017. С. 157-162.
- [16] Michalik Jan, Molnar Jan, Peroutka Zdenek Optimal Control of Traction Single-Phase Current-Source Active Rectifier. 14th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE-PEMS 2010), Macedonia, 2010. - pp. T9-82-T9-88.
- [17] Choi D. Dynamic Performance Improvement of AC/DC Converter Using Model Predictive Direct Power Control With Finite Control Set, IEEE Trans. Ind. Electron, vol. 62, no. 2, 2015, pp. 757-767.
- [18] Zhang Y. Performance Improvement of Two Vectors Based Model Predictive Control of PWM Rectifier. IEEE Trans. Power Electron, vol. 31, no. 8, 2016, pp. 6016-6030.
- [19] Kwak S. Model-Predictive Direct Power Control With Vector Preselection Technique for Highly Efficient Active Rectifiers. IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 11, no. 1, 2015, pp. 44-52.
- [20] Tingting He, Li Li, Jianguo Zhu, Linfeng Zheng A novel model predictive sliding mode control for AC/DC converters with output voltage and load resistance variations. IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2016, pp. 422-431.
- [21] Ефимов А. А., Шрейнер Р. Т. Активные преобразователи в регулируемых электроприводах переменного тока. - Новоуральск: Изд-во НГТИ, 2001. - 250 с.
- [22] Шрейнер Р. Т., Ефимов А. А., Калыгин А. И. Математическое описание и алгоритмы ШИМ активных выпрямителей тока // Электротехника. 2000. №10. С. 42-49.
- [23] Shreiner R. T., Efimov A. A., Kalygin A. I. Active Current Converter Mathematical Model. 9th International Conference and Exhibition on Power Electronics and Motion Control (EPE PEMS-2000). 5 – 7 September 2000, Proceedings, Kosice, Slovakia, vol. 2, 2000. - pp. 2-188-2-193.

Концепция применения *MATLAB & Simulink* для учебно-исследовательской лаборатории электромеханики

Иванов А.С., Орешкин Д.Н.
ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»
Москва, Россия
ivanovals@mpei.ru, OreshkinDmN@mpei.ru

Мнев Р.Д., Жегалин Д.В.
ЦИТМ «Экспонента»
Москва, Россия
Roman.Mnev@exponenta.ru,
Denis.Zhegalin@exponenta.ru

Аннотация — В статье представлена концепция применения программного пакета математического моделирования *MATLAB & Simulink* в составе оборудования стендов для учебно-исследовательских лабораторий электромеханики. Представлены принципы модельно-ориентированного проектирования (МОП) и варианты его внедрения на примере исследования электрических машин.

Ключевые слова — *модельно-ориентированное проектирование; MATLAB & Simulink; учебная лаборатория; электромеханика; математическое моделирование*

1. ВВЕДЕНИЕ

Оснащение учебных заведений современными лабораториями является на сегодняшний день одной из основных задач. Важность этого отметил министр энергетики РФ А.В. Новак на заседании Попечительского совета НИУ «МЭИ» 12 января 2018 года. Он заявил в частности, что лаборатории должны комплектоваться компьютерными симуляторами современного оборудования для обучения студентов в условиях максимально приближенных к реальным [1].

Одной из базовых дисциплин в структуре обучения при подготовке специалистов по направлению «Электротехника и Электроэнергетика» является Электромеханика. Это связано с тем, что электрическая машина является основным элементом любой электромеханической системы, а в глобальной энергетике электрическая машина – главный источник электроэнергии.

Дисциплина «Электромеханика» включает в себя изучение основных типов электрических машин: асинхронных, синхронных, машин постоянного тока, машин с постоянными магнитами, линейных и других. На старших курсах при подготовке высококвалифицированных специалистов изучаются такие разделы как переходные процессы в электрических машинах, моделирование электрических машин и т.п.

Моделирование электрической машины необходимо при разработке системы автоматизации технологического

процесса, системы управления оборудованием электрической станции, оборудования летательных аппаратов и т.д. Современные электромеханические системы невозможно представить без системы управления, поэтому моделированием одной только электрической машины ограничиваться нельзя.

Задача специализированных кафедр Электромеханики – подготовка специалистов, готовых работать с машинами любых мощностей и типов, которые используются в электротехнической и энергетической отраслях. При этом выпускники должны обладать не только теоретическими знаниями, но и владеть практическими навыками. Для этого важно исследование реальных, а не виртуальных машин.

Как правило, большинство существующих учебных лабораторий оснащены машинами малой мощности (до 1 кВт), что позволяет изучить только принципы [2]. Специализированная же лаборатория Электромеханики должна предлагать возможность работать с машинами малой и средней мощности (от 0,1 до 5(7) кВт).

Более эффективное обучение достигается за счёт внедрения в образовательный процесс передовых технологий моделирования, обработки данных и визуализации. Данный подход может быть успешно реализован с помощью программного пакета математического моделирования *MATLAB & Simulink*.

Основная цель внедрения *MATLAB & Simulink* в работу учебных лабораторий – обучение студентов приёмам модельно-ориентированного проектирования (МОП), постепенно становящегося стандартом разработки в основных отраслях как отечественной, так и мировой промышленности (рис. 1). Модельно-ориентированный подход предполагает следующий фундаментальный порядок действий в любом проекте:

- Моделирование существующих элементов системы, при том что система может быть сколь угодно сложной;
- Проверка адекватности построенной модели;

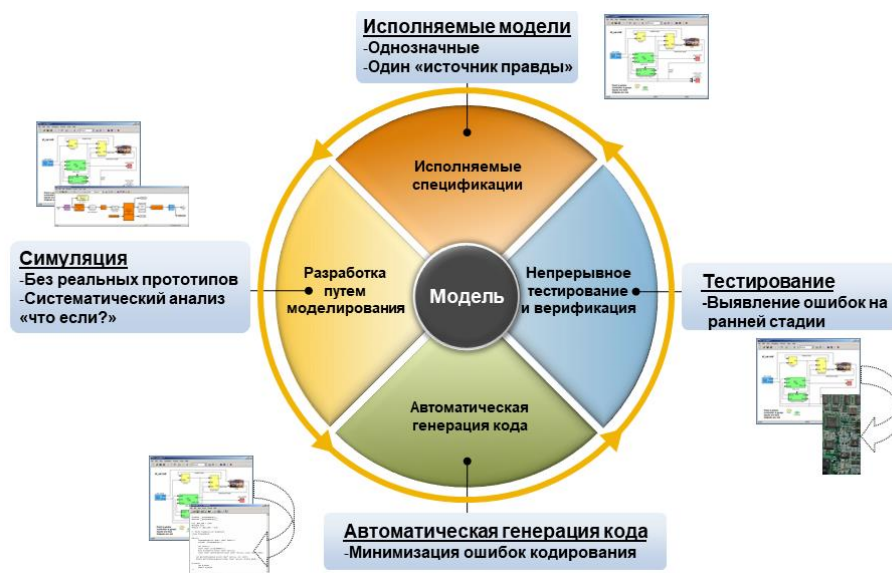


Рис. 1. Модельно-ориентированный подход

- Работа в виртуальной среде на базе построенных моделей, в т.ч. проектирование новых элементов системы;
- Переход к экспериментам на реальной системе.

II. МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В ПРОЕКТИРОВАНИИ

Применительно к лаборатории электромеханики этапы модельно-ориентированного подхода могут быть реализованы следующим образом.

1) Моделирование испытуемой электрической машины, системы питания и системы управления

Предварительное моделирование позволяет учащимся изучить принципы работы электрической машины, понять принципы моделирования и избежать грубых ошибок при работе с реальным оборудованием.

2) Верификация модели

Для верификации модели, то есть доказательства её применимости для конкретной задачи, необходимо снять экспериментальные данные в соответствующем режиме с реальной электрической машины и сравнить их с такими же данными, снятыми с виртуальной модели, а затем уточнить модель.

Этот этап наглядно демонстрирует разницу между номинальными (паспортными) данными машины и их фактическими значениями, включая и разброс параметров при сверке фактических параметров разных установок.

3) Серия экспериментов на модели с вариацией режимов работы, в т.ч. работа в динамических и аварийных режимах

При экспериментах на виртуальной модели становятся ясны режимы работы, критические либо запрёдные для данной машины, что позволяет ограничить рамки

эксперимента на реальной машине и не допустить её повреждения.

4) Повтор серии экспериментов или её части на реальной электрической машине

При сличении результатов экспериментов на виртуальной модели и на реальной установке, с одной стороны, видно, что ряд экспериментов можно проводить на модели, не задействуя реальное оборудование, а с другой стороны, становятся ясны ограничения данной конкретной модели.

III. РЕШЕНИЯ ПО ВНЕДРЕНИЮ МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В УЧЕБНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ НА БАЗЕ MATLAB & SIMULINK

A. Внедрение МОП в структуру имеющихся лабораторных работ

Имеющиеся лабораторные работы можно легко дополнить элементами МОП, показывающими удобство модельно-ориентированного подхода, а кроме того, упрощающими работу преподавателей. В зависимости от конкретной дисциплины глубина проработки моделей может варьироваться. Так, для общего курса лучше использовать упрощённые модели, на которых более наглядно видны базовые принципы работы электрических машин. Для профильных курсов, в том числе магистратуры и аспирантуры, целесообразно использовать более подробные модели, учитывающие специфические явления, что позволит не только более глубоко изучать работу устройств, но и составлять модели вновь разрабатываемых устройств.

Существует несколько вариантов внедрения моделирования в имеющиеся лабораторные работы.

1) Вариант 1. Предварительное моделирование схемы эксперимента в виртуальной среде MATLAB & Simulink,

когда модели машин подготовлены заранее, а учащемуся нужно только правильно собрать схему и задать параметры моделируемого устройства. Правильная работа схемы в виртуальной среде служит частью допуска к работе на реальном оборудовании.

2) *Вариант 2.* Обработка и сравнение данных с реального оборудования и данных, полученных ранее на модели. Объяснение различий между моделью и практикой служит частью защиты лабораторной работы.

3) *Вариант 3.* Косвенный расчёт параметров и характеристик в тех случаях, когда прямое измерение затруднено или невозможно (отсутствует датчик, сложное либо дорогое измерительное оборудование). Пример такого расчёта – угол нагрузки синхронной машины. Угол нагрузки является одной из основных величин, характеризующих работу машины, однако датчики измерения угла нагрузки серийно не изготавливаются, а в практике эксплуатации этот показатель используется редко. Расчёт при этом базируется на предварительно составленной модели машины.

4) *Вариант 4.* Проведение экспериментов в заранее подготовленной виртуальной среде в том случае, если реальное оборудование занято или находится в ремонте.

В. Создание новых лабораторных работ

При комплексном изучении электромеханической системы лабораторные работы должны представлять собой единый цикл, в котором результаты одной работы используются как исходные данные для следующей. Примером подобного подхода является следующий план лабораторных работ.

1) Моделирование электрической машины, подбор параметров

Любые расчёты, связанные с электрической машиной, требуют знания тех или иных её параметров. Однако очень часто параметры напрямую не указываются, а паспортные данные, на основе которых можно было бы эти параметры рассчитать, могут быть либо недоступны, либо неточны (например, в силу «ухода» параметров со временем). В этой ситуации решением может стать математическое моделирование: построение модели с приближёнными параметрами, проведение одного и того же эксперимента на реальной установке и на модели, уточнение параметров машины по результатам эксперимента.

MATLAB & Simulink предлагает простые и удобные инструменты для построения модели машины вместе с её окружением (механической системой, системой управления и системой питания), а также для уточнения параметров в автоматизированном режиме (инструмент *Parameter Estimation*). Кроме того, возможно использование специальных средств на базе *Simulink* для регистрации параметров работы машины. В качестве таковых может быть использовано как общепромышленное измерительное оборудование (например, производства *National Instruments*), так и

специализированное, спроектированное на базе микроконтроллеров, ПЛИС или компьютера реального времени, а также наборы инструментов *Data Acquisition Toolbox* и *Instrument Control Toolbox*.

2) Проектирование устройств системы управления (на примере регулятора возбуждения)

Примерами решения могут быть проектирование регулятора возбуждения, устройства синхронизации синхронного генератора, системы управления асинхронного генератора с вентильным возбуждением и т.п.

Работа синхронных машин, особенно генераторов, в реальных условиях невозможна без регулятора возбуждения. Разработка алгоритмов таких регуляторов является предметом как инженерных изысканий, так и научно-исследовательских работ. В связи с этим демонстрация возможностей автоматизированного построения и отладки регуляторов возбуждения представляется актуальной задачей обучения.

После того, как в рамках первых лабораторных работ были построены точные модели объекта управления – электрической машины, разработку регулятора возбуждения можно вести полностью на виртуальной модели.

Настройка регулятора установившегося режима может быть проведена в автоматизированном режиме. Построение полного регулятора, обеспечивающего как статические, так и динамические режимы (пуск, выход на режим, аварии, останов), реализуется при помощи метода конечных автоматов. Реализация метода конечных автоматов такова, что позволяет легко включить в себя ранее построенный регулятор установившегося режима.

В качестве дополнения к лабораторной работе есть возможность подключить компьютер с *MATLAB & Simulink* в качестве регулятора к реальной машине и запустить разработанный алгоритм (технология быстрого прототипирования) (рис. 2).

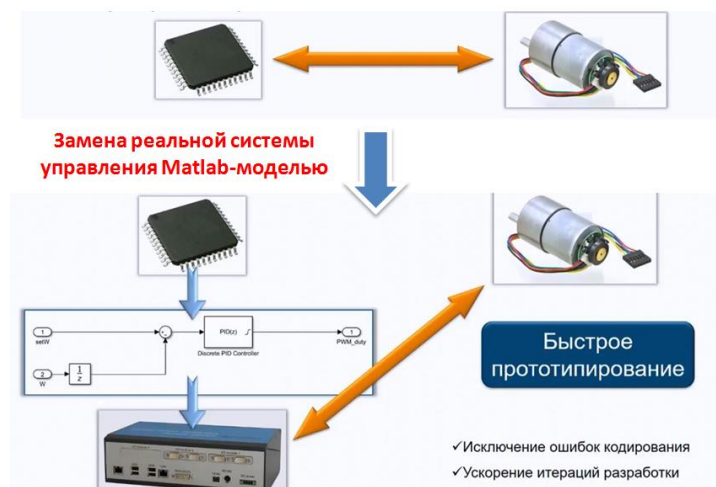


Рис. 2. Технология быстрого прототипирования

Типовые расчётно-экспериментальные задания и исследовательские работы студентов в курсе робототехники

Капустина О.М., Цыганов Д.А.
Энергомашинностроительный институт
НИУ “МЭИ”
Москва, Российская Федерация

Аннотация — Представлена постановка и методика выполнения расчётно-экспериментального задания для студентов робототехнических специальностей при изучении кинематики роботов. В расчёте с помощью программы Mathematica подбираются параметры локации рабочего органа и координаты платформы кинематически избыточного мобильного манипулятора KUKA youBot, при которых существуют решения обратной задачи кинематики. Строится компьютерная модель робота в конфигурациях, соответствующих найденным точным решениям обратной задачи кинематики. Затем реальный робот выставляется в те же позиции. Проводится сравнение результатов численного и натурального эксперимента. Программа симулятор на языке Mathematica и управляющая программа C++, реализующая кинематику KUKA youBot, разработаны в рамках исследовательской работы студентов.

Ключевые слова—расчётно-экспериментальное задание; робототехника; кинематическая избыточность; обратная задача кинематики; мобильный манипулятор; KUKA youBot

I. ВВЕДЕНИЕ

При планировании движений и управлении роботами решается обратная задача кинематики [1, 2]. Трудность решения определена нелинейностью уравнений, их зависимостью, возникающей в некоторых “сингулярных” конфигурациях механизмов, техническими ограничениями на значения обобщённых координат и другими особенностями. Точное аналитическое решение существует лишь для некоторых роботов [2], в остальных случаях решение находится численными методами. Для кинематически избыточных механизмов число уравнений меньше числа искомого неизвестных, что приводит к существованию множества решений. Выполнение самостоятельных типовых расчётно-экспериментальных заданий и исследований по решению задач кинематики роботов способствует лучшему пониманию существа проблем и способам их преодоления.

Для этих целей особенно удобен предназначенный для использования в образовательных и исследовательских целях мобильный манипулятор KUKA youBot [3] на рис. 1, представляющий собой управляемую платформу с четырьмя меканум колёсами всенаправленного движения,

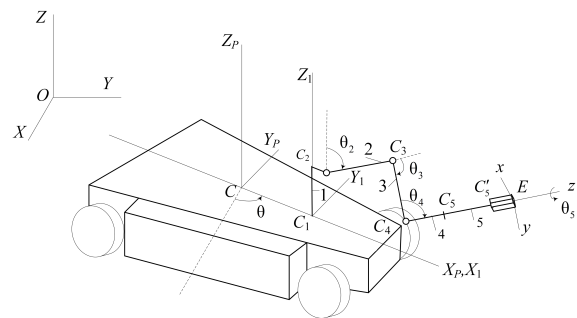


Рис. 1. Схема мобильного манипулятора KUKA youBot

на которой установлен снабжённый схватом пятиосный манипулятор. KUKA youBot является кинематически избыточным механизмом, обратная задача кинематики которого имеет бесконечно много решений, Эти решения допускают представление в точной аналитическое форме [4–7]. Для описания множества решений могут быть приняты параметры расположения платформы относительно рабочего органа [4] или абсолютные обобщённые координаты платформы [6, 7]. В последнем случае становится возможным применение общих методов исследования кинематики и динамики механических систем. В частности, построение и исследование матрицы Якоби отображения пространства обобщённых координат робота в пространство параметров локации его рабочего органа. В рассматриваемых заданиях принято описание [6, 7].

Выбранная для построения программ симуляторов [8–10] система Mathematica предоставляет широкие возможности в создании математических моделей произвольного вида различных объектов, а также визуализации этих моделей [11].

II. ОПИСАНИЕ ТИПОВОГО РАСЧЁТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗАДАНИЯ

A. Кинематическая схема KUKA youBot и системы координат

Мобильный манипулятор KUKA youBot, на рис. 1 состоит из установленных на платформе пяти

последовательно соединённых звеньев, связанных в точках C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 соединениями вращательного типа с платформой и между собой.

Введём системы координат:

$OXYZ$ – неподвижная, абсолютная, ось OZ вертикальна, горизонтальная плоскость OXY расположена в плоскости верхнего основания платформы;

$CX_P Y_P Z_P$ – подвижная, жёстко связанная с платформой, C – фиксированная точка верхнего основания платформы, ось CZ_P вертикальна;

$Exyz$ – жёстко связана со схватом, вращается вокруг оси C_5z ;

$C_1X_1Y_1Z_1$ – вращается вокруг вертикальной оси C_1Z_1 вместе со звеном 1, ось C_1X_1 направлена от оси C_1Z_1 к проекции точки C_2 на плоскость OXY .

Обозначим:

h – расстояние между точками C и C_1 ; a_1 – расстояние между точкой C_1 и проекцией точки C_2 на горизонтальную плоскость; d_1 – расстояние между точкой C_1 и проекцией точки C_2 на вертикальную ось C_1Z_1 , $a_2 = \overline{C_2C_3}, a_3 = \overline{C_3C_4}, a_4 = \overline{C_4C_5}, a_5 = \overline{C_5C'_5}, a_6 = \overline{C'_5E}$.

Положение платформы и руки манипулятора определим с помощью обобщённых координат $X_C, Y_C, \theta, \theta_i, i=1-5$, X_C, Y_C – координаты точки C относительно осей OX, OY , θ – угол между осями OX и CX_P , θ_1 – угол между осями CX_P и C_1X_1 , θ_2 – угол от оси C_1Z_1 до вектора $\overline{C_2C_3}, \theta_3$ – угол от вектора $\overline{C_2C_3}$ до вектора $\overline{C_3C_4}, \theta_4$ – угол от вектора $\overline{C_3C_4}$ до вектора $\overline{C_4C_5}, \theta_5$ – угол поворота звена 5 вокруг оси C_5z .

За положительное направление отсчёта углов в координатных плоскостях $OXY, C_1X_1Z_1, Exyz$ примем направление против часовой стрелки, если смотреть из положительного направления осей OZ, C_1Y_1, C_5z . Числовые значения углов должны удовлетворять техническим ограничениям [3]:

$$\begin{aligned} -169^\circ \leq \theta_1 \leq 169^\circ, -65^\circ \leq \theta_2 \leq 90^\circ, -151^\circ \leq \theta_3 \leq 146^\circ, \\ -102,5^\circ \leq \theta_4 \leq 102,5^\circ, -167,5^\circ \leq \theta_5 \leq 167,5^\circ. \end{aligned} \quad (1)$$

В. Решение обратной задачи кинематики

В задании требуется решить обратную задачу кинематики, В этой задаче считается известной матрица

$$\mathbf{R} = (r_{ij}), i=1-3, j=1-3,$$

перехода от базиса системы координат $OXYZ$ к базису системы координат $Exyz$. Предполагаются известными координаты X_E, Y_E, Z_E точки E относительно системы координат $OXYZ$. Координаты X_E, Y_E, Z_E и параметры, определяющие элементы $r_{ij}, i=1-3, j=1-3$, матрицы \mathbf{R} , назовём параметрами локации рабочего органа.

Как показано в [7] углы $\theta_i, i=1-5$, могут быть выражены через эти параметры и обобщённые координаты платформы.

Из уравнения горизонтальной прямой, совпадающей с осью C_1X_1 , получается [6, 7] уравнение, связывающее параметры локации рабочего органа и обобщённые координаты платформы:

$$\frac{X_C + h \cos \theta - X_E}{r_{13}} = \frac{Y_C + h \sin \theta - Y_E}{r_{23}}. \quad (2)$$

Из (2) видно, что при заданных параметрах локации рабочего органа любые две обобщённые координаты платформы могут быть приняты за свободные параметры, а оставшаяся третья зависит от них в силу (2). Если ось Ez вертикальна, то

$$\begin{cases} r_{13} = 0, \\ r_{23} = 0, \end{cases} \quad (3)$$

положение оси C_1X_1 не определяется параметрами локации рабочего органа. В таком случае направляющие косинусы оси C_1X_1 в знаменателях дробей (2) следует задавать произвольно.

В [7] показано, что фиксированным значениям параметров локации рабочего органа и каких-либо двух обобщённых координат платформы соответствуют не более четырёх решений обратной задачи кинематики, удовлетворяющих (1). Исключение составляет случай (3), когда имеется бесконечно много решений.

В задании в качестве свободных параметров рассматриваются обобщённые координаты платформы X_C, θ .

Разработана программа Mathematica [8, 9], вычисляющая значения углов $\theta_i, i=1-5$, и координату Y_C платформы согласно формулам [6, 7] по обобщённым координатам платформы X_C, θ и параметрам локации рабочего органа $\psi, \theta_E, \varphi, X_E, Y_E, Z_E, \psi, \theta_E, \varphi$ – углы Эйлера, определяющие ориентацию базиса системы координат $Exyz$ относительно базиса абсолютной системы $OXYZ$.

Создана также программа [10] Mathematica, строящая по числовым значениям $X_C, \theta, \psi, \theta_E, \varphi, X_E, Y_E, Z_E$ трёхмерный образ KUKA youBot на экране компьютера.

С. Формулировка задания

В задании требуется:

1. С помощью программы [8, 9] подобрать значения $\psi, \theta_E, \varphi, X_E, Y_E, Z_E, X_C, \theta$, для которых существуют решения обратной задачи кинематики, удовлетворяющие техническим ограничениям (1). Найти эти решения.

2. Используя программу [10] Mathematica, построить трёхмерное изображение KUKA youBot, отвечающее найденным решениям.

3. Выставить робот KUKA youBot в позиции согласно полученным решениям.

4. Сравнить результаты компьютерного и натурального моделирования.

III. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Согласно техническому описанию KUKA youBot [3]: $h=151$ мм, $d_1=147$ мм, $a_1=33$ мм, $a_2=155$ мм, $a_3=135$ мм, $a_4=81$ мм, $a_5=90$ мм, $a_6=47$ мм.

Обратившись к программе [8, 9], найдём подбором числовые значения параметров локации p абочего органа: $\psi=189,360^\circ$, $\theta_E=42,480^\circ$, $\varphi=5,730^\circ$, $X_E=150$ мм, $Y_E=-208$ мм, $Z_E=526$ мм, при которых обратная задача кинематики KUKA youBot имеет удовлетворяющие ограничениям (1) четыре решения:

$$Y_C = -627,533 \text{ мм}, \theta_1^{(1)} = -26,664^\circ, \theta_2^{(11)} = 0,714^\circ, \quad (4)$$

$$\theta_3^{(11)} = 61,358^\circ, \theta_4^{(11)} = -19,59^\circ, \theta_5^{(1)} = 95,73^\circ,$$

$$Y_C = -627,533 \text{ мм}, \theta_1^{(1)} = -26,664^\circ, \theta_2^{(12)} = 57,384^\circ, \quad (5)$$

$$\theta_3^{(12)} = -61,358^\circ, \theta_4^{(12)} = 46,455^\circ, \theta_5^{(1)} = 95,73^\circ,$$

$$Y_C = -627,533 \text{ мм}, \theta_1^{(2)} = 153,336^\circ, \theta_2^{(21)} = -47,628^\circ, \quad (6)$$

$$\theta_3^{(21)} = 15,051^\circ, \theta_4^{(21)} = -9,903^\circ, \theta_5^{(2)} = -84,27^\circ,$$

$$Y_C = -627,533 \text{ мм}, \theta_1^{(2)} = 153,336^\circ, \theta_2^{(22)} = -33,621^\circ, \quad (7)$$

$$\theta_3^{(22)} = -15,051^\circ, \theta_4^{(22)} = 6,191^\circ, \theta_5^{(2)} = -84,27^\circ.$$

С помощью программы [10] Mathematica, созданной в рамках студенческой исследовательской работы, строятся компьютерные модели робота, отвечающие решениям (4) – (7). Эти модели представлены на рис. 2, а, рис. 3, а, рис. 4, а, рис. 5, а.

Реальный робот выставляется в позиции, отвечающие решениям (4)–(7). Фотографии робота представлены на рис. 2, б, рис. 3, б, рис. 4, б, рис. 5, б.

Подобие конфигураций компьютерной модели и реального робота на рис. 2–рис. 5 подтверждает правильность найденных решений (4)–(7).

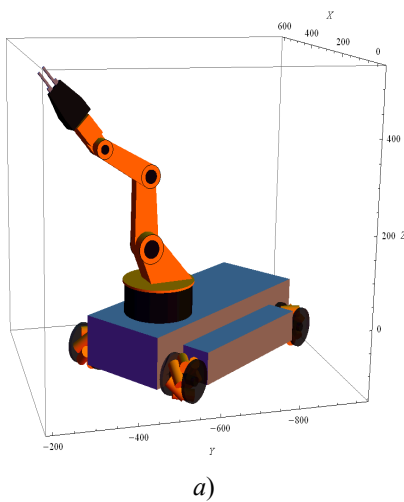


Рис. 2. KUKA youBot в положении, соответствующем решению (4): а – компьютерная модель робота, б – реальный робот

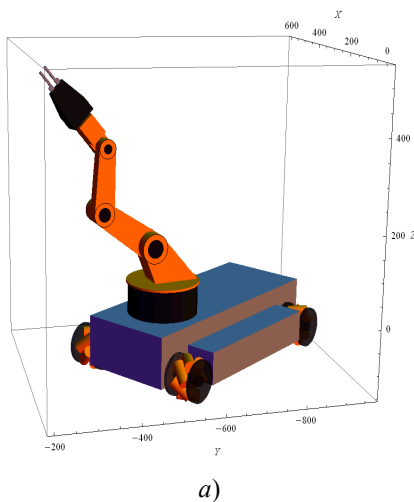
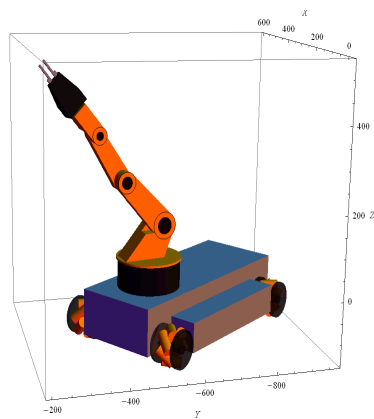


Рис. 3. KUKA youBot в положении, соответствующем решению (5): а – компьютерная модель робота, б – реальный робот

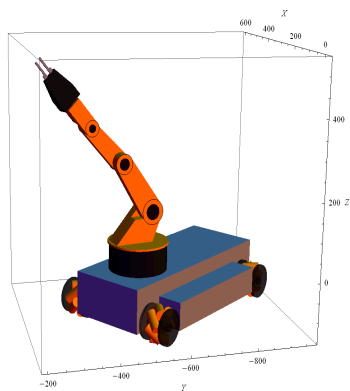


a)



b)

Рис. 4. KUKA youBot в положении, соответствующем решению (6): a — компьютерная модель робота, b — реальный робот



a)



b)

Рис. 5. KUKA youBot в положении, соответствующем решению (7): a — компьютерная модель робота, b — реальный робот

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения расчётно-экспериментальных заданий и исследований студенты знакомятся с проблематикой различных разделов робототехники, получают навыки аналитического, компьютерного, натурного моделирования, что помогает им лучше разобраться в сложных вопросах кинематики и динамики управляемого движения роботов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 16-01-00429 А.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

[1] Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Основы управления манипуляционными роботами // М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 478 с.
 [2] Springer Handbook of Robotics // ed. by Siciliano B., Khatib O., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
 [3] <http://www.youbot-store.com/>
 [4] Sharma S., Kraetzschmar G., Scheurer C. Unified Closed Form Inverse Kinematics for the KUKA youBot // Proceedings of ROBOTIK / 7-th German Conference on Robotics, 2012. P. 1-6.

[5] Brandstötter M., Angerer A., Hofbauer M. An Analytical Solution of the Inverse Kinematics Problem of Industrial Serial Manipulators with an Ortho-parallel Basis and a Spherical Wrist // Proceedings of the Austrian Robotics Workshop, 2014. P. 7-11.
 [6] Капустина О.М. Описание множества точных решений обратной задачи кинематики робота KUKA youBot с помощью обобщённых координат его платформы // Естественные и технические науки. 2016. №12 (102). С. 176–180.
 [7] Капустина О.М. Аналитическое решение обратной задачи кинематики Kuka youBot, параметризованное обобщёнными координатами его платформы // В кн.: Экстремальная робототехника. Труды Международной научно-технической конференции. Санкт-Петербург: ИПЦ ООО «Политехника-принт», 2017. С. 47-52.
 [8] Капустина О.М. Программа для расчёта точного решения обратной задачи кинематики KUKA youBot // программа ЭВМ / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017612009, Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент), 14.02.2017.
 [9] Капустина О.М. Компьютерное моделирование точного решения обратной задачи кинематики робота KUKA youBot // Естественные и технические науки. 2017. №12 (114). С. 287-292.
 [10] Капустина О.М., Цыганов Д.А. Компьютерное графическое представление множества точных решений обратной задачи кинематики мобильного манипулятора // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцать третья Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (2—3 марта 2017 г., Москва): Тез. докл. В 3 т. Т. 3. М.: Издательский дом МЭИ, 2017. С. 304.
 [11] Kapustina O., Martynenko Y. One-Wheeled Robot-Gyrostат // <http://demonstrations.wolfram.com/OneWheeledRobotGyrostат/>

Подготовка специалистов в области дистанционного зондирования на базе оборудования и программного обеспечения Центра космического мониторинга

Коберниченко В.Г., Иванов О.Ю., Сосновский А.В.

Институт радиоэлектроники и информационных технологий - РтФ
ФГАО ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
г. Екатеринбург, Россия

Аннотация — Рассматривается состав, назначение и методики применения электронных образовательных ресурсов, созданных на базе программных и аппаратных средств Центра космического мониторинга.

Ключевые слова — Дистанционное зондирование Земли, электронные образовательные ресурсы, обработка изображений, активное обучение

I. ВВЕДЕНИЕ

Научно-технические достижения последних двадцати лет в области создания и развития космических систем, развитие съемок с беспилотных летательных аппаратов многократно расширили круг задач, решаемых с помощью дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Современное состояние дистанционных съемочных систем характеризуется повышением разрешающей способности оптических и радиолокационных космических снимков до уровня 0,5 м, распространением гиперспектральных снимков, широким использованием радиоинтерферометрических и поляриметрических методов. Данные дистанционного зондирования Земли стали доступны широкому кругу пользователей и активно применяются для решения самых различных задач. К ним относятся: автоматическое обнаружение и дешифрирование объектов, мониторинг территорий для оценки развития как природных, так и антропогенных процессов в различных масштабах и с различной точностью (исследования ландшафтов, морских акваторий, мегаполисов, городов, лесов, состояния сельскохозяйственных земель), построение цифровых моделей местности, оценка смещений земной поверхности и др. [1,2]. Квалифицированный специалист, решающий вышеперечисленные задачи должен владеть основами теоретических и практических знаний в области

уже существующих технологий обработки и применения данных ДЗЗ [3].

В Уральском федеральном университете (УрФУ) изучение методов и технологий дистанционного зондирования реализовано на базе оборудования и программного обеспечения учебно-научного Центра космического мониторинга [4], функционирующего с 2011 г. В настоящей статье описывается опыт этой подготовки.

II. ИНСТРУМЕНТАЛЬНО-ПРОГРАММНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

С целью эффективного использования в образовательных программах всех уровней (бакалавриат, специалитет, магистратура, дополнительное профессиональное образование) новейшего научного оборудования, аппаратного и программного обеспечения в УрФУ создан новый вид электронных образовательных ресурсов — инструментально-программные методические комплексы (ИПМК).

ИПМК «Обработка сигналов и изображений в радиоэлектронных системах дистанционного зондирования Земли» базируется на следующем оборудовании и специальном программном обеспечении Центра космического мониторинга (ЦКМ):

- наземная станция приема и обработки космической информации «УниСкан-24»;
- терминалы первичной обработки данных с космических аппаратов (КА) Terra, Aqua, SPOT, «Метеор», RADARSAT;
- комплекс тематической обработки космических радиолокационных снимков;
- комплекс тематической обработки космических спектральных снимков;

- программные комплексы обработки данных дистанционного зондирования Земли: ScanEx Image Processor, PHOTOMOD-RADAR, ENVI, ERDAS Imagine, SARscape;
- ГИС ArcInfo, MapInfo.

Установленное оборудование и специализированное программное обеспечение ЦКМ включает набор инструментов для проведения полного цикла работ с материалами ДЗЗ: от приема данных со спутников, получения и обработки космических изображений, включая ортотрансформирование, геопривязку, до построения тематических карт и интеграции с данными ГИС.

Обработка и применение данных ДЗЗ базируются на результатах, полученных в самых различных областях науки и технологий, поэтому одна из главных задач ИПМК – практическая реализация междисциплинарных связей. Методический комплекс обеспечивает 9 дисциплин для образовательных программ подготовки бакалавров и магистров: «Основы дистанционного зондирования Земли», «Радиоэлектронные системы ДЗЗ», «Обработка данных ДЗЗ», «Спутниковые технологии в геофизике», «Цифровые модели местности», «Цифровая обработка изображений», «Современные программно-инструментальные средства обработки сигналов и изображений», «Нелинейная фильтрация сигналов и изображений», «Научно-исследовательская работа».

В состав комплекса входят:

- Лекционные презентации по всем указанным выше дисциплинам.
- Электронные варианты изданных авторами учебных пособий «Радиоэлектронные системы дистанционного зондирования Земли», «Обработка данных ДЗЗ: практические аспекты», «Обработка радиолокационных данных дистанционного зондирования Земли (лабораторный практикум)», «Современные методы обработки изображений» (на русском и английском языках).
- Методические указания по применению программных комплексов ScanEx Image Processor, PHOTOMOD-RADAR, ENVI, SARscape в учебно-исследовательской работе.
- Методические указания по организации и проведению учебно-исследовательской работы в ЦКМ и по применению активных методов обучения.
- Четыре программы дополнительного профессионального образования: «Обработка изображений и анализ данных космического дистанционного зондирования Земли», «Обработка радиолокационных изображений земной поверхности», «Использование современных программных комплексов для обработки и анализа данных ДЗЗ», «Радиолокационные методы дистанционного зондирования Земли».

Ядром комплекса являются 4 модульных цикла лабораторных работ. Модули объединяют работы по видам и уровням обработки данных ДЗЗ («Улучшение визуального восприятия и пространственная фильтрация изображений», «Геометрическая коррекция и географическая привязка», «Тематическая классификация», «Обработка радиолокационных данных ДЗЗ»). Работы, выбранные из разных модулей, могут составлять лабораторный цикл по той или иной дисциплине. Общее количество лабораторных работ – свыше двадцати. В рамках лабораторных занятий вырабатываются навыки по решению всего круга задач цифровой обработки изображений, получаемых в системах ДЗЗ:

- устранение радиометрических и геометрических искажений, координатная привязка и трансформирование в заданную проекцию;
- улучшение изображений (подавление шумов, фильтрация, подчеркивание границ, изменение яркостных и контрастных характеристик, включая гистограммные преобразования);
- объединение данных, полученных в различных спектральных диапазонах без снижения разрешающей способности (на основе различных методов слияния изображений);
- выделение вторичных дешифровочных признаков (анализ главных компонент, расчет вегетационных индексов, преобразование Томаса-Каута, фрактальный анализ, анализ текстур) [5];
- тематическая обработка снимков, автоматическое дешифрирование и идентификация природных и природно-технических объектов (формирование мозаик, неконтролируемая классификация – кластерный анализ, контролируемая классификация с обучением, обнаружение объектов заданной формы – линеаментный анализ, кольцевые структуры).

III. МЕТОДОЛОГИЯ АКТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Главным принципом при реализации программ подготовки в области ДЗЗ является внедрение во все изучаемые дисциплины (модули) методов активного обучения – обучения через деятельность. Формы занятий с использованием активных методов обучения на базе ИПМК включают: деловые игры, «круглые столы», ситуационный анализ, методы проблемного обучения, поисковые лабораторные работы и проектную работу.

Так рабочей программой дисциплины «Радиоэлектронные системы дистанционного зондирования Земли» предусмотрены в рамках семинарских занятий деловая игра «Мониторинг паводковой ситуации по данным космической съемки». В форме «круглого стола» предусмотрено проведение практических занятий по темам «Основные направления использования данных ДЗЗ» и «Выбор данных

космической радиолокационной съемки для построения ЦМР и оценки смещений земной поверхности».

Поисковые лабораторные работы и лабораторные работы с элементами научных исследований – важнейшие формы активного обучения по инженерно-техническим направлениям и специальностям. От обычных лабораторных работ они отличаются тем, что в методических указаниях не содержится подробное (шаг за шагом) изложение того, «как надо делать». Студенту предлагается только направление и общая методика исследования, а технологию достижения заданной цели он должен разработать самостоятельно. Результаты экспериментальных исследований также заранее точно не определены. В каждом модуле имеются поисковые лабораторные работы и лабораторные работы с элементами научных исследований. Примерами таких работ являются:

- «Изучение технологии приема данных ДЗЗ в Центре космического мониторинга».
- «Исследование параметров качества космического радиолокационного изображения».
- «Слияние изображений в многозональных системах ДЗЗ».
- «Фильтрация спекл-шума на радиолокационных изображениях».
- «Построение цифровой модели рельефа методом космической радиолокационной интерферометрии».
- «Исследование методов фильтрации фазового шума при интерферометрической обработке радиолокационных данных».

Ниже приведено содержание некоторых лабораторных работ с элементами научных исследований из каждого модульного цикла.

Целью лабораторной работы «Синтез фрагмента радиолокационного изображения по данным PCA RADARSAT-1» является освоение технологии формирования радиолокационных изображений, получаемых радиолокатором с синтезированной апертурой космического аппарата RADARSAT-1 в одном из штатных режимов (Fine либо Standard) [1].

В качестве исходного материала используется файл формата *.RAD, содержащий необработанные данные, полученные во время сеанса приёма станцией «Унискан-24», файл описания орбиты *.ORB, файл описания диаграммы направленности антенны *.PAP, таблица калибровки яркостей *.LUT. Используемое программное обеспечение: программный комплекс RADARSAT Tools [6] (модули SAR Converter и SAR Processor), программный пакет Scanex Image Processor либо ENVI.

В процессе лабораторных исследований студенты выполняют синтез радиолокационного изображения RADARSAT-1 (см. рис.1), производят наложение полученного изображения на векторную карту из набора

ESRI World Maps, определяют плановую погрешность его автоматической привязки, а также оценивают влияние доплеровской неоднозначности на величину смещения.

В рамках лабораторной работы «Фильтрация спекл-шума на радиолокационных изображениях» студенты изучают локальные алгоритмы подавления спекл-шума, реализованные в программном комплексе ERDAS. В процессе работы радиолокационное изображение обрабатывается следующими типами пространственных фильтров: усредняющим, медианным, локальным адаптивным и сигма-фильтром при различных размерах скользящего окна. Результаты обработки сравниваются с исходным изображением в двумерном и/или трехмерном пространстве (см. рис. 2). Качество обработки изображения оценивается путем расчета коэффициента ковариации/

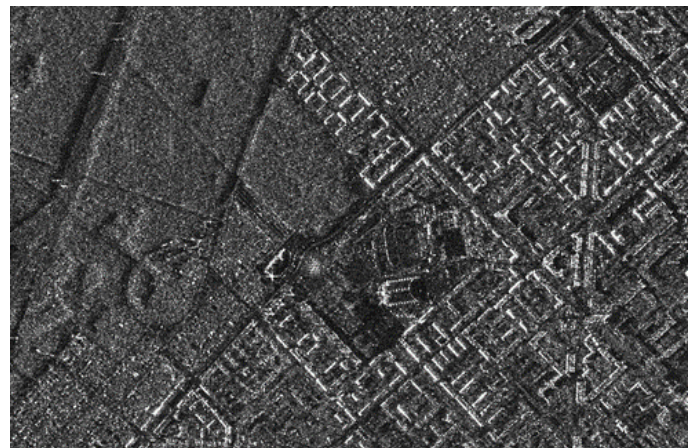


Рис. 1. Фрагмент синтезированного радиолокационного изображения RADARSAT

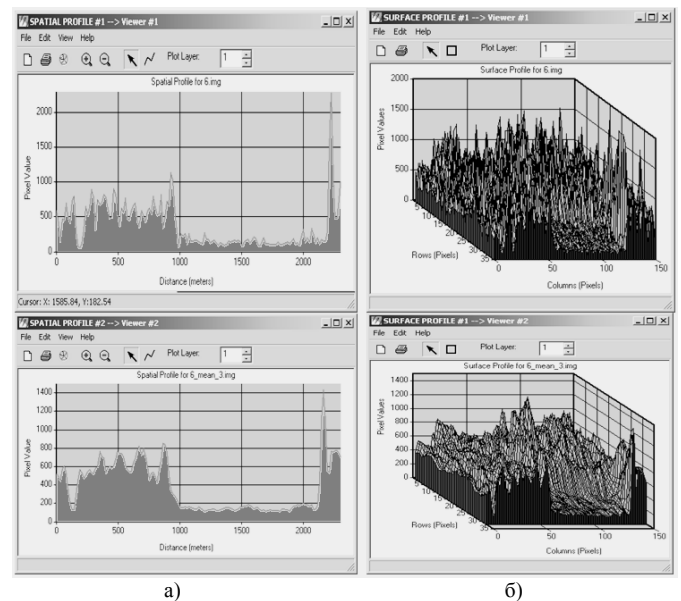


Рис. 2. Пример использования усредняющего фильтра: а) использование профиля Spatial, б) использование профиля Surface

В лабораторной работе «Выделение границ водоемов по данным ДЗЗ»: изучаются методы классификации объектов на космических снимках на примере выделения водных поверхностей, а также методики векторизации результатов классификации для построения тематической карты.

В качестве исходного материала используются файлы, содержащие изображения заданного водного объекта, полученного космическими аппаратами SPOT и Landsat в различных спектральных каналах. Используемое программное обеспечение - программный комплекс ENVI.

В процессе работы студенты с помощью алгоритмов классификации без обучения ISODATA и K-means производят классификацию изображения. Затем результат классификации переводят в векторную форму. При помощи инструментов работы с векторными данными находят площадь заданного объекта и сравнивают вычисленную площадь с найденной в сети Интернет.

Для применения алгоритмов классификации с обучением на исходном изображении выделяются фрагменты, соответствующие 5-10 различным однородным поверхностям. Применяя реализованные программном комплексе ENVI алгоритмы классификации с обучением, и переводя результаты классификации в векторную форму, вычисляют площадь заданного объекта. В заключительной части работы формируют RGB-изображение из различных спектральных каналов.

Проектирование реализовано в рамках курсового проекта по дисциплине «Радиоэлектронные системы дистанционного зондирования Земли» и при выполнении научно-исследовательской работы магистров. Примерная тематика выполняемых исследований:

- Исследование режимов обработки данных космических радиолокаторов с синтезированной апертурой (интерферометрического, стереоскопического, телескопического, методов автофокусировки).
- Анализ методов фильтрации спекл-шума на радиолокационных изображениях.
- Анализ методов классификации изображений, реализованных в программном комплексе для обработки данных дистанционного зондирования Земли ENVI.
- Исследование методов слияния изображений.
- Сравнительный анализ алгоритмов кластеризации радиолокационных и спектральных снимков.
- Классификация изображений на основе нейросетевых методов.
- Классификация лесных массивов по данным ДЗЗ.
- Мониторинг паводковой ситуации по данным ДЗЗ.

- Разработка информационной технологии прогноза структур на основе данных ДЗЗ.
 - Анализ алгоритмов интерферометрической обработки данных космической радиолокационной съемки.

Отметим, что эффективность любых форм и технологий образовательного процесса в вузе определяют три основных фактора: профессиональная грамотность и педагогическое мастерство преподавателя; подготовленность и наличие мотивации к обучению обучающихся (студентов, слушателей); наличие методического и программно-технического обеспечения, адекватного уровню и выбранной форме обучения. Активных форм обучения это касается в первую очередь. ИПМК «Обработка сигналов и изображений в радиоэлектронных системах космического мониторинга» предоставляет преподавателю и студенту основное методическое и программно - инструментальное обеспечение.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методическое и программное обеспечение успешно используется в образовательных программах подготовки магистров «Обработка сигналов и изображений в радиоэлектронных системах», «Математическая геофизика и геоинформатика» (по направлениям «Радиотехника» и «Прикладная информатика»). Применение комплекса обеспечивает достижение результатов обучения, определяемых способностью выпускника планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования с применением современных математических методов, инструментальных и программно - аппаратных средств. Дальнейшим развитием работ в этом направлении стало создание онлайн курсов «Спутниковые технологии в геофизике», «Компьютерные технологии обработки данных ДЗЗ» и «Цифровые модели местности» с перспективой их размещения на платформе открытого образования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / под ред. В.С. Вербы – М.: Радиотехника, 2010 - 680 с.
- [2] Hanssen R.F. Radar interferometry: Data interpretation and error analysis. Dordrecht: Kluwer academic publishers, 2001. 328 p.
- [3] Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. – М: Техносфера, 2010. – 560 с.
- [4] Коберниченко В.Г. Работа с данными дистанционного зондирования в Уральском федеральном университете: опыт и новые возможности//Земля из космоса-наиболее эффективные решения, вып. 9, 2011, с. 69-73.
- [5] Обработка данных дистанционного зондирования Земли: практические аспекты: [учебное пособие] / [В. Г. Коберниченко, О. Ю. Иванов, С. М. Зраенко и др.; под общей ред. В.Г. Коберниченко] -Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013. – 168 с.
- [6] RADARSAT Tools. Описание пакета программ. М.: ИТЦ СканЭкс, 2010.

Программный учебный комплекс для лабораторного практикума по электронике

А.Т.Кобяк, С.В.Лагутина, А.А.Уварова, Е.А.Уварова
Институт автоматики и вычислительной техники, каф. ВМСС
Национальный исследовательский университет МЭИ
г. Москва, Россия

Аннотация — В статье рассмотрен комплекс программ, который применяется в учебной лаборатории по электронике. Комплекс предназначен для дистанционного управления цифровыми приборами с персонального компьютера. Он также позволяет автоматизировать съём амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик электронных устройств.

Ключевые слова — лаборатория; стенд; электроника; управление; характеристика

I. ВВЕДЕНИЕ

При изучении курса «Электроника» большое значение приобретает лабораторный практикум, позволяющий подробно изучить характеристики и параметры электронных компонентов. Лаборатория электроники кафедры ВМСС НИУ МЭИ оснащена цифровыми приборами, что позволило автоматизировать процесс исследования и проводить обработку полученной информации с помощью компьютера. Каждое рабочее место [1], предназначенное для одного студента, кроме стенда со сменной панелью оснащено современным цифровым оборудованием: многофункциональным генератором *GFG-3015* [2], двулучевым осциллографом *GDS-2062* [3] и современным персональным компьютером. Все измерительные приборы и лабораторный стенд объединены в локальную сеть (рис.1). При интенсивной эксплуатации лаборатории (в год через лабораторию проходит до 300 студентов) некоторые осциллографы и генераторы перестали корректно выполнять свои функции при ручном управлении.

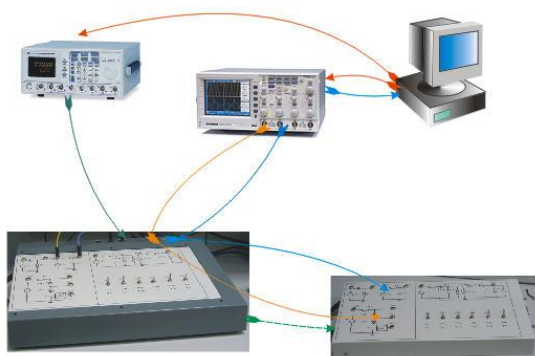


Рис. 1. Структура лабораторного стенда

Для их управления дистанционно фирма-изготовитель предоставляет специальное программное обеспечение [5, 6]. Цифровой генератор периодических сигналов различной формы и двуканальный цифровой осциллограф обладают широким спектром возможностей, в том числе и по управлению устройствами с компьютера, а также по передаче данных на компьютер. Программные обеспечения *FreeWave* [5] для осциллографа и *RS-232 Interface PC Software* [6] для генератора соответственно имеют широкий набор определенных функциональных возможностей. Существенным недостатком программы для генератора является то, что она имеет слишком много дополнительных функций, на работу которых уходит непропорционально много ресурсов системы, а программы для осциллографа – необходимость знания команд низкого уровня. Также программы не обладают русифицированным интерфейсом, что усложняет их освоение студентами. Поэтому был разработан упрощенный и оптимизированный комплекс программ для удаленного управления цифровыми устройствами для студентов. С помощью компьютера студент не только управляет измерительными приборами (с помощью разработанного программного комплекса), но и фиксирует результаты измерений, проводит их обработку и создаёт протокол отчета по выполненной работе. При этом все компьютеры лаборатории объединены в свою локальную сеть, что позволяет преподавателю контролировать ход выполнения работы, давать пояснения по выполнению лабораторной работе в виде презентаций.

Программный учебно-лабораторный комплекс содержит следующие программы: программа *Generator* позволяет устанавливать на генераторе *GFG-3015* параметры сигнала, программа *Oscilloscope* предназначена для удаленного управления цифровым осциллографом, программы *ACH* и *PHASE* позволяют устанавливать параметры сигнала на генераторе *GFG-3015*, снимать данные с осциллографа *GDS-2062* и строить амплитудно-частотную и фазо-частотную характеристики, а программа *Voltmeter* позволяет устанавливать частоту генератора *GFG-3015* и снимать некоторые данные с осциллографа *GDS-2062*.

II. ПРОГРАММА GENERATOR

Программа *Generator* для управления генератором *GFG-3015* была разработана в двух версиях. Первая версия программы предназначена для использования

профессиональными пользователями, поскольку в ней заложен весь функционал предоставляемый разработчиком измерительного оборудования (рис.2).

Для применения программы *Generator* в учебном процессе была разработана упрощенная версия управления генератором, включающая в себя самые необходимые и наиболее часто используемые функции.

Рабочее окно такой программы представлено на рис. 3. Программа позволяет устанавливать на генераторе *GFG-3015* следующие параметры сигнала: форму (синусоидальную, треугольную или прямоугольную), амплитуду и смещение в Вольтах, частоту в Герцах, асимметрию (от 20% до 80%). Связь ПК с генератором осуществляется после нажатия кнопки «Подключить».

III. ПРОГРАММА OSCILLOSCOPE

Программа *Oscilloscope* [7] позволяет удаленно (с персонального компьютера) управлять цифровым осциллографом *GDS-2062* и предназначена для удобного и эффективного выполнения лабораторных работ. После запуска программы *Oscilloscope* на экране компьютера появляется ее главное окно (рис. 4).

Соединение ПК с осциллографом осуществляется кнопкой «Подключить». Если нажать кнопку «Получить», в левой части главного окна выведется изображение с экрана осциллографа. Оно будет обновляться с заданной частотой, что даст возможность наблюдать осциллограммы в режиме времени, близком к реальному. При необходимости полученное изображение можно сохранить, нажав на кнопку «Сохранить». По умолчанию файл сохраняется с расширением *.bmp. Но есть возможность сохранения рисунка и в других форматах.

Для обеспечения возможности удаленного управления в программный комплекс включены следующие органы управления осциллографа:

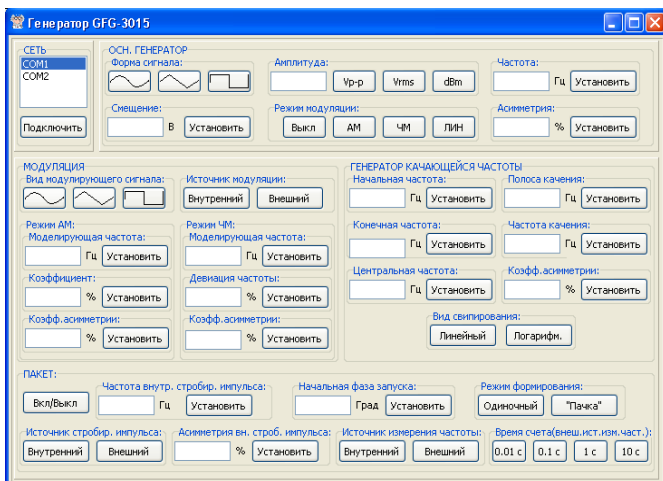


Рис. 2. Окно программы *Generator* для профессиональных пользователей

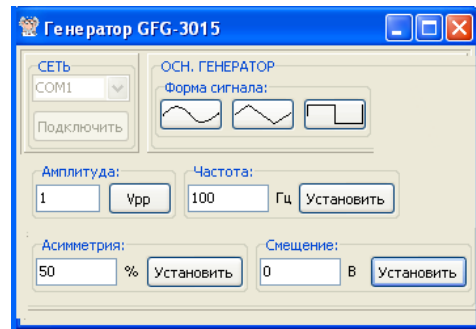


Рис. 3. Окно программы *Generator* для студентов

- основные команды: автоустановка, запуск, остановка процесса сбора информации;
- выбор режима усреднения;
- установка режима накопления;
- включение/выключение курсоров;
- включение/выключение каналов;
- запрос информации о текущем масштабе вертикальных каналов;
- управление масштабами каналов вертикального отклонения;
- выбор вида связи входа;
- установление режима X/Y;
- установление режима основной развертки;
- установление скорости развертки (масштаба времени).

IV. ПРОГРАММА ACH

Программа *ACH* [7] позволяет не только устанавливать параметры на генераторе *GFG-3015* и снимать данные с осциллографа *GDS-2062*, но и строить амплитудно-частотную характеристику в двойном логарифмическом масштабе. Главное окно программы *ACH* представлено на рис. 5.

Соединение ПК с генератором и осциллографом осуществляется кнопкой «Подключить».

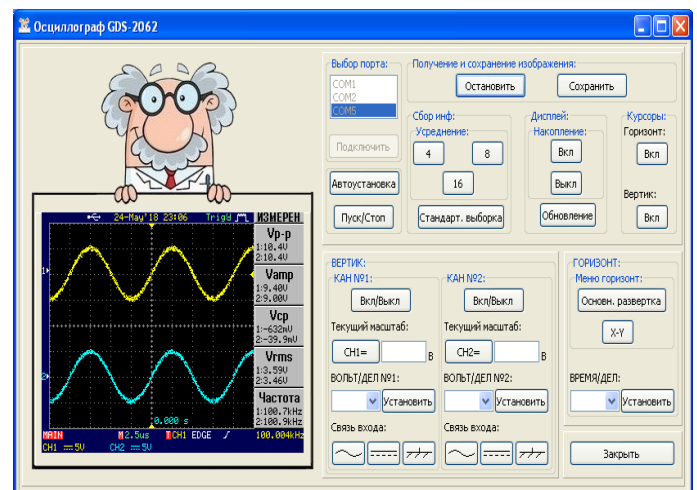



Рис. 4. Главное окно программы *Oscilloscope*

V. ПРОГРАММА PHASE

Программа *PHASE* позволяет не только устанавливать параметры на генераторе *GFG-3015* и снимать данные с осциллографа *GDS-2062*, но и строить по полученным данным фазо-частотную характеристику. Главное окно программы *PHASE* представлено на рис. 6.

Соединение ПК с генератором и осциллографом осуществляется кнопкой «Подключить». Сначала следует задать частоту генератора и нажать кнопку «Установить», при этом на генераторе устанавливается заданная частота, а на осциллографе происходит автоматическая настройка изображения осциллограмм.

Затем надо нажать кнопку , что позволяет измерить временную задержку Δt между сигналами на первом и втором каналах осциллографа и определить, опережает или отстает выходной сигнал от опорного входного. Для расчета сдвига фаз надо нажать кнопку $\Delta\varphi$, тогда сдвиг фаз с учетом знака будет рассчитан по формуле: $\Delta\varphi = 360^\circ \Delta t / T$. После этого полученные данные с помощью соответствующей кнопки следует занести в таблицу. В таблицу заносятся: частота F , задержка Δt , период T и фазовый сдвиг $\Delta\varphi$. Для получения ФЧХ эту процедуру следует проделать для всех частот заданного диапазона.

Нажав на кнопку «Построить график», по данным таблицы вычерчивается график фазо-частотной характеристики. При этом экспериментальные данные в таблице будут упорядочены по возрастанию частоты. Если, в силу погрешности, результат отдельного измерения не устраивает пользователя, можно его удалить. Для этого необходимо дважды щелкнуть правой кнопкой мыши по нужной строке. После чего соответствующая строка будет удалена из таблицы, а график перерисован.

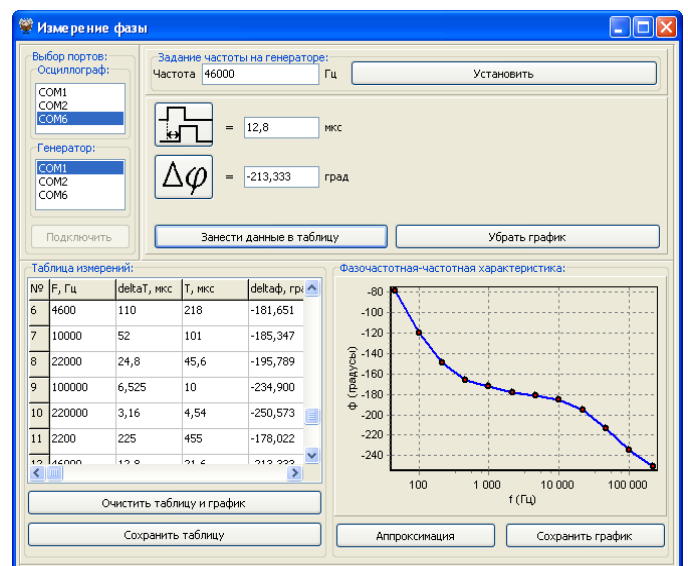


Рис. 6. Главное окно программы *PHASE*

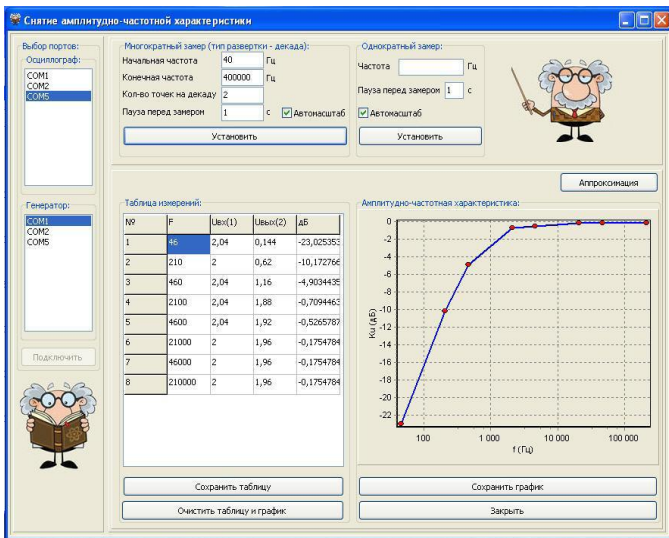


Рис. 5. Главное окно программы *ACH*

Программа позволяет снимать АЧХ в одном из двух режимов: автоматическом и ручном. В автоматическом режиме необходимо ввести начальную и конечную частоты, количество точек на декаду, паузу перед замером. Этим режимом рекомендуется пользоваться, если число расчетных точек не превышает 10...20. В случае ручного замера необходимо ввести частоту, паузу перед замером и нажать кнопку «Установить». Для получения АЧХ эту процедуру следует проделать для всех частот заданного диапазона.

Для увеличения точности полученных результатов перед замером амплитуд входного и выходного сигналов на осциллографе автоматически устанавливается усреднение 16. Измерения можно производить по частотам, не упорядоченным по возрастанию. Если, в силу погрешности, результат отдельного измерения не устраивает пользователя, его можно удалить. Для этого необходимо дважды щелкнуть правой кнопкой мыши по нужной строке. После чего соответствующая строка будет удалена из таблицы, а график перерисован.

При выполнении программы в таблицу измерений заносятся частота, амплитуды входного и выходного сигналов и логарифмический коэффициент передачи (дБ). По данным таблицы строится график амплитудно-частотной характеристики.

После окончания эксперимента можно сохранить как таблицу, так и график. Опция «Сохранить таблицу» позволяет сохранять результаты измерений из таблицы в текстовый файл формата *.txt, *.csv, *.xls. По умолчанию выбрано расширение *.xls. При сохранении графика по умолчанию выбран формат *.bmp. Пользователю необходимо указывать лишь имя файла.

Кнопкой «Очистить таблицу и график» можно удалить все значения из таблицы и очистить график, что позволяет начать эксперимент заново.

После окончания эксперимента можно сохранить его результаты: таблицу и график. Опция «Сохранить таблицу» позволяет сохранять результаты измерений из таблицы в текстовый файл формата *.txt, *.csv, *.xls. По умолчанию выбрано расширение *.xls, пользователю необходимо лишь задать имя файла. Опция «Сохранить график» позволяет сохранять график в формате: *.ico, *.bmp, *.wmf или *.emf. При сохранении графика по умолчанию выбран формат *.bmp, пользователю необходимо указывать лишь имя файла.

Кнопка «Очистить таблицу и график» удаляет все значения из таблицы и очищает график, что позволяет начать эксперимент заново.

VI. ПРОГРАММА VOLTMETER

Главное окно программы *Voltmetr* представлено на рис.7. Соединение ПК с генератором и осциллографом осуществляется кнопкой «Подключить». Программа *Voltmeter* позволяет устанавливать частоту генератора *GFG-3015* и определять:

- размах напряжения сигнала (V_{p-p} – разность между максимальным и минимальным пиковым напряжением всего сигнала);
- амплитуду напряжения сигнала (V_{amp} – напряжение между максимальным и минимальным напряжением сигнала без учета выбросов);
- среднеквадратичное (действующее) напряжение сигнала (V_{rms} – истинное эффективное напряжение сигнала);
- среднее напряжение (постоянная составляющая) сигнала (V_{cp} – среднее напряжение сигнала).

Измерение напряжения с осциллографа осуществляется посредством выбора необходимого типа напряжения в поле «Выбор напряжения» и последующего нажатия на кнопку «Получить». Для прекращения снятия напряжений с осциллографа необходимо нажать на «Выкл». Полученные с осциллографа значения напряжений выводятся в соответствующие текстовые поля. При необходимости можно вычислить разность напряжений, нажав на кнопку « $V_1 - V_2 =$ », и сдвиг фаз ($\Phi_1 - \Phi_2$) между этими сигналами, а также измерить временной сдвиг Δt между сигналами на первом и втором каналах осциллографа (кнопка $V_{прНН}$).

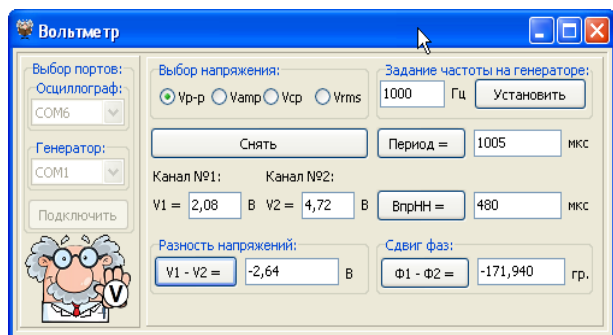


Рис. 7. Рабочее окно программы *Voltmetr*

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Программы для снятия амплитудно-частотной (*ACH*) и фазочастотной (*PHASE*) характеристик разработаны для применения в курсах электротехники и электроники, читаемых студентам, которые обучаются по программе подготовки бакалавров по направлению Информатика и вычислительная техника. В течение двух лет данные программы проходили апробацию на практических занятиях в курсе электроники на кафедре ВМСС [7].

Они также могут применяться в других курсах, где необходимо проводить анализ частотных характеристик электрических цепей. Разработанный программный учебно-лабораторный комплекс для дистанционной работы с цифровым оборудованием по сравнению со стандартным специальным программным обеспечением обладает следующими достоинствами:

- простой, русскоязычный графический интерфейс,
- минимальный и необходимый набор команд для выполнения поставленной задачи,
- «открытая» конфигурация (наличие открытого кода, позволяющего изменять или дописать готовую конфигурацию),
- неприхотливость к требованиям компьютера,
- независимость от типа операционной системы,
- адаптация к образовательной программе.

Разработанный комплекс направлен на решение актуальной научной проблемы – создание информационно-управляющих систем и комплексов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Универсальный стенд для учебно-исследовательских лабораторий "Основы электротехники и электроники" и "Аналоговые и цифровые системы обработки и передачи информации". ВВЦ, г. Москва, 15-й Всероссийский форум «Образовательная среда - 2013»; Диплом №125 от 08.10.2013 г.
- [2] Дедюхин А.А. Генератор сигналов специальной формы GFG-3015 компании Good Will Instruments Co. Ltd. Журнал «Компоненты и технологии» № 8 2003 г.
- [3] Осциллографы компании Good Will Instrument Co. Ltd. https://prist.ru/info/articles/oscilloscopes_gw.htm.
- [4] Осциллографы цифровые (GDS 2062/2064, GDS 2102/2104, GDS 2202/2204). GW Instek. Руководство по эксплуатации, Москва, 2007.
- [5] ПО FreeWave для ЦЗО серии GDS-2xxx [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.prist.ru/produce/card/meas.htm?mn=GDS-2062#t=main>.
- [6] Генератор сигналов GFG-3015. Руководство по эксплуатации. –М.: 2004.
- [7] Кобяк А.Т., Уварова А.А., Уварова Е.А. Программный учебно-лабораторный комплекс для дистанционной работы с цифровым оборудованием. Материалы научно-практической конференции «Актуальные проблемы информатизации в науке, образовании и экономике – 2016»: сборник статей. – М.: МИЭТ, 2016. -156 с.

Применение метода параболического уравнения для анализа влияния лесных массивов на распространение радиоволн

Е. С. Малевич, М.С. Михайлов, В.А. Пермяков
Каф. Радиотехнических приборов и антенных систем
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва, Россия
malevichmpei@gmail.com

Аннотация — В докладе приведены примеры моделирования распространения радиоволн над неровной земной поверхностью в сложных условиях с учетом лесных массивов с помощью метода параболического уравнения с быстрым преобразованием Фурье. Предложенную методику можно использовать в учебно-методических и исследовательских целях, для оперативного прогнозирования распространения радиоволн на конкретной местности.

Ключевые слова — скалярное параболическое уравнение; неровности земной поверхности; лесные массивы

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время остается актуальным направление исследований, нацеленных на оценку влияния неровностей земной поверхности и реальных условий ландшафта местности на распространения радиоволн для составления оперативных прогнозов работы линий связи, расчета санитарно-защитных зон и зон ограничения застройки, составления рекомендаций по высотам подъема передающей и приемной антенн над земной поверхностью, углам наклона антенн для обеспечения наиболее эффективной работы радиолинии.

При проектировании радиолинии Земля–космос для сопровождения спутников, проходящих близко к горизонту, необходимо, чтобы антенная система работала на малых углах места. Если антенный комплекс располагается вблизи или внутри лесного массива, с большой долей вероятности при малых углах места рассеяние на близлежащих неровностях будет причиной потерь мощности и искажения диаграммы направленности в антенной системе.

Необходимость оценки распространения радиоволн в условиях сложного рельефа также актуальна для операторов мобильной связи, которые на этапе проектирования своих вышек должны учитывать нерегулярный ландшафт, при прохождении через который электромагнитных волн возникают разнообразные дифракционные и интерференционные эффекты. Отдельного внимания тут заслуживает задача распространения радиоволн в городской среде: большое

количество высотных зданий, мелких элементов городской инфраструктуры также является источником рассеяния и затухания электромагнитных волн.

На пересеченной местности в результате дифракции волн на препятствии, например, в виде острого горного хребта могут возникать эффекты «усиления препятствием», когда гора служит своего рода естественным ретранслятором [1]. Интенсивность поля при прохождении волны через препятствие может оказаться выше, чем при отсутствии его, за счет слабой дифракции на сферической поверхности Земли. Это может оказаться выгодно при проектировании радиотрасс и оценке необходимости размещения количества вышек мобильной или радиорелейной связи на определенном участке местности.

При проектировании антенных систем необходимо учитывать существующие санитарные правила и нормы СанПиН, в которых определены предельно допустимые значения энергетической экспозиции для разных диапазонов частот, воздействия электромагнитного поля на человека. Рассчитав напряженности электрического, магнитного полей или плотность потока мощности в дальней или промежуточной зонах антенны, можно определить санитарно-защитные зоны в соответствии с этими требованиями. Согласно Санитарным правилам и нормам РФ (СанПиН [2]) в окрестности передающих радиосистем выделяются санитарно–защитные зоны (СЗЗ) и зоны ограничения застройки (ЗОЗ). Размеры СЗЗ определяются из условия, что на высоте не более двух метров от поверхности Земли плотность потока энергии (ППЭ) не превышает заданной величины. СЗЗ определяет условия нахождения человека на поверхности Земли. ЗОЗ определяет ППЭ на больших высотах над поверхностью Земли и по существу ограничивает высоту зданий, которые могут быть построены вблизи радиосистемы.

При проектировании любой антенной системы в реальных условиях следует обязательно учитывать нерегулярность профиля местности, наличие лесных массивов и зданий в окрестности расположения передающей антенны.

Особое место при оценке распространения радиоволн в условиях реального ландшафта занимают проблемы прохождения и затухания электромагнитных волн в деревьях. В задачах локации, беспроводной радиосвязи, дистанционного зондирования рассеяние и поглощение на деревьях, затухание и фазовый сдвиг сигнала значительно влияют на прием и обнаружение цели. Поэтому проблема распространения радиоволн в лесах имеет важную практическую ценность.

Лес является случайной неоднородной средой, со структурными элементами в виде лесной подстилки, стволов, ветвей, листьев, приводящих к затуханию, рассеянию, дифракции и поглощению излучаемых электромагнитных волн. В общем случае выделяют 2 подхода [3]: 1) регулярная электродинамическая модель, в которой лес характеризуется как диэлектрическая среда с потерями с заданной усредненной эффективной диэлектрической проницаемостью (ЭДП). Количественные значения ЭДП могут быть получены из экспериментальных данных: это могут быть натурные эксперименты по измерению затухания в лесу; 2) использование статистических моделей. Данные модели основаны на получении характеристик рассеяния на отдельных элементах лесного массива, каждый из которых имеет свои геометрические и диэлектрические характеристики.

Большое число работ, посвященных распространению радиоволн (РРВ) в лесу, выполнено в приближении, что лес с прилегающей к нему поверхностью может быть заменен бесконечной в горизонтальном направлении многослойной плоскостройной средой. Источником, возбуждающим эту среду, может быть любая антенна, расположенная как внутри/вне леса, так и над лесом. Чаще всего в качестве антенн рассматриваются элементарные вибраторы, вертикальные, горизонтальные либо наклонные.

В 1967 г. Т. Тамир в своей работе [4] рассмотрел распространение радиоволн в лесу в частотном диапазоне от 1 до 100 МГц, где лес представлен в виде поглощающего слоя. Он объяснил распространение радиоволн над листво́й явлением боковой волны. Впоследствии в статье [5] авторы провели теоретическое исследование распространения радиоволн в лесу в частотном диапазоне от 2 до 200 МГц. В первоначальных работах Тамира [4] передающая и приемная антенны располагались внутри леса, в более поздних работах [6] одна из антенн находилась вне лесного массива. В работе Тамира [6] акцент делается на распространение радиоволн вдоль трех границ раздела (наземная, лесная и воздушная). Считается, что «земная волна» в отсутствие растительности играет лишь второстепенную роль. Куда большее значение имеют волны, распространяющиеся вдоль границы раздела «лесной полог – воздух», они дают наибольший вклад в результирующее поле. На дальностях до 100 км влияние боковых волн сильнее, чем волн, отраженных от ионосферы. Здесь будут рассматриваться волны на частотах свыше 100 МГц, поэтому влияние ионосферы не учитывается.

Концепция слоистой модели была предложена Липманн [7] для создания эквивалентной схемы леса. Распространение радиоволн в такой модели рассматривалось Тейлором в [8], который предполагал, что поле в лесу обусловлено отражением волн от ионосферы. Существенным шагом по более внимательному рассмотрению влияния боковых волн сделали авторы статьи [9]. Они подтвердили важность механизма распространения волн по верхушкам леса и показали, что многие экспериментальные данные согласуются с этим механизмом. В своей работе Тамир предложил анализ распространения радиоволн, учитывающий оба механизма (боковые волны и отражение от ионосферы), каждый из которых преобладает в различных диапазонах параметров. Для анализа РРВ между участками леса применяется метод геометрической оптики (ГО). Тамир показал [4], что боковая волна является компонентом поля, убывающего с расстоянием как R^{-2} , таким образом, ослабление происходит существенно быстрее, чем в случае геометро-оптического вклада R^{-1} . Несмотря на простоту используемой модели, Тамир получил качественное согласие с экспериментальными результатами. Подобная модель учитывает соответствующие свойства лесного массива таким образом, чтобы обеспечить последовательное физическое описание, а также хорошую оценку для большинства ранее наблюдаемых характеристик распространения. Ли с соавторами в своей работе [10] подтвердили важность роли распространения боковой волны на границе «лесной полог – воздух» на дальних расстояниях и впоследствии расширили своё исследование, в котором лес задавали слоями лесного полога и стволов для частотного диапазона 200–2000 МГц.

Позднее были разработаны многослойные модели пространства, состоящие из слоев грунта, леса и воздуха, успешно решаемые с помощью численных методов [11, 12, 13, 14].

II. КРАТКИЙ ОБЗОР МЕТОДА ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

Метод параболического уравнения (МПУ) был впервые предложен для моделирования распространения волн М.А. Леонтовичем и Фоком в 1940 году [15]. Одной из основных проблем в то время было как можно раньше обнаружить подводные лодки, это, без сомнения, требовало хорошего понимания подводного акустического распространения волн: воды с переменной плотностью, нижние профили и потоки. Леонтович и Фок использовали аналитическое решение ПУ, возможности которого ограничены случаем однородных сред. Позже подобная методика стала популярной при моделировании распространения электромагнитных волн между землей и тропосферой. Несмотря на то, что Леонтович и Фок оказались пионерами в этой области, подход МПУ стал широко применяться с использованием компьютеров после введения алгоритма пошагового преобразования Фурье. С тех пор техника МПУ была улучшена в сочетании со многими вспомогательными инструментами и применена к множеству сложных задач распространения радиоволн.

В прямоугольной системе координат будем считать плоскую волну $\exp(-i\omega t)$ зависящей от времени, где ω – угловая частота. Компонента поля удовлетворяет двумерному скалярному волновому уравнению:

$$\frac{\partial^2 \psi(x, z)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi(x, z)}{\partial z^2} + k_0^2 n^2 \psi(x, z) = 0 \quad (1)$$

Здесь ψ – электрическое поле для горизонтальной поляризации и магнитное поле для вертикальной, k_0 – волновое число в вакууме, n – показатель преломления. Вводим функцию U , связываем её с координатой x .

$$U(x, z) = \exp(-ik_0 x) \psi(x, z) \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1) и применяя операцию факторизации [5], получаем параболическое уравнение в виде:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = -ik_0 (1 - Q) U \quad (3)$$

Здесь Q – псевдодифференциальный оператор, который определяется как

$$Q = \sqrt{\frac{1}{k_0^2} \frac{\partial^2}{\partial z^2} + n^2} \quad (4)$$

Стандартным ограничением для используемого параболического уравнения является параксиальное (малоугловое) приближение. Оно применимо для антенн с шириной диаграмм направленности до 10 градусов. Вывод широкоугольного параболического уравнения основан на формальной факторизации уравнения Гельмгольца с использованием псевдодифференциальных операторов. Подобный подход позволяет обобщить численное решение параболического уравнения и на слабонаправленные антенны.

С помощью приближения [6] из Q получается широкоугольное параболическое уравнение

$$\frac{\partial U(x, z)}{\partial x} = ik_0 \left[\sqrt{1 + \frac{1}{k_0^2} \frac{\partial^2}{\partial z^2}} - 1 \right] U(x, z) + ik_0 (n - 1) U(x, z) \quad (5)$$

В таком виде параболическое уравнение можно решить с помощью пошагового преобразования Фурье, представленного в виде:

$$U(x_0 + \Delta x, z) = \exp(ik_0 \Delta x (n - 1)) \times F^{-1} \left\{ \exp(i \Delta x (\sqrt{k_0^2 - p^2} - k_0)) F[U(x_0, z)] \right\} \quad (6)$$

Здесь $U(x_0, z)$ – начальное поле, Δx – шаг по дальности, F и F^{-1} – прямое и обратное преобразования Фурье, $p = k_0 \sin \alpha$, где α – скользящий угол.

Решение параболического уравнения (ПУ) с помощью пошагового преобразования Фурье позволяет вычислять значения поля для каждой отметки дальности через

определенный шаг. Шаг по дальности почти не ограничен волновым числом, что позволяет использовать этот метод решения ПУ для крупных задач и сложных моделей, в том числе с неровностями земной поверхности и лесами.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В ЛЕСУ

В докладе используется электродинамический подход. Массив леса может быть ограничен по высоте и дальности, а также неоднороден. Лес задается в виде многослойной модели (рис.1) с ЭДП каждого из слоев для соответствующей частоты и вида лесных деревьев из [16]. Верхняя кромка лесного полога может быть задана модулированной функцией для конкретного типа леса, как это было сделано в [17, 18]. Задача состоит в оценке влияния лесного массива или неровной поверхности с лесным массивом на распространение радиоволн: потери на распространение, рекомендации по высотам подъема приемной и передающей антенн, исследование механизма распространения с помощью боковой волны вдоль кромки полога леса, возможность расчета СЗЗ и ЗОЗ.

Эффективные комплексные диэлектрические проницаемости в общем случае вычислялись по формуле [16]:

$$\tilde{\epsilon} = \epsilon_m - \frac{i\sigma}{2\pi f \epsilon_0} \quad (7)$$

где ϵ_m – действительная часть относительной диэлектрической проницаемости, σ – удельная проводимость (См/м), f – частота расчета (Гц), $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ (Ф/м) – электрическая постоянная. Для сравнения с результатами из статьи [13] исходные данные брались аналогичные: высота подъема источника 5 м, высота приемника 1.8 м над землей, средняя высота леса 14 м. Использовалась трехслойная модель пространства, состоящая из лесной подстилки, однородного слоя леса (слой полога и стволовая часть объединены и характеризуются усредненной эффективной диэлектрической проницаемостью) и воздуха сверху. В расчете методом параболического уравнения использовался источник в виде Гауссова пучка шириной 1.7 градусов, поляризация электромагнитной волны вертикальная. Параметры ЭДП были взяты из статьи [13] для частоты 450 МГц. В статье [13] предложен приближенный аналитический метод расчет мощности, учитывающий а) затухание по прямой в лесу и б) затухание боковой волны, а также проведено сравнение с экспериментом.

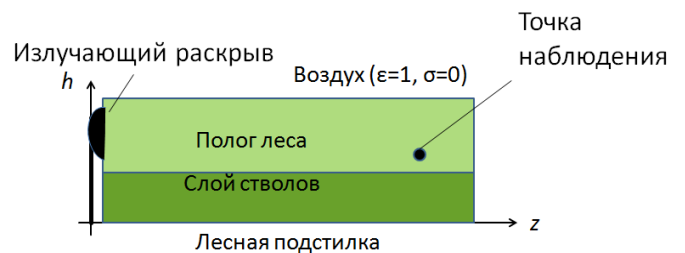


Рис. 1. Постановка задачи РРВ в сложных условиях

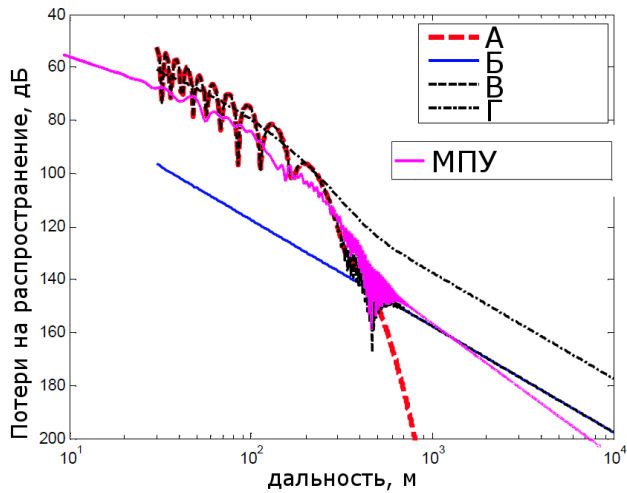


Рис. 2. Сравнение результатов численного моделирования методом параболического уравнения распространения радиоволн на трассе с лесом для частоты 450 МГц с результатами из статьи [13]

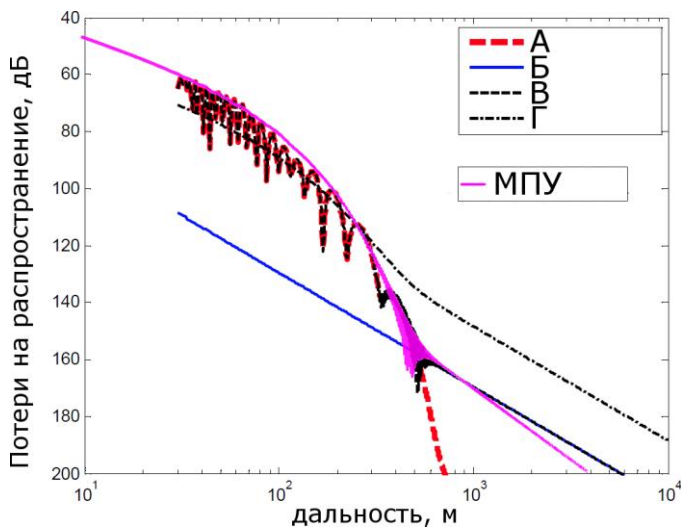


Рис. 3. Сравнение результатов численного моделирования методом параболического уравнения распространения радиоволн на трассе с лесом для частоты 900 МГц с результатами из статьи [13]

На рисунках 2 и 3 представлены результаты из статьи [13]: А – пространственная волна, Б – боковая волна, В – суммарная волна, Г – эксперимент, розовой линией нанесён результат моделирования методом параболического уравнения, рассчитанный по методике, описанной в данном докладе. Из рисунков 2 и 3 видно хорошее качественное и значительное количественное согласование результатов расчетов с помощью МПУ с теоретическим расчетом из статьи [13]. Как и у авторов статьи, до расстояния 200 метров основной вклад вносит пространственная волна, от 200 до 400 метров имеет место интерференция пространственной и боковой волн, с 400 метров преобладает влияние боковой волны.

Влияние боковой волны позволяет значительно уменьшить потери на распространение поля в лесу и демонстрирует необходимость проведения подобных расчетов для получения оптимального результата работы антенных систем. Качественное согласование расчетов, выполненных с помощью метода параболического

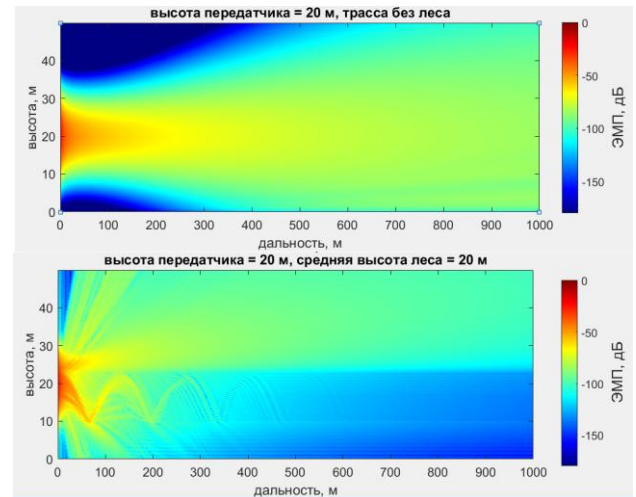


Рис. 4. Картина распределения поля по высоте и дальности для соснового леса на частоте 1 ГГц

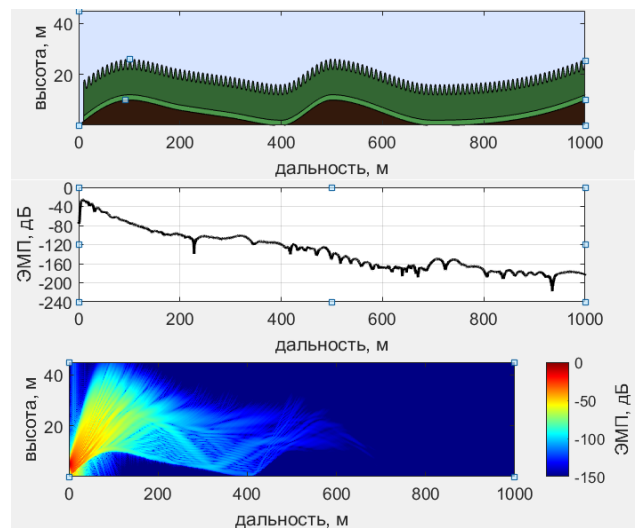


Рис. 5. Картина распределения поля в условиях сложного ландшафта с неровностями и лесом на частоте 900 МГц

уравнения с другими методами, позволяет использовать МПУ для проведения оперативных комплексных расчетов поля в лесных массивах при произвольном описании подстилающей поверхности, рельефа и параметров модели леса.

На рисунке 4 сравнивается распределение поля в отсутствии леса и с сосновым лесом высотой 20 м на ровной земной поверхности, высота передающей антенны также 20 м. Подобные картины позволяют качественно и наглядно прояснить происходящие при распространении волн процессы дифракции и интерференции. На графике видно, что лес является серьезным препятствием на пути распространения радиоволн практически с 300 м. Дальнейшее увеличение дальности радиолинии формируется за счет влияния механизма боковой волны.

Для демонстрации возможностей МПУ для расчета распространения радиоволн над неровной земной поверхностью было проведено моделирование, результаты которого приведены на рисунке 5. На рисунке

5 из картины распределения поля видно как формируется картина дифракции на препятствии с учетом расположения на нём лесного массива. В условиях сложного рельефа местности наблюдается переотражение лучей от границы раздела воздух-лес, таким образом, поле в лесу за препятствием превышает поле в воздухе над лесом. Боковую волну практически не видно, ослабление в лесу невелико, за препятствиями поле увеличивается за счет дифракции лучей и переотражения от верхней кромки полого леса. Подобную методику получения информации о картине распределения поля можно использовать вместе с электронными картами местности, из которых берут сведения о высоте подъема рельефа местности. Если автоматизировать данный процесс, то можно с приемлемой точностью получать прогноз картины распространения радиоволн в любой местности с учетом ландшафта и растительности.

IV. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МПУ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ЗАДАЧ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В ЛЕСАХ

За последние десятилетия появилось много работ по решению задач распространения радиоволн в трехмерной модели пространства с помощью МПУ [19–23]. Обзор состояния подобных исследований на 2000 год приведен в монографии М. Леви [24].

Задачи излучения антенн над земной поверхностью с неровностями решались в [22, 23]. В них было рассмотрено решение ПУ для прогноза напряженности поля над земной поверхностью с учетом функции вертикального профиля тропосферы и геометрии рельефа. В качестве излучателей использовались антенные решетки, расчет поля проводился в дальней и промежуточной зоне антенн в статьях [25, 26].

Расчеты с трехмерной моделью пространства особенно важны для антенн типа фазированных антенных решеток (ФАР) с большим числом элементов.

Приведем пример решения задачи распространения радиоволн над неровной земной поверхностью в трехмерной модели пространства. В качестве источника сигнала используется плоская ФАР вертикальная либо с небольшим наклоном с элементами – полуволновыми вибраторами. Каждый элемент задается диаграммой направленности и мощностью излучения. Взаимодействие полей элементов в данной реализации не учитывается. Метод ПУ в трехмерном случае реализован с применением быстрого преобразования Фурье по поперечным декартовым координатам. Дальнейшие особенности алгоритма изложены в [24].

Результаты моделирования приведены для решетки вибраторов 10×10 элементов, расстояние между соседними элементами – 0.5λ . Высота расположения над землей центра ФАР – 8 м. Поляризация излучения – вертикальная. Рабочая частота 450 МГц. Режим излучения – непрерывный. Геометрия задачи в общем виде представлена на рисунке 6. ФАР располагается по дальности и координате поперечного сечения в точке 0 м.

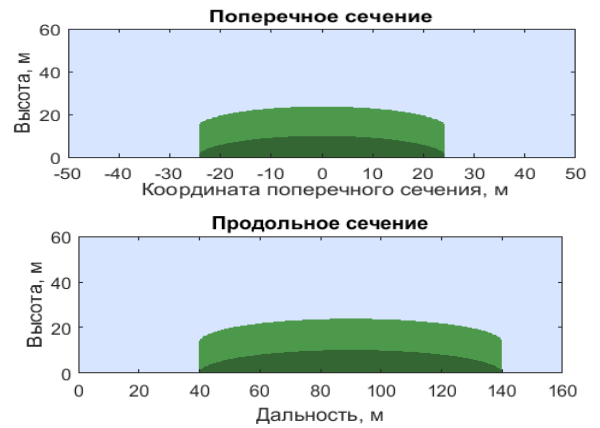


Рис. 6. Геометрия холма и лесного массива на поверхности Земли

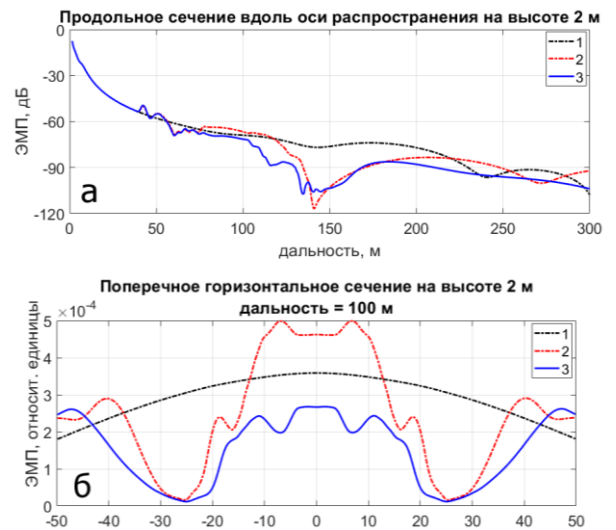


Рис. 7. (а) – изменение модуля напряженности электрического поля вдоль трассы, (б) – изменение модуля напряженности электрического поля в поперечном сечении трассы на расстоянии 100 м от антенны.

Препятствие задается двумерной поверхностью или лесным массивом произвольной формы с эффективной диэлектрической проницаемостью. Длина подошвы холма составляет 100 м, высота холма по максимуму – 10 м, высота леса 14 м. Холм обозначен темно-зеленым цветом, лес – светло-зеленым, воздух – голубым. Эффективная диэлектрическая проницаемость смешанного леса $1.1 - i0.004$, подстилающей поверхности $20 - i0.4$.

Начальное распределение поля для ПУ рассчитывалось в приближении геометрической оптики на расстоянии 40 м от ФАР с учетом отражения от плоской земли. Сечение с заданием начальных условий может находиться как в промежуточной, так и в дальней зоне ФАР. Расчет поля методом ПУ проводился до расстояния 200 м. На рисунке 7а, б линией 1 показана зависимость модуля напряженности электрического поля над плоской поверхностью Земли в отсутствие препятствия, линией 2 — при наличии препятствия в виде холма, линией 3 — при наличии холма с лесом.

Из рис. 7 видно, что поле в лесном массиве имеет вид стоячей волны вследствие отражения от земли и затухает в

пределах леса незначительно из-за небольшой длины леса. На больших расстояниях от препятствия поле за препятствием имеет интерференционную структуру, аналогичную полю над землей без препятствий, однако амплитуда поля за препятствиями оказывается меньше, чем над плоской землей вследствие того, что за препятствиями поле формируется процессами дифракции.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование метода ПУ позволяет провести оценку влияния неровностей земной поверхности и реальных условий ландшафта местности на распространения радиоволн для составления оперативных прогнозов работы линий связи, расчета санитарно-защитных зон и зон ограничения застройки, составления рекомендаций по высотам подъема передающей и приемной антенн над земной поверхностью, углам наклона антенн для обеспечения наиболее эффективной работы радиолинии.

Метод ПУ в двумерном случае позволил проанализировать условия РРВ внутри лесного массива, выделить расстояние, с которого основной вклад в электромагнитное поле вносит боковая волна, провести сравнение с результатами из статьи [13]. Для трехмерной модели пространства реализован метод ПУ для расчета структуры электромагнитного поля ФАР с большим числом элементов над поверхностью Земли при наличии сложного ландшафта в зоне Френеля. Представленная методика позволяет оценить влияние местоположения и высот подъема антенн на распространение радиоволн, провести расчет санитарно-защитных зон и зон ограничения застройки вблизи мощных ФАР с учетом профиля местности и при наличии препятствий.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект №8.9598.2017/БЧ).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Грудинская Г.П. Распространение радиоволн. Высшая школа, М.: 1975 г. 280 с.
- [2] Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование Российской Федерации. Государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. 2.1.8. Физические факторы окружающей природной среды. 2.2.4. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.8./2.2.4.1383-03 (с изменениями от 19 декабря 2007 г.).
- [3] Пермяков В.А. Электродинамические модели распространения радиоволн в лесу // II Всероссийские Армандовские чтения. 2012. МИ ВЛГУ. С. 264–270.
- [4] Tamir T. On radio wave propagation in forest environments // IEEE Tr. AP, vol. AP-15, No. 6, pp. 806–817, Nov. 1967.
- [5] Dence D., Tamir T. Radio loss of lateral waves in forest environments // Radio Sci. Vol.4, No.4, pp. 307–318, April 1969.
- [6] Tamir T. Radio wave propagation along mixed paths in forest environments // IEEE Tr. AP, vol. AP-25, No. 4, pp. 471–477, July 1977.

- [7] Lippman B.A. The jungle as a communication network // Defense Research Corp., Santa Barbara, Calif., Memo. IMR-168/1, August 1965.
- [8] Taylor J. A note on the computed radiation patterns of dipole antennas in dense vegetation // Stanford Research Institute, Special Tech. Rept. 16, February 1966.
- [9] Sachs D.L., Wyatt P.J. A conducting-slab model for electromagnetic propagation within a jungle medium // Defense Research Corp., Tech. Memo. 376, and Internal Memo. IMR-471, 1966.
- [10] Li Y., Wu M. F., Yilmaz A. E. and Ling H. Investigation of Short-Range Radiowave Propagation at HF/VHF Frequencies in a Forested Environment // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 8, pp. 1182–1185, 2009.
- [11] Sarabandi K., Il-Suek Koh Effect of Canopy–Air Interface Roughness on HF–VHF Wave Propagation in Forest. // IEEE Trans. Antennas and Propagat., Vol. 50, No. 2, 111–121, 2002.
- [12] Seker S.S. VHF/UHF radiowave propagation through forests: modelling and experimental observations // IEE Proceedings H – Microwaves, Antennas and Propagation, vol. 139, no. 1, pp. 72–78, Feb. 1992.
- [13] Lijun Z., Yushu T. Theory and experiment validation of radio wave propagation in the forest and its application for extended frequency // ISAPE2012, Xian, 2012, pp. 531–534.
- [14] P. Holm, G. Eriksson, P. Krans, B.Lundborg, E. Lafsved, U. Sterner, A. Waern. Wave propagation over a forest edge-parabolic equation modelling vs measurements // IEEE Symp. PIMRC. Lisboa Portugal, vol. 1, pp. 140–145, September 2002.
- [15] Leontovich M.A., Fok V.A. // J. Phys. USSR. – 1946. – V. 10, No. 5. – P. 399–420.
- [16] Попов В. И. Распространение радиоволн в лесах / В. И. Попов. — Москва: Горячая линия Телеком, 2015. — 392 с.
- [17] Пермяков В.А., Михайлов М.С., Малевич Е.С. Моделирование распространения радиоволн в лесных массивах // Сборник докладов V Всероссийской микроволновой конференции, 2017, Москва ИПЭ РАН, 22 ноября — 1 декабря, с. 100–103.
- [18] V.A. Permyakov, M.S. Mikhailov, E.S. Malevich. Calculation of the Radar Station Field in 3D Space in the Presence of Forest and Other Obstacles by the Method of Parabolic Equation // Progress In Electromagnetics Research Symposium Abstracts, St. Petersburg, Russia, 22-25 May 2017, pp.3754–3757.
- [19] Donohue D. J., Kuttler J.R. Propagation modeling over terrain using the parabolic wave equation // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 48, no. 2, pp. 260–277, Feb 2000.
- [20] Dockery D., Kuttler J.R. An improved impedance-boundary algorithm for Fourier split-step solutions of the parabolic wave equation // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 44, no. 12, pp. 1592–1599, Dec 1996.
- [21] Akleman F., Sevgi L. A novel mom- and sspebased groundwave-propagation field-strength prediction simulator // IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 49, no. 5, pp. 69–82, 2007.
- [22] Ахияров В.В. Метод параболического уравнения в теории дифракции // Успехи современной радиоэлектроники – 2010. – V. 39. – с. 72–80.
- [23] Ахияров В.В., Чернавский С.В. Использование численных методов для изучения условий распространения радиоволн // Радиотехника. – 2011. – No. 10. – с. 101–110.
- [24] Levy M. Parabolic equation methods for electromagnetic wave propagation. – London, The IEE, 2000. – 336 p.
- [25] Михайлов М.С. Расчет энергетических характеристик фазированных антенных решеток над нерегулярной поверхностью методом параболического уравнения. Дисс. на соискание ученой степени к.т.н. — М. НИУ «МЭИ», 2015 г.
- [26] Пермяков В.А., Михайлов М.С., Малевич Е.С. Расчет поля методом параболического уравнения в трехмерном пространстве с учетом препятствий / Известия высших учебных заведений. Физика, т. 59, №12-3 С. 144–148.

Верификация курсовых проектов по дисциплине «Микропроцессорные системы» с использованием системы моделирования Deeds

Певченко Сергей Игоревич
Кафедра ВМСС
ФГБОУ ВО Национальный исследовательский университет «МЭИ»
г. Москва, Российская Федерация
pevserg@yandex.ru

Аннотация — Доклад посвящен вопросу верификации курсовых проектов студентов по дисциплине «Микропроцессорные системы». Отмечается целесообразность использования для непрофильных ВУЗов простой в установке и изучении свободно распространяемой учебной системы цифрового моделирования Deeds [1,2], состав пользовательских блоков которой дополнен автором типовыми блоками микропроцессорных систем (МПС).

Ключевые слова — учебная система моделирования Deeds; проектирование микропроцессорных систем (МПС); верификация курсовых проектов МПС.

I. ВВЕДЕНИЕ

В сравнении с профильными ВУЗами типа МИЭТ, МИЭМ, МИФИ, где глубоко изучаются вопросы проектирования МПС и микропроцессоров (МП), в непрофильных ВУЗах типа МЭИ обычно ограничиваются вопросами построения МПС на базе стандартного МП типа i8080 с реализацией управляющей программы на ассемблерном языке и использовании в качестве внешних устройств типовых блоков: память, АЦП, ЦАП, контроллеры прерываний, клавиатуры и т.п.

Типовые задания курсового проектирования на кафедре ВМСС МЭИ предполагают разработку структурной и принципиальной электрических схем МПС и управляющей программы с оформлением по ЕСКД и ЕСПД соответственно. Однако верификация проектов моделированием заданием не предусматривается, что резко снижает качество защищаемых проектов. Применение систем моделирования, подобных Deeds, позволяет преодолеть этот недостаток.

II. СОСТАВ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ DEEDS

Система моделирования Deeds, разработанная в Генуэзском Университете [1,2], предназначена для обучения проектированию цифровых систем и свободно распространяется разработчиками [3]. Одним из основных достоинств этой системы являются простота и легкость установки и использования, малые требования к ресурсам ПЭВМ и наличие описания лабораторного практикума.

Система состоит из трех взаимосвязанных компонентов:

- Deeds-DcS (Digital Circuit Simulator) — подсистема моделирования цифровых схем.
- Deeds-FsM (Finite State Machine Simulator) — подсистема моделирования конечных автоматов.
- Deeds-McE (Micro Computer Emulator) — подсистема моделирования микро-ЭВМ семейства i8080.

III. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ DEEDS

Отметим на основе экспериментального использования системы моделирования Deeds ее основные преимущества и недостатки.

Преимущества:

- Большое число описаний лабораторных работ по изучению типовых узлов, автоматов и МПС на сайте разработчика системы [3].
- Возможность применения не только в курсе «Микропроцессорные системы», но и в курсах «Схемотехника ЭВМ» и «Теория автоматов».
- Простота пользовательского интерфейса и схемного редактора.
- Возможность создания пользовательских блоков из стандартного набора блоков системы Deeds
- Возможность получения VHDL кодов [4] из графического описания схем и стыковки с САПР ПЛИС фирмы Altera.
- Возможность моделирования, как в режиме наглядной анимации, так и получении временных диаграмм.
- При условии использования средств САПР ПЛИС можно реализовать физический эксперимент на отладочных платах с ПЛИС.

Недостатки:

- Отсутствие русифицированной версии.

- Использование трехзначного алфавита моделирования (0, 1, X), не позволяющего описывать связи типа общая шина.
- Невозможность задавать индивидуальные задержки базовых (библиотечных) элементов.
- Отсутствие библиотек микросхем промышленных серий.
- Не поддерживается иерархия проекта произвольной глубины — одни пользовательские блоки не могут входить в состав других.

IV. СПОСОБЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ DEEDS

Моделирование работы схемы возможно в двух режимах:

- Интерактивный симулятор («Анимация»).
- Временное моделирование схемы.

В режиме «анимации» воспроизводится по тактам поведение схемы, то есть можно визуально отслеживать изменение цвета индикаторов сигналов, в том числе и внутренних сигналов пользовательского блока, для чего достаточно в этом режиме нажать на соответствующий блок, предварительно установив в нем контрольные точки (TEST POINT).

Результатом временного моделирования схемы являются временные диаграммы входных и выходных сигналов. Также можно видеть и внутренние сигналы пользовательского блока. При этом имеется возможность выбора конкретного списка наблюдаемых сигналов. Внутренние сигналы пользовательского блока скрыты по умолчанию.

V. БАЗОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ (ВСТРОЕННЫЕ БЛОКИ) ПОДСИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ СХЕМ

При разработке графический представлений проектируемых схем пользователь использует схемный редактор. В качестве компонентов, используемых в рисунках схем в списке пиктограмм (см. рис. 1), представлены символы встроенных элементов (блоков), соединители (провода и шины), входные переключатели, выходные индикаторы и тому подобное.

Библиотека базовых компонентов подсистемы состоит из следующих групп:

- **Входные переключатели** - группа элементов, предназначенная для подачи входных сигналов на этапе анимационного и временного моделирования. Существуют элементы с шинными выходами (bus) и скалярными.



Рис. 1. Главная панель схемного редактора Deeds

- **Индикаторы выходных сигналов** – группа элементов, предназначенная для отслеживания состояния внутренних сигналов (контрольных точек) и выходов моделируемой схемы. Существуют элементы с шинными входами (bus) и скалярными.
- **Межкомпонентные соединения (шины и провода)** - группа элементов-соединителей: провода, шины, шинные разветвители (bus splitter) и ответвители (bus tap) для установления логических связей между компонентами схемы.

Элементный базис системы Deeds состоит из:

1) *Комбинационных логических блоков.* Они могут быть, как простыми логическими элементами (вентили И, ИЛИ и т.п.), так и более сложными (декодеры, мультиплексоры, сумматоры, АЛУ и т.д.). Задержка вентилей около 4 нс, комбинационных узлов 8-10 нс.

1) *Запоминающих логических блоков (триггеры, регистры, счетчики, таймеры).* Задержки триггеров около 8 нс, регистров 10 нс.

Триггеры подсистемы моделирования цифровых схем различаются по:

- Логике функционирования (например RS, D и JK).
- Способу приема и выдачи информации (асинхронные, синхронные, по уровню, по фронту/спаду).

Регистры подсистемы моделирования цифровых схем подразделяются на:

- Регистры с параллельным входом и выходом (P.I.P.O).
- Регистры с параллельным входом и последовательным выходом (P.I.S.O).
- Регистры с последовательным входом и параллельным выходом (S.I.P.O).
- Универсальные регистры.

Счетчики – узлы, на выходах которых получается двоичный код, определяемый числом поступивших импульсов.

Таймеры – узлы, подающие сигнал через заданный временной интервал.

3) *Микроконтроллер (МК) DMC8* в двух модификации: DMC8 Basic и DMC8 Enhanced (см. табл. 1).

Таблица 1. Сравнение модификаций МК DMC8

Элемент МК	Микроконтроллер	
	DMC8 Basic	DMC8 Enhanced
Система команд	МП Zilog Z80	МП i8080
Число входных и выходных портов	4 входных 4 выходных	8 входных 8 выходных
Система прерываний	Один вход прерывания	Восемь входов прерываний
Память	Статическая ОЗУ и ПЗУ. Ёмкость варьируемая (1,2,3,8,16,32) Кбайт	
Доступ к внутренним шинам	Отсутствует	
Внутренний таймер		

4) Микросхемы памяти ПЗУ (ROM) и ОЗУ (RAM). Блоки ОЗУ делятся на синхронные и асинхронные. Задержки блоков памяти примерно равна 20 нс.

5) Устройства вывода аналогового сигнала (ЦАП).

VI. ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЕ БЛОКИ В ПОДСИСТЕМЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ СХЕМ

В схемном редакторе DeS подсистемы моделирования цифровых схем можно создавать файлы двух типов: «.cbe» — пользовательские блоки; «.pbs» — новые схемы.

В частности, возможность создания пользовательских блоков позволяет разрабатывать библиотеки моделей микросхем промышленных серий, несколько нивелируя ранее отмеченный недостаток системы Deeds.

При создании нового пользовательского блока имеется возможность указать имя блока, название портов входных и выходных сигналов, которые могут быть как скалярными, так и шинными.

VII. ПОДСИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ МИКРОЭВМ

Подсистема моделирования микроэвм используется для разработки и отладки программного обеспечения МПС на базе МК DMC8. В ней используется низкоуровневый язык программирования – ассемблер.

В отладчике (см. рис. 2) можно пройти код в пошаговом режиме (Step), режиме анимации (Animate) и в реальном режиме работы программы (Run), а так же задавать скорость анимации.

Кроме того, в нем показывается содержимое регистров, ОЗУ, значение ячеек которого можно изменять в пошаговом и анимационном режимах во время отладки программы и содержимое ПЗУ, которое изменяется только при компиляции кода.

В окне выбора МК DMC8 (см. рис. 3) выбирается его модификация, ёмкость памяти ПЗУ и ОЗУ, назначаются адреса входных и выходных портов.

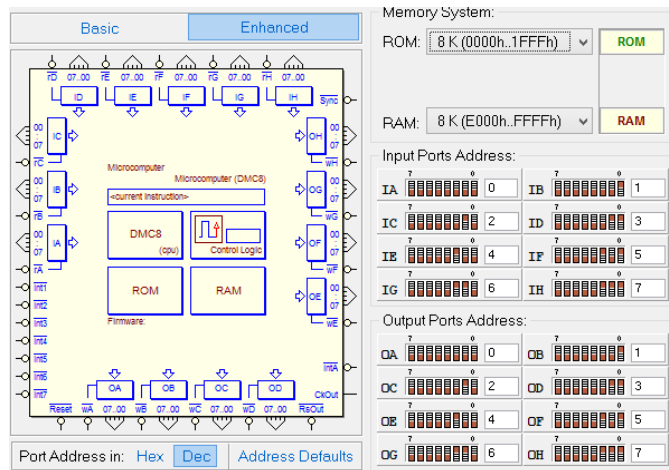


Рис. 3. Окно выбора модификации микроконтроллера DMC8

VIII. ФИЗИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА ОТЛАДОЧНЫХ ПЛАТАХ

Одно из достоинств системы моделирования Deeds — это возможность стыковки с САПР ПЛИС фирмы Altera Quartus II [5] и тестирования разработанной пользователем схемы на основных отладочных платах ПЛИС этой фирмы.

Для этого на главной панели схемного редактора необходимо нажать на пиктограмму Test on FPGA. В открывшемся окне (см. рис. 4) выбирается из списка название отладочной платы.

Затем назначаются входные и выходные шинные и скалярные сигналы схемы на кнопки, переключатели и индикаторы выбранной отладочной платы.

По завершению конфигурирования отладочной платы запускаем процесс создания файла программирования ПЛИС (Generate Project). В результате сформируется папка с проектом, в которой будет храниться прошивка ПЛИС, которую по кабелю можно переслать из персонального компьютера в плату.

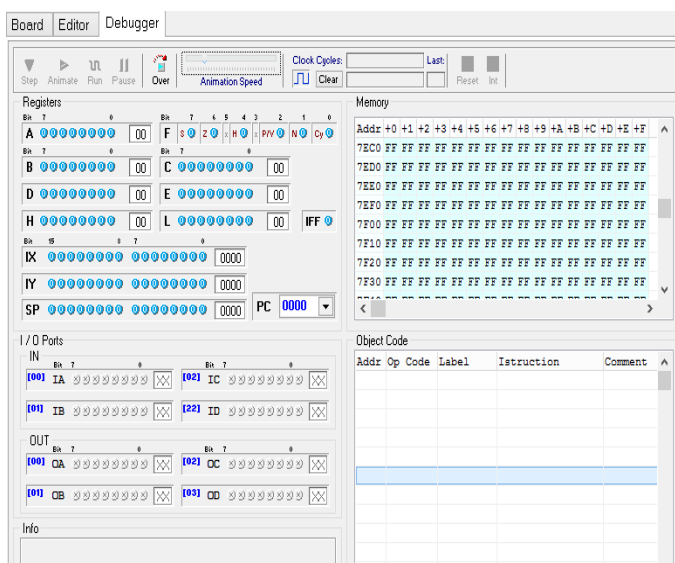


Рис. 2. Окно отладчика подсистемы моделирования микроэвм

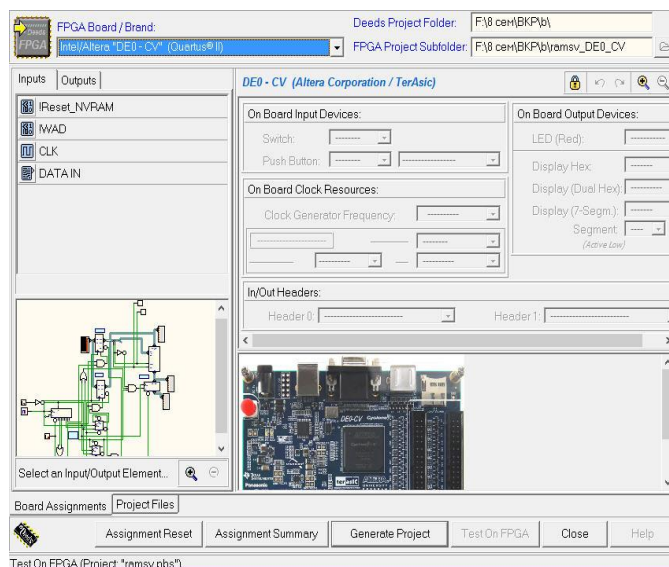


Рис. 4. Окно подготовки теста на отладочной плате (Test on FPGA)

IX. ПРОЦЕСС РАЗРАБОТКИ МПС С ПОМОЩЬЮ СРЕДСТВ СИСТЕМЫ DEEDS

Процесс разработки МПС с использованием средств системы моделирования Deeds можно разделить на обязательную и второстепенную части. Они в свою очередь делятся на несколько этапов (см. рис. 5).

1) *На первом этапе* разрабатывается структурная и функциональные схемы МПС в соответствии со спецификацией типового задания на курсовой проект с использованием основных блоков моделей цифровых устройств, разработанных на кафедре ВМСС.

2) *На втором этапе* разрабатывается программное обеспечение для МПС, производится его отладка в подсистеме моделирования микроэвм и ввод в МК DMC8.

3) *На третьем этапе* выполняется верификация всего проекта МПС в режиме временного моделирования с целью определения её работоспособности. Режим анимации можно использовать как для тестирования проекта, так и для наглядной демонстрации.

Четвертый и пятый этапы являются не обязательными.

4) *На четвертом этапе* на основе модели МПС проектируется принципиальная схема МПС с использованием библиотеки микросхем промышленной серии.

5) *На пятом этапе* для выбранной отладочной платы ПЛИС фирмы Altera полученная прошивка загружается средствами САПР этой фирмы (Quartus II).

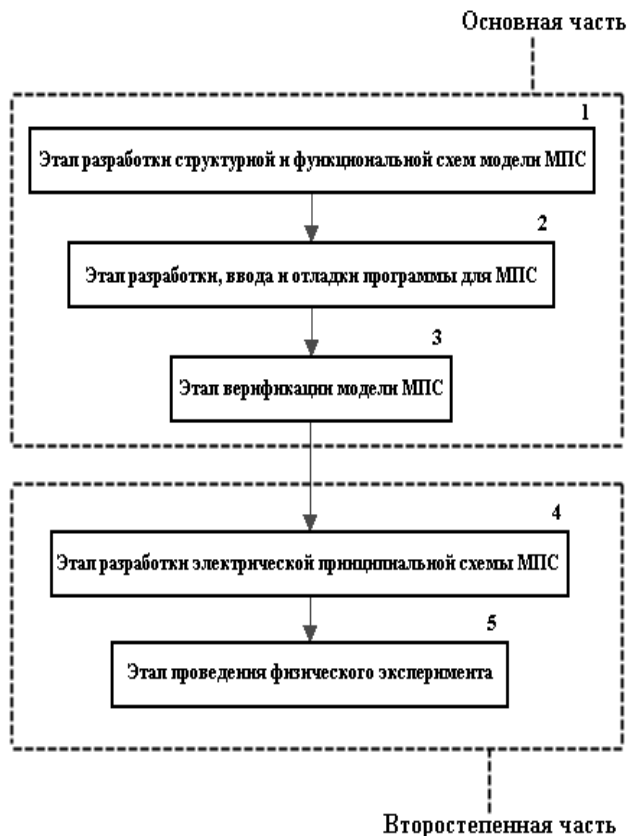


Рис. 5. Блок-схема процесса разработки МПС

X. ПРИМЕР РАЗРАБОТАННОЙ МПС С ПОМОЩЬЮ СРЕДСТВ СИСТЕМЫ DEEDS

В качестве примера рассмотрим МПС для управления объектом (см. рис. 6). В ней используются блоки моделей ведущего и ведомого устройств интерфейса SPI, блоки внешней памяти, системы таймеров, ЦАП и т.д.

МПС может принимать и обрабатывать информацию об объекте управления от двоичных датчиков и цифровые сигналы по интерфейсу SPI, вырабатывать управляющее воздействие в соответствии с программой управления, заложенной в МК, и подавать их на исполнительные механизмы, а также получать сигналы прерывания от различных источников, таких как: датчик напряжения питания, клавиши клавиатуры, датчик аварийной сигнализации и т.д.

Оператору предоставляется возможность управления МПС с помощью ввода информации с клавиатуры и вывода состояния системы на семисегментный индикатор и светодиоды.

В качестве характеристик данной МПС можно выделить:

- Общее количество используемых блоков примерно равно 6, а суммарное число компонентов в блоках — около 150.
- Число ассемблерных инструкций (строк кода) программы управления — около 600.
- Количество используемых меток в программе — около 130.
- Объём программы управления, занимаемый в памяти ПЗУ — около 1300 байт.
- Время прогона одного цикла программы управления в режиме анимации при максимально допустимой частоте синхросигналов МК в данном режиме, равной 25 КГц — около 14 минут.
- Время прогона одного цикла программы управления при временном моделировании — около 13 минут.

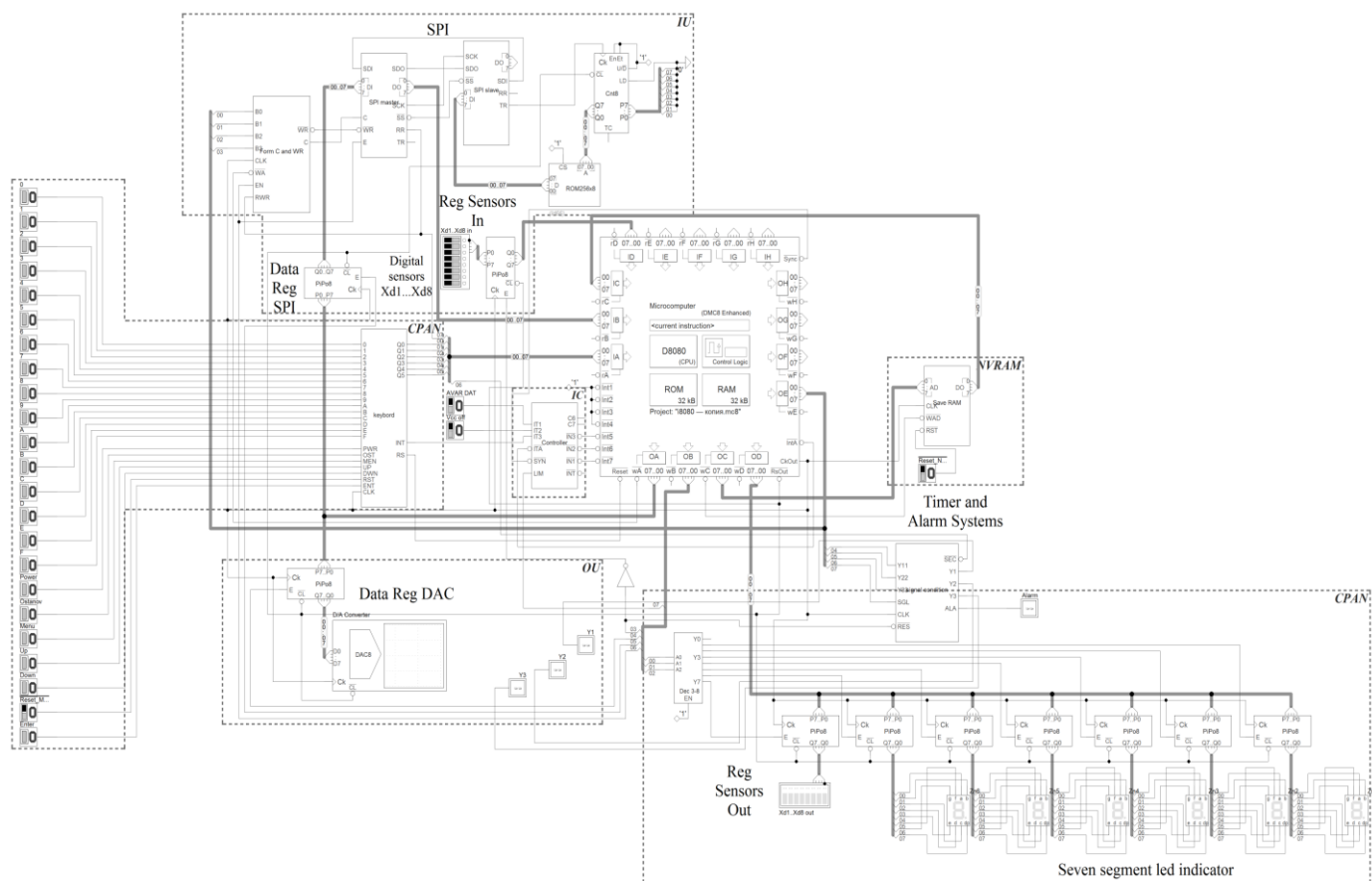


Рис. 6. Схема функциональная МПС на базе МК DMC8 Enhanced

XI. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ DEEDS В МЭИ

В настоящее время система моделирования Deeds используется экспериментально на кафедре ВМСС «НИУ «МЭИ» в двух курсах:

- Микропроцессорные системы — производится верификация курсовых проектов на базе МП с системой команд типа i8080
- Современные методы проектирования цифровых схем — обучение магистров, поступающих в «МЭИ» из других ВУЗов, где у них отсутствовал курс «Схемотехника ЭВМ»

Для упрощения реализации моделей курсовых проектов МПС на кафедре ВМСС созданы пользовательские блоки типовых последовательных интерфейсов (I2C, SPI, RS—232), контроллеры прерываний и клавиатуры, блок внешней памяти, система таймеров, а также библиотека интегральных микросхем промышленных серий KP1533 и KP1531 [6].

С их помощью упрощается проектирование и верификация индивидуальных курсовых проектов МПС.

XII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря учебным средствам, подобным системе моделирования Deeds, реализуется возможность обучения студентов непрофильных ВУЗов основам цифровой схемотехники, моделирования и проектирования МПС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Deeds — User Manual. — М.: University of Genoa, 2004. — 121 с. Giuliano Donzellini, Domenico Ponta.
- [2] Поляков А.К. DEEDS — УЧЕБНАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ АППАРАТУРЫ. Журнал. Современная Электроника №1. г. 2018, с.94-96.
- [3] [Электронный ресурс]. Официальный сайт программного обеспечения системы моделирования Deeds. URL: <https://www.digitalelectronicsdeeds.com>.
- [4] А.К. Поляков. Языки VHDL и VERILOG в проектировании цифровой аппаратуры на ПЛИС: учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012. — 220с.
- [5] [Электронный ресурс]. Официальный сайт программного обеспечения для отладочных плат ПЛИС фирмы Altera. URL: <https://www.altera.com/downloads/down-load-center.html>.
- [6] Петровский И.И. и др. Логические ИС KP1533, KP1554. Справочник. В двух частях. — М.: Бином, 1993. — Часть 1 — 254 с., часть 2 — 497 с.

Установки практикума по физике для ВУЗов с использованием цифровых датчиков и компьютерной обработки данных

Поваляев Олег Александрович
Хоменко Сергей Васильевич
ООО «Научные развлечения»
г. Москва, Россия

Ханнанов Наиль Кутдусович,
Автономная некоммерческая общеобразовательная
организация "Новая Черноголовская школа"
г. Черноголовка, МО, Россия

Аннотация — В работе обсуждаются методические преимущества, возникающие при использовании в лабораторных установках цифровых датчиков физических величин и компьютерной обработки получаемых от них данных при проведении традиционных работ физического практикума в рамках курса общей физики в вузе. Приведены примеры установок, в которых повышается точность результатов, удобство проведения работы, объем информации о процессе, получаемой за фиксированное время и т. п.

Ключевые слова — преподавание физики, физический эксперимент, цифровой датчик, компьютер

I. ВВЕДЕНИЕ

Исходя из того, что современный специалист должен уметь оперировать реальными объектами и системами, используя при этом современные методы получения и обработки данных, ООО «Научные развлечения», начиная с 2008 года, ведет разработку нового поколения установок для проведения лабораторных работ по физике и программного обеспечения к ним. Отличительной чертой создаваемых установок является применение в них цифровых датчиков физических величин, подключаемых непосредственно к компьютеру, который становится при этом не только источником информации, но и универсальным средством сбора данных и их обработки, инструментом для представления результатов и формирования отчета о работе. Методические возможности использования компьютера в школьном демонстрационном лабораторном эксперименте рассмотрены нами в ряде предыдущих публикаций [1,2]. Данная работа посвящена рассмотрению возможностей использования ИКТ в вузовском лабораторном практикуме по физике.

Круг объектов и явлений, исследуемых в рамках предлагаемых студентам лабораторных работ, определяется программами курса физики и давно сформировался. Большинство создаваемых лабораторных установок имеют традиционные названия и посвящены традиционно изучаемым в курсе физики явлениям.

Однако возможности, открываемые новыми технологиями получения и обработки данных, почти всегда приводят к существенному продвижению в точности результатов, полноте получаемых данных, объему обрабатываемой информации, повышению удобства работы и т. п. Во многих случаях встраивание датчиков в установку значительно меняет ее конструкцию, повышает понимание изучаемого явления и даёт возможность его более глубокого изучения.

В данной работе рассмотрено несколько примеров лабораторных работ из разных разделов физики, в которых преимущества цифровых методов сбора и обработки информации проявляются наиболее ярко.

II. ПРИМЕРЫ УСТАНОВОК ПРАКТИКУМА

A. Машина Атвуда

Машина Атвуда чаще всего используется в практикуме по общей физике для определения ускорения свободного падения g . Обычно она состоит из легкого блока и двух тяжелых (до 1 кг) грузов, на один из которых кладется перегрузок. В разработанной нами установке массы грузов около 100 г, а интервалы времени измеряются оптоэлектрическим датчиком, что в сочетании с методом обработки данных, основанном на использовании компьютера, позволяет не только измерить значение g , но и оценить момент инерции используемого блока, а также момент силы трения в оси блока.

В машине Атвуда, традиционно используемой в физическом практикуме, в одном пуске с помощью секундомера измеряется время движения груза от точки старта до остановки. Цифровой датчик и компьютер позволяют получить в одном пуске целую зависимость $s(t)$, что сокращает время эксперимента при постановке задачи об исследовании такой зависимости. В программе обработке имеется возможность выбрать вид функции, для которой компьютер подбирает по методу наименьших квадратов такие коэффициенты, чтобы график функции проходил максимально близко от экспериментальных точек. Компьютерный подбор коэффициентов уравнения $Y = AX^2 + BX$, при которых наилучшим образом описывается

экспериментальная зависимость, позволяет одновременно определить и ускорение ($a=2A$), и начальную скорость ($v_0 = B$). В разных пусках при фиксированной массе перегрузка начальная скорость груза будет разной, поскольку при ручном запуске грузы до первого перекрывания луча датчика разгонятся до разных скоростей. Ускорение же грузов при их движении будет одинаковым независимо от начальной скорости.

Рассмотрение теории движения грузов с учетом момента инерции блока и трения в оси блока показывает, что зависимость ускорения от массы перегрузка имеет вид $a(\Delta m) = k \cdot \Delta m + b$, где угловой коэффициент равен

$$k = \frac{g}{m + (J / r^2)}$$

и отсекаемый от вертикальной оси отрезок составляет $b = \frac{(M_{F_{тр}} / r)}{m + (J / r^2)}$. Поэтому если снять

зависимости $a(\Delta m)$ при двух разных суммарных массах грузов m' и m'' и получить два угловых коэффициента k' и k'' , то легко получить значение ускорения свободного падения

$$g = \frac{k'k''(m' - m'')}{k'' - k'}$$

В выражение не входят ни момент инерции блока, ни сила трения в его оси! Проведение такой операции с двумя наборными грузами, входящими в комплект оборудования к установке, не представляет труда. Получаемое студентами значение ускорения свободного падения с учетом погрешности близко к табличному значению. Измерив значение g по графикам, можно далее определить и момент инерции блока J , и момент силы трения $M_{F_{тр}}$.

В. Связанные маятники

Связанные маятники изучаются в рамках физического практикума по механике во многих вузах. В них обычно измеряется период колебаний маятников в фазе и противофазе по времени нескольких десятков колебаний, рассчитывается период биений и в ряде методик период биений оценивается экспериментально [3]. Разработанная нами установка для изучения колебаний связанных маятников представляет собой два одинаковых физических маятника, которые связаны двумя симметрично расположенными пружинами (рис. 1). Механическое стартовое устройство обеспечивает начальные условия, необходимые для реализации синфазных и антифазных колебаний. Степень связи маятников регулируется изменением точек фиксации пружин относительно центра вращения маятников. Маятники имеют датчики угловой скорости, с помощью которых запись колебаний осуществляется с временным разрешением 5мс. Это позволяет по осциллограмме определять период колебаний с точностью до 1мс, а частоту – с точностью 0,001Гц (рассматриваются характерные точки, например, пересечения нулевой линии, отстоящие друг от друга на 10-15 периодов). После выравнивания периодов свободных колебаний маятников с указанной точностью, выполняется эксперимент по определению частот

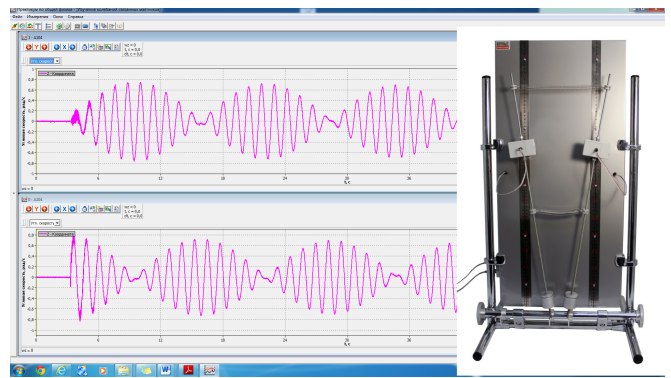


Рис. 1. Запись колебаний связанных маятников и внешний вид установки

синфазных и антифазных колебаний, а также регистрируются биения, возникающих при разности начальных фаз колебаний в $\pi/2$. Запись зависимости угловых скоростей маятников от времени (рис. 1) обеспечивает не только возможность сопоставления частоты биений с разностью частот синфазных и антифазных колебаний, но и доказательство того, что «быстрые» колебания происходят на частоте, равной полусумме этих частот. Нельзя не отметить, что расхождения между «теорией» и «экспериментом» не выходят за рамки точности определения частот и периодов колебаний, упомянутых выше.

С. Определение скорости звука

Определение скорости звука в вузовских установках [4,5] традиционно базируется на измерении сдвига фаз путем изучения фигур Лиссажу на экране осциллографа между двумя электрическими сигналами: подаваемого на звуковой динамик и снимаемого с микрофона на некотором расстоянии от динамика. Предлагаемая нами установка на основе регистрации звуковых волн двухканальным датчиком звука позволяет напрямую измерять время прохождения звукового импульса между двумя микрофонами, расположенными на некотором расстоянии друг от друга. Динамик управляется компьютером и включается на короткие промежутки времени. На экране компьютера наблюдаются 2 синусоиды, сдвинутые и по фазе колебаний давления вблизи микрофонов, и по времени начала регистрации сигнала (рис. 2). Такая визуализация процесса оказывается более простой для восприятия студента по сравнению с трактовкой фигур Лиссажу на осциллографе.

Задание к лабораторной работе включает определение скорости звука двумя способами, один из которых предполагает определение среднего значения длины волны по расстоянию между микрофонами, обеспечивающему совпадение фаз регистрируемых колебаний, с дальнейшим расчетом скорости по формуле $c = \lambda \nu$. Второй способ предполагает последовательную установку подвижного микрофона в нескольких произвольных точках, фиксацию моментов времени, в которые волна достигает этих точек, построение графика зависимости «пути от времени» и определение скорости звука как тангенса угла наклона этой зависимости (рис. 2).

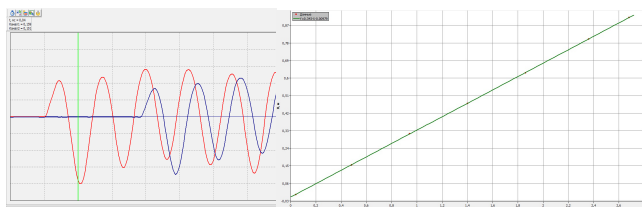


Рис. 2. Пример осциллограммы звуковых колебаний и определение скорости звука.

Тот и другой способ обеспечивают определение скорости звука с точностью около 1м/с, что не превосходит 0.3% от измеряемой величины.

Отметим, что кроме рассмотренной установки определение скорости звука проводится еще в нескольких установках, выпускаемых в ООО «Научные развлечения»: «Изучение формирования стоячей волны в трубке Кундта», «Определение скорости звука в воде», «Измерение зависимости скорости звука от температуры».

D. Изучение электростатического поля

Изучение электростатического поля на основе метода электролитической ванны традиционно базируется на использовании зонда [6] с одним электродом. В результате представление о напряженности поля различных источников в данной точке пространства возникает у студента только после полного окончания измерений потенциала в большом числе точек в ванне, построения картины эквипотенциальных поверхностей и восстановления по ней картины силовых линий поля. В предлагаемой установке используется четырех электродный зонд, измерение разности потенциалов между соответствующими парами электродов которого позволяет в режиме реального времени видеть проекции вектора \vec{E} в разных точках поля. Зонд перемещается в области поля по двум координатам, причем движение по X-координате осуществляется с помощью управляемого от компьютера устройства перемещения, а по Y-координате – вручную с последующим вводом установленной координаты в компьютер с клавиатуры. Регистрация напряжения между одним из создающих электрическое поле электродов (принимаемого за электрод с нулевым потенциалом) и одним из электродов зонда позволяет судить о величине потенциала в месте расположения зонда. Напряжения, измеренные с помощью осциллографического датчика напряжения, записываются в таблицу одновременно с координатами зонда. Результатом работы является построение трехмерного графика распределения потенциала в области между создающими поле электродами (рис. 3), а также сопоставление распределения напряженности поля и потенциала в эксперименте с аналитическими зависимостями.

В последнее время в ООО «Научные развлечения» организован выпуск таких установок как:

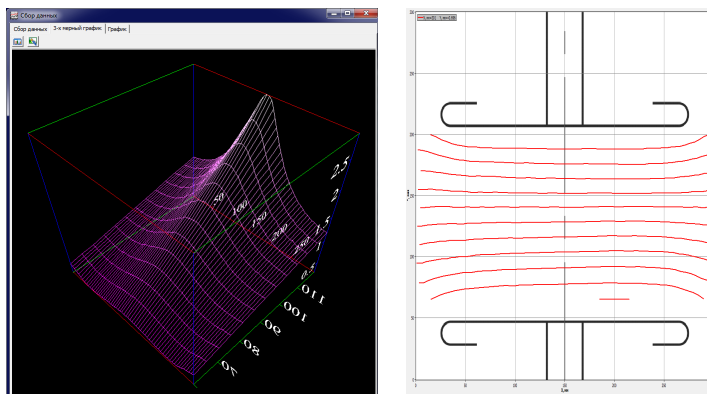


Рис. 3. Распределение потенциала в системе электродов стержень – плоскость и эквипотенциальные линии в системе плоских электродов

- Измерение силы, действующей на проводник с током в магнитном поле
- Определение постоянной Фарадея
- Электрохимическое определение универсальной газовой постоянной
- Изучение спектра водорода (на основе цифрового спектрометра)
- Определение коэффициента вязкости воздуха

Список выпускаемых установок постоянно пополняется за счет заказов новых установок, осуществляемых кафедрами ВУЗов РФ.

III. МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА

A. Формирование культуры составления отчета об экспериментальной работе

В традиционной методике проведения работ практикума не требуется приведение в отчете осциллограмм, интерференционных или дифракционных картин, спектров и т.п. Студент, зафиксировав явление на приборе, снимает с него показания, заполняет таблицу и строит график. Это отличает лабораторную работу от стандартного научного отчета в области физики, где первичные данные с прибора (спектр, картина с самописца и т.д.) всегда приводились как доказательство истинности результата, как материал для толкования другими исследователями, которое может не совпадать с толкованием авторов, быть даже экспериментальной ошибкой.

Использование ВЕБ – камеры, сохранение в ходе эксперимента данных о быстрых изменениях физических величин, измеряемых датчиками и сохраняемых в памяти компьютера, позволяет включить эти первичные данные в отчет. Отчет формируется в виде электронного документа (файла) в ходе выполнения работы.

Естественно, результаты обработки первичных данных (электронные таблицы, графики, построенные с помощью редактора таблиц) также попадают в электронный отчет вместе с формулировкой текстового вывода.

В. Уменьшение габаритов установок, повышение их эргономичности, ускорение получения данных при повышении точности измеряемых величин

Как известно, многие классические установки в механике (баллистический маятник, машина Атвуда) изготавливались значительных размеров для достижения большей точности в измерении временных интервалов. Возможность измерения коротких промежутков времени с помощью цифровых датчиков (оптоэлектрического, ультразвукового, ускорения) позволяет уменьшить габариты установок для вузовского практикума и сделать установку настольной. Как было сказано при обсуждении установки «Машина Атвуда», удается уйти от использования тяжелых (около 1 кг) грузов, подвешиваемых на нити, что при выполнении измерений делает работу существенно менее опасной. Также использование датчика позволяет получить в одном пуске данные, которые при традиционной методике можно получить только в 10 пусках, это существенно сокращает время выполнения рутинных операций и позволяет поставить дополнительные задачи при исследовании явления в отведенное для работы практикума время.

В других случаях, мы наоборот увеличиваем габариты деталей установок для придания им больше наглядности. Так в работах с электрическими цепями радиотехнические детали закреплены на крупных платформах с обозначениями элементов, что делает процесс сборки цепи более наглядным. В работе по измерению коэффициента поверхностного натяжения использование цифрового датчика силы позволяет измерить малое изменение на фоне «большого веса» габаритного стального кольца при отрыве его от поверхности воды.

Таким образом, повышается удобство работы, установка дает возможность провести многократные измерения одной и той же величины, достаточно быстро обработать эксперимент, накопить данные в памяти компьютера и провести их статистическую обработку.

Сокращение времени на проведение рутинных операций расширяет возможности включения в практикум и исследовательских задач.

Как показано при обсуждении работы по изучению связанных маятников, в ряде случаев точность измерений на установках, снабженных датчиками, оказывается невероятно большой (в случае биений частота биений с точностью 0,1% совпадает с расчетной). Повышению точности способствует и возможность накопления статистических данных в ходе выполнения многих работ.

С. Организация учебных исследований в школе

Хочется обратить внимание на еще одно возможное использование описанных установок. В настоящее время стандарт среднего образования также требует внедрения учебных исследований в процесс обучения. Школьные преподаватели физики крайне нуждаются в организации исследовательской деятельности школьников. В то же время технические

вузы заинтересованы в поступлении к ним абитуриентов, склонных к проведению физического эксперимента. На базе многих вузов создаются «исследовательские» центры для школьников. Многие из перечисленных установок позволяют организовать качественные учебные исследования, не вовлекая школьников в профессиональные проблемы исследователей, работающих в вузах. Иногда исследования преподавателей вузов выдаются за исследования школьников, что, на наш взгляд, не совсем корректно. Придумывание дополнительной для школьников деятельности в рамках профессиональных исследований требует зачастую большего времени, чем организация учебного исследования. Ведь его цель «субъективное» открытие школьником закономерностей явления, освоение метода научного познания. В то время как цель реального научного исследования – получение объективно нового научного результата. Предлагаемые работы, выполняемые на описанных установках, вполне могут быть адаптированы до уровня понимания школьников, изучающих физику на профильном уровне. А многие углубленные курсы физики для школьников напрямую включают тематику вузовских лабораторных работ. Единственно, чего следует избегать, при работе со школьниками – это использование дифференциальных уравнений и функций комплексного переменного, которые весьма распространены в методических рекомендациях для студентов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Ханнанов Н.К., Хоменко С.В., Сазонов М.М., Поваляев О.А., Использование ВЭБ - камеры для повышения наглядности демонстрационного эксперимента по физике, Физическое образование в вузах, 2011, Т. 17, N 1, с.59-67
- [2] Ханнанов Н.К., Жилин Д.М., Хоменко С.В., Цуцких А.Ю., Сазонов М.М., Поваляев О.А., Проблемы создания школьного компьютеризированного практикума по физике и возможные пути их решения, Физическое образование в вузах, 2009, т.15, №1, с.100-113
- [3] Исследование колебаний связанных маятников, Методическое руководство. Кафедра общей физики Саратовского ГУ им.Чернышевского Н.Г., Электронный ресурс, <http://www.sgu.ru/node/302/uchebnaya-rabota/obshchiv-fizicheskiv-praktikum>, дата обращения 25.11.14
- [4] А.В. Макиенко, Б.Г. Чернявский, Определение скорости звука фазовым методом в лабораторном практикуме, Физическое образование в вузах, 2012, №4, с.103
- [5] Паненко В.А., Определение скорости звука в воздухе с помощью электронного осциллографа: Методические указания к лабораторной работе, Кафедра физики, Белгородского ГТУ, электронный ресурс Единое окно доступа к образовательным ресурсам, <http://window.edu.ru/resource/753/29753>, дата обращения 25.11.14.
- [6] Лабораторная работа №201, Исследование электростатического поля, Методическое руководство, кафедры физики Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва, Единое окно доступа к образовательным ресурсам, Электронный ресурс <http://window.edu.ru/resource/288/46288>, дата обращения 25.11.14

Применение методов структурного математического моделирования для исследования температурного режима высокотемпературных печей сопротивления

Э.Ф. Сальманова, асп., В.П. Рубцов; д.т.н., проф., М.Я. Погребицкий, к.т.н., доц.
ФГБОУ ВО Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва, Россия

Аннотация — Представлены методика и результаты исследования температурного режима высокотемпературной вакуумной электропечи сопротивления с использованием математической структурной модели, реализованной в среде *MATLAB/Simulink*.

Ключевые слова — вакуумная печь сопротивления; температурный режим; нестационарные процессы; структурное моделирование; исследование.

I. ВВЕДЕНИЕ

Экспериментальные исследования температурного режима высокотемпературной вакуумной печи, требующие, в частности, проведения серий измерений температуры различных элементов конструкции и различных точек рабочего пространства печи, затруднены, а во многих случаях и неэффективны из-за значительной инерционности таких установок, энергоемкости исследований, трудности или невозможности прямого измерения ряда параметров. Многие электрические и тепловые задачи электротермии являются нелинейными, большинство электрических печей сопротивления (ЭПС) представляют собой объекты с распределенными параметрами, на протекание процессов в ЭПС влияет множество факторов, в том числе носящих вероятностный характер. Поэтому применение аналитических методов исследования электротермических установок (ЭТУ) также затруднено, целесообразно исследование температурного режима печи методами математического моделирования. Математическое моделирование тепловых процессов позволяет проводить исследование распределения температуры в нагреваемом изделии (загрузке), в том числе в динамических режимах, исследование переходных процессов изменения температуры элементов конструкции печи, выбор места установки датчика системы регулирования температуры, синтез регулятора температуры.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Одной из распространенных конструкций высокотемпературных печей сопротивления является так называемая печь Таммана, в которой нагреватель выполняется в виде угольной или графитовой трубы, а внутренность трубы является рабочим пространством

печи, в которое закладываются нагреваемые изделия. Достоинствами печи Таммана является возможность работы при температурах свыше 2000°C и высокая равномерность температурного поля. Для обеспечения защиты нагреваемых изделий от окисления или иного химического воздействия среды, в том числе при высокотемпературных лабораторных исследованиях, используются печи с контролируемой атмосферой, разработанные на основе печи Таммана. В таких печах технологические процессы проводятся в вакууме или в чистой защитной среде (например, аргоне).

Тепловое сопротивление теплоизоляции вакуумной печи Таммана представляет собой сумму тепловых сопротивлений излучения (экранной теплоизоляции) и теплопроводности (графитовых цилиндров). При расчете печи и моделировании тепловых процессов следует учитывать тот факт, что пренебречь тепловым сопротивлением теплопроводности графитовых экранов невозможно, в отличие от широко распространенных тонких металлических экранов.

Имитационная модель печи, разработанная на основе методов структурного моделирования, может эффективно использоваться при проектировании печи и ее системы управления, для определения основных параметров электротермической установки. Также такая модель может быть использована для исследования тепловых и электрических режимов электропечи и процессов в системах ее электроснабжения и управления, при настройке регуляторов температуры, а также в учебном процессе при освоении дисциплин, связанных с электронагревом сопротивления и автоматизацией электротехнологических установок.

III. ДОПУЩЕНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ

Разработанная математическая модель динамических процессов теплопередачи в печи основана на принципе энергетического баланса для макроэлементов печи [1].

При моделировании тепловых процессов в ЭПС были сделаны следующие допущения:

1. Каждый макроэлемент принимается однородным в тепловом отношении объектом, значения теплофизических

параметров (теплопроводность, теплоемкость, плотность и т. д.) неизменны во всем объеме макроэлемента.

2. Температура поверхности макроэлемента в любой момент времени принимается одинаковой по всей поверхности. В дальнейшем под температурой макроэлемента понимаем температуру поверхности, за исключением тигля и загрузки, для которых выделяются температуры на внутренней и наружной поверхностях тигля, а также на поверхности и в центре загрузки (температура на поверхности загрузки равна температуре внутренней поверхности тигля).

3. Задачу теплообмена в ЭПС считаем линейной (значения теплофизических параметров – независимыми от температуры).

4. Считаем, что теплообмен между макроэлементами ЭПС осуществляется только излучением, за исключением теплопередачи тигель-загрузка, осуществляемой теплопроводностью.

5. Пренебрегаем теплоемкостью металлоконструкций и газовой среды в печи.

IV. МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОПЕЧИ ТАММАНА В СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK

Уравнение энергетического баланса для i -го макроэлемента (для мгновенных значений мощностей) записывается в виде:

$$P_{Hi} = \sum P_{\text{ПРИХОД } i} + \sum P_{\text{РАСХОД } i} \quad (1)$$

где P_{Hi} – мощность, идущая на изменение температуры макроэлемента (мощность нагрева);

$\sum P_{\text{ПРИХОД } i}$ – суммарная мощность, приходящая к i -му макроэлементу;

$\sum P_{\text{РАСХОД } i}$ – суммарная мощность, передаваемая от i -го макроэлемента другим макроэлементам.

В предлагаемой модели печь Таммана *Рис. 1* была представлена системой из взаимосвязанных макроэлементов:

- 1 – нагреватель;
- 2 – тигель с загрузкой;
- 3 – экран 1;
- 4 – экран 2 с кожухом.

В энергетическом балансе, приведенном ниже, P_C – мощность, потребляемая из сети нагревательным блоком, P_{ij} ($i, j = 1 \dots 4$) – мощность, передаваемая от i -го макроэлемента j -му.

Энергетический баланс ЭПС:

- 1) Нагревательный блок:

Приход энергии: P_C ;

Расход энергии: $P_{12} + P_{13}$.

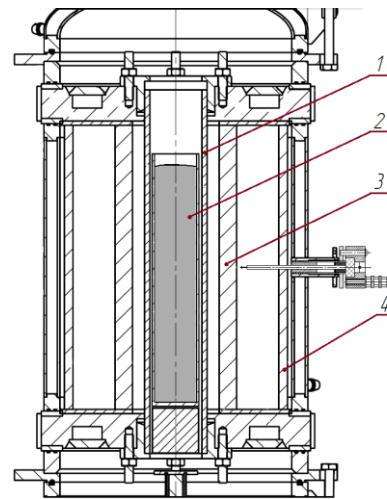


Рис. 1. Высокотемпературная вакуумная печь Таммана

- 2) Тигель с загрузкой:

Приход энергии: P_{12} ;

Расход энергии: принимаем равным нулю.

- 3) Экран 1:

Приход энергии: P_{13} ;

Расход энергии: P_{34} .

- 4) Экран 2 с кожухом:

Приход энергии: P_{34} ;

Расход энергии: P_{43} – мощность тепловых потерь ЭПС.

Запишем на основе (1) уравнения энергетического баланса для макроэлементов:

$$\begin{aligned} P_{H1} &= P_C - P_{12} - P_{13}; \\ P_{H2} &= P_{12}; \\ P_{H3} &= P_{13} - P_{34}; \\ P_{H4} &= P_{34} - P_{43}. \end{aligned} \quad (2)$$

Мощности P_{ij} определяются по закону Стефана - Больцмана:

$$P_{ij} = C_{ij} \cdot (\Theta_i - \Theta_j) \cdot F_{ij}, \quad (3)$$

где C_{ij} – приведенный коэффициент излучения;

F_{ij} – соответствующая расчетная поверхность;

Θ_i, Θ_j – температурные факторы для поверхностей соответствующих макроэлементов.

Температурный фактор определяется как:

$$\Theta = (T/100)^4,$$

где T – абсолютная (в кельвинах) температура.

Преобразуя (3), получаем

$$P_{ij} = g_{ij} \cdot [T_i^4 - T_j^4], \quad (4)$$

где $g_{ij} = C_{ij} \cdot F_{ij} \cdot 10^{-8}$

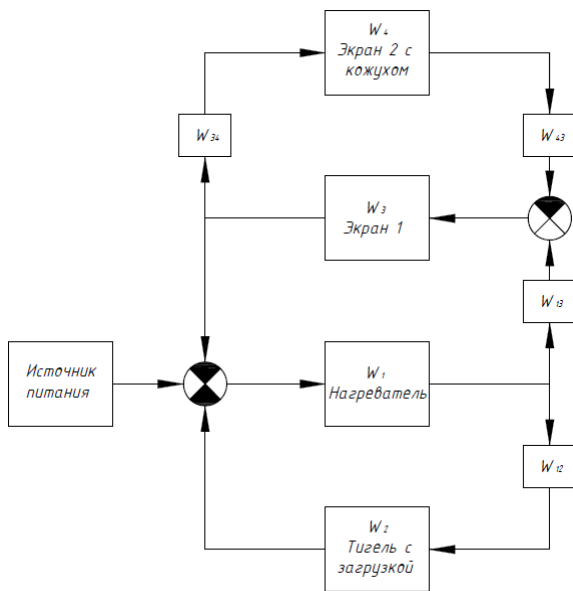


Рис. 2. Структурная схема ЭПС

Полученная на основе приведенных выше выражений структурная схема ЭПС представлена на Рис. 2, где W_1, W_2, W_3, W_4 – передаточные функции соответствующих макроэлементов, обеспечивающие связь между входным воздействием (мощностью нагрева макроэлемента) и выходной величиной (температурой поверхности), W_{ij} ($i, j = 1..4$) – передаточные функции связей между макроэлементами.

Структурная схема связи между макроэлементами (связь между температурой поверхности макроэлемента и мощностью, передаваемой им другому макроэлементу), приведена на Рис. 3.

Для получения математического описания макроэлементов, входящих в структурную схему Рис. 2, воспользуемся законами теплопередачи при граничных условиях 2-го рода (нагрев постоянным тепловым потоком).

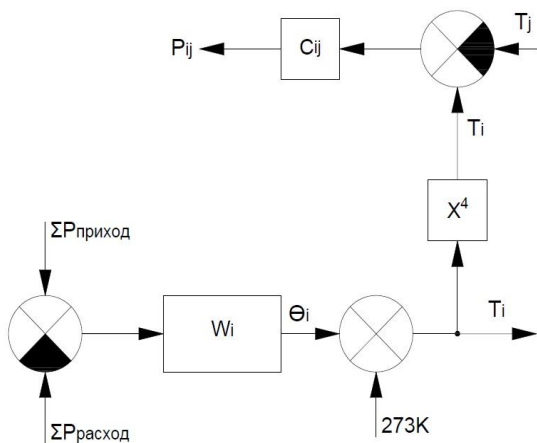


Рис. 3. Структурная схема связи между макроэлементами

Для нагревателей и экранов можно приближенно воспользоваться решениями дифференциального уравнения теплопроводности при граничных условиях 2-го рода для бесконечного цилиндра радиусом R . Решения представляют собой зависимость величины $2\lambda \cdot (\Theta - \Theta_0)/(qR)$ от критерия Фурье at/R^2 для цилиндра, где λ – теплопроводность материала; a – коэффициент температуропроводности материала; Θ_0 – начальная температура; $q = P_H/F$ – тепловой поток нагрева (F – площадь поверхности макроэлемента); t – время нагрева. Воспользуемся зависимостями, построенными для $r/R = 1$ (т. е. для поверхности).

Приближенно можно считать для этих участков $2\lambda \cdot (\Theta - \Theta_0)/(qR) = kat/R^2$, где k определяется как тангенс угла наклона касательной, проведенной к кривой в точке, соответствующей $F_0 = 0$.

Поскольку необходимо исследовать динамические характеристики загрузки, то макроэлемент 2 – тигель с загрузкой представляем подсистемой:

2.1 – тигель;

2.2 – загрузка.

Энергетический баланс:

1. Тигель:

Приход энергии: P_{12} ;

Расход энергии: $P_{2,2}$.

2) Загрузка:

Приход энергии: $P_{2,2}$;

Расход энергии: принимаем равным нулю.

Запишем уравнение энергетического баланса для макроэлементов:

$$P_T = P_{12} - P_{2,2};$$

$$P_3 = P_{2,2}. \quad (5)$$

Для проведения исследований на разработанной модели целесообразно использовать один из прикладных программных пакетов структурного моделирования систем, позволяющих представлять модель исследуемой системы в виде структурной схемы. К таким пакетам для персональных ЭВМ относится, например, *Matlab/SIMULINK* – проблемно-ориентированный язык, позволяющий моделировать динамические системы, включая нелинейные, импульсные и цифровые. *Matlab/SIMULINK* представляет собой инструментальную систему с интеллектуальным графическим интерфейсом, предоставляет пользователю широкий набор динамических блоков, позволяющий составлять структурные схемы различной сложности и формировать различные входные воздействия.

Блок-схема модели печи в среде *SIMULINK*, разработанная на основе структурной схемы Рис. 2 с учетом связей, показанных на Рис. 3, и передаточных функций, показана на Рис. 4 и Рис. 5.

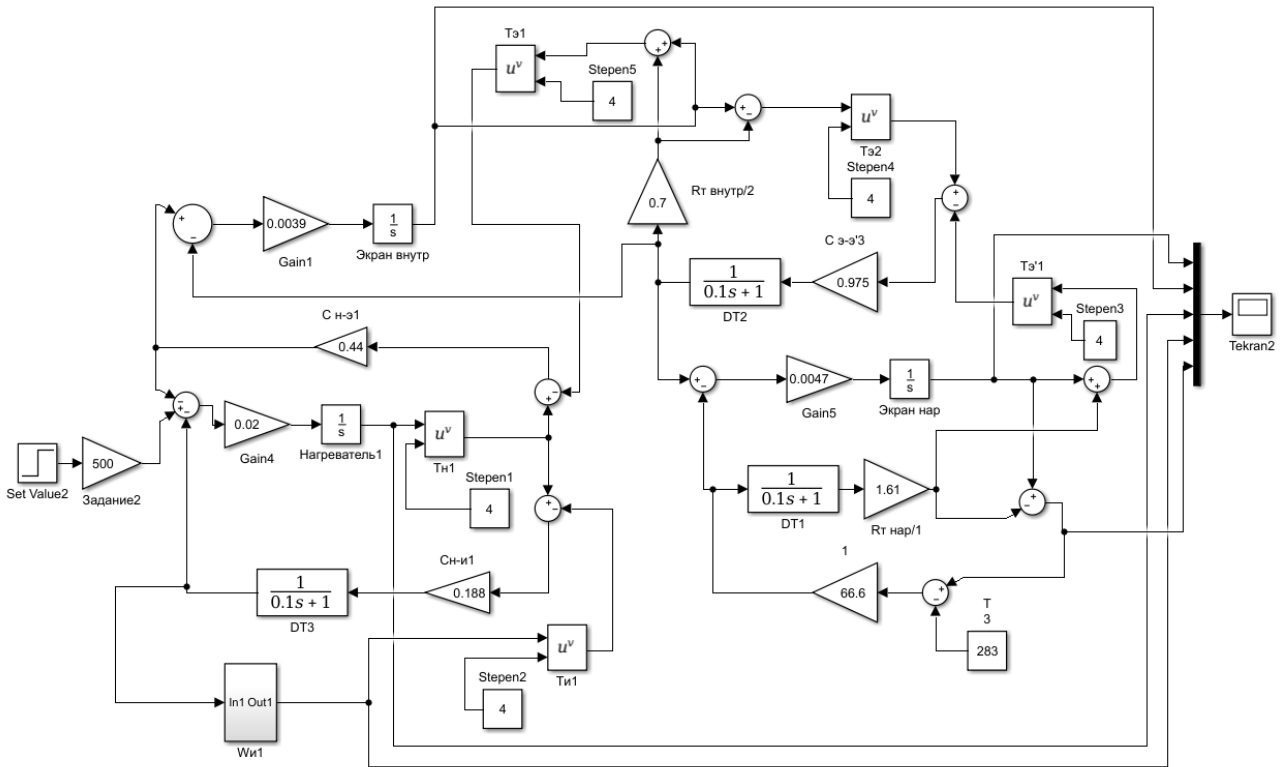


Рис. 4. Блок-схема Модели печи в среде SIMULINK

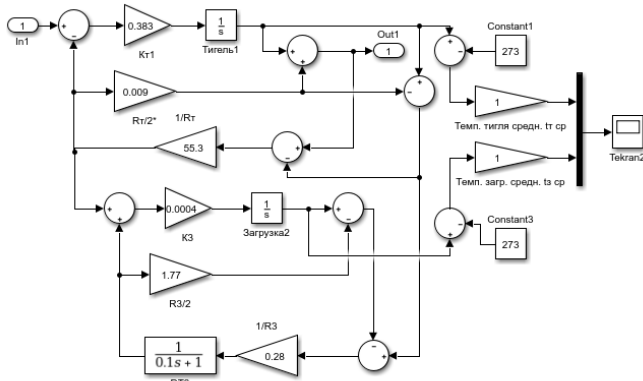


Рис. 5. Блок-схема модели печи, подсистема тигель с загрузкой в среде SIMULINK

Для передаточных функций соответствующих макроэлементов W_1, W_2, W_3, W_4 использованы интегрирующие входной сигнал блоки *Integrator* с коэффициентами полинома знаменателя, вводимыми с помощью блоков *Gain*.

Связи между макроэлементами W_{ij} ($i, j = 1 \dots 4$) описаны блоками *Math* с функцией «*pow*» (возведение в степень).

Для исключения алгебраических контуров (контуров, не содержащих инерционных звеньев) в схему добавлены блоки *Transfer fun* - блоки передаточных функций инерционных звеньев первого порядка, значения

постоянных времени которых (0,1 с) подобраны таким образом, чтобы они были значительно меньше, чем инерционность элементов конструкции печи. Таким образом, указанные звенья предотвращают возникновение ошибки при обсчете модели, но фактически не оказывают влияния на результаты моделирования.

Входное воздействие (задание температуры при замкнутой системе регулирования, а при разомкнутой – мощность, подаваемая на нагреватели печи) задается с помощью блока *Step* – генератора ступенчатого сигнала.

Все коэффициенты и константы определены в соответствии с методикой расчета вакуумных ЭПС на основе данных экспериментальной установки.

Результаты расчета (зависимости температуры макроэлементов от времени) выводятся в графическом виде с помощью блока *Scope*.

Используются методы интегрирования с переменным шагом (*Variable-step*), адекватность моделирования при относительно малом времени счета достигается при применении метода *ode23tb (stiff/TR-BDF2)*, когда в начале решения *MATLAB* использует неявный метод Рунге-Кутты, а в дальнейшем – метод, использующий формулы обратного дифференцирования 2-го порядка [2].

Использован автоматический выбор шага интегрирования (*auto*), в этом случае максимальный шаг (*Max size*) равен разности конечного и начального времени,

разделенной на 50 $((StopTime-StartTime)/50)$. Точность вычислений также настраивается по умолчанию.

V. МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОПЕЧИ ТАММАНА С СИСТЕМОЙ НЕПРЕРЫВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK

Разработанная модель электропечи Таммана позволяет проводить исследования при неизменной во времени мощности, подаваемой на нагреватели (т.е. в разомкнутом режиме - без регулятора температуры *Рис. 4*), а также при работе замкнутой системы регулирования температуры с пропорционально-интегрально-дифференциальным (ПИД) регулятором.

Процесс автоматического регулирования температурного режима в печи Таммана характеризуется следующими особенностями:

1. Электрическая печь сопротивления с точки зрения управления представляет собой сложный комплекс, состоящий из нагревателя, теплоизоляционных экранов, изделия и термоэлектрического термометра, связанных друг с другом процессом теплообмена, причем каждый из них обладает своей тепловой инерцией, что чрезвычайно усложняет расчет тепловых переходных процессов и анализ динамики процесса регулирования.

2. Температуры в отдельных частях камеры печи Таммана могут сильно различаться. Поверхности нагревателя, загрузки и экранов имеют различные температуры, кроме того, они нагреваются не всегда равномерно. Более того, температура рабочего конца термопары, а следовательно, и регулируемая температура, будут зависеть от его расположения в камере печи. От этого расположения могут зависеть также качество регулирования, устойчивость непрерывного регулирования, размах колебаний температуры при позиционном регулировании.

3. Электрическая печь сопротивления является объектом с самовыравниванием. При повышении температуры увеличиваются ее тепловые потери, поэтому график нагрева носит экспоненциальный характер, в конечном счете в печи само собой устанавливается положение равновесия.

На *Рис. 6* представлена структурная схема системы непрерывного регулирования температуры ЭПС с ПИД-законом регулирования. Необходимо обратить внимание на то, что регулятор мощности описывается безынерционным звеном *Saturation* с ограничением, причем нижнее ограничение равняется нулю, а верхнее ($P_{НОМ}$) определяется как U^2/R , где U – номинальное напряжение питания, R – сопротивление нагревателя.

Блок-схема модели печи Таммана с системой непрерывного регулирования температуры в среде *SIMULINK* представлена на *Рис. 7*.

В данной модели датчик температуры (термопара или термометр сопротивления) представляется инерционным звеном 1-го порядка с постоянным времени $T_{ДТ}$ (*Transfer fan*).

Пропорциональная составляющая закона регулирования задается блоком-усилителем *Gain*, интегральная составляющая – блоком-усилителем *Gain*, соединенным последовательно с блоком *Integrator*, дифференциальная составляющая – блоком-усилителем *Gain*, соединенным последовательно с блоком вычисления производной *Derivative*.

Из литературных источников [3] известны ориентировочные значения коэффициентов пропорциональной $K_{П}$, интегральной $K_{И}$ и дифференциальной $K_{Д}$ составляющих, используемые при настройке ПИД-регулятора и зависящие от постоянного времени ЭПС T и от общего коэффициента передачи ЭПС K :

$$\begin{aligned} K_{П} &= 1,5 \cdot K; \\ K_{И} &= K/T; \\ K_{Д} &= T/8. \end{aligned} \quad (6)$$

Где общий коэффициент передачи ЭПС находится как:

$$K = K_{р} \cdot K_{П}, \quad (7)$$

где $K_{р}$ -коэффициент передачи регулятора мощности, $K_{П}$ -коэффициент передачи ЭПС.

Так же $K_{П}$ рассчитывается как единица, отнесенная к сумме всех тепловых сопротивлений футеровки, как самый инерционный макроэлемент ЭПС. зависимости температуры макроэлементов от времени

$$K = 1/\Sigma R, \quad (7)$$

При П - регулировании известна зависимость для номинальной мощности ЭПС от температуры и коэффициента передачи и определяется как:

$$P_{НОМ} = K_1 \cdot K_{р} \cdot (\Theta_{зад} - \Theta), \quad (8)$$

где, $P_{НОМ}$ – номинальная мощность, вводимая в ЭПС, K_1 – коэффициент передачи П-регулятора, $\Theta_{зад}$ – заданная температура, Θ – реальное значение температуры.

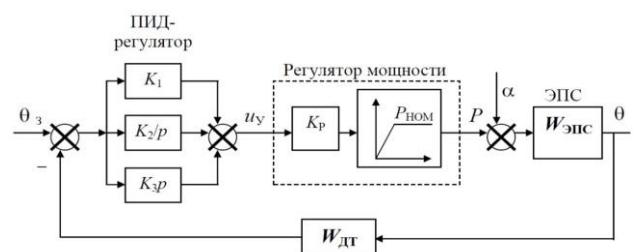


Рис. 6. Структурная схема системы непрерывного регулирования температуры ЭПС с ПИД-законом регулирования

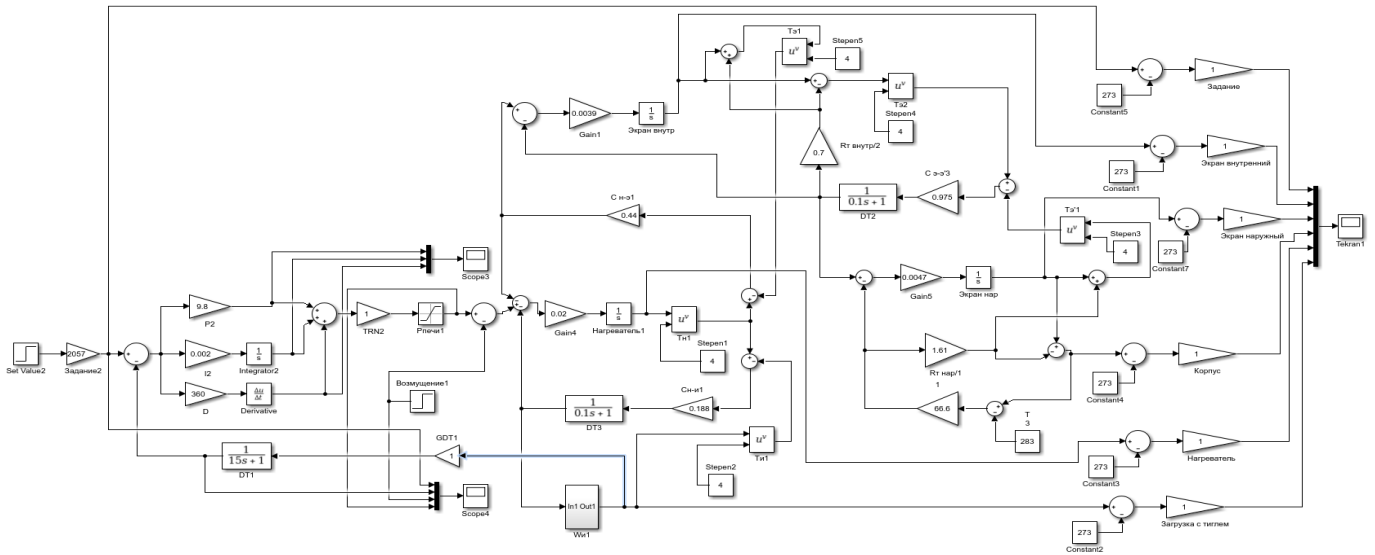


Рис. 7. Блок-схема модели печи Таммана с системой непрерывного регулирования температуры в среде SIMULINK

VI. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Разработанная модель высокотемпературной печи позволяет определять не усредненную температуру печи, а температуры отдельных элементов конструкции (нагреватели, экраны и т.д), что важно для определения срока их службы.

Также предложенную модель удобно использовать для настройки ПИД-регулятора т.е. для подбора значений коэффициентов при пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих закона регулирования, обеспечивающих желаемое качество регулирования (перерегулирование, время переходного процесса, колебательность и т.д.).

Колебания тепловых потоков и температур в элементах печи зависят не только от инерции самой печи и термоэлектрического термометра, но и от расположения термопары в печной камере, что является особенно важным для системы автоматического регулирования температуры в печи Таммана.

Когда в печи отсутствуют или малы внутренние возмущения, а основными из внешних являются, как это чаще всего бывает, колебания напряжения питающей сети, то датчик целесообразно устанавливать вблизи нагревательных элементов, так как их температура в большей степени изменяется при изменении напряжения питания в сравнении с загрузкой и теплоизоляцией.

Но если брать за основу конструктивное исполнение печи Таммана, а также высокую температуру в рабочем пространстве (учитывая, что приемлемый срок службы термопар достигается только при температурах не выше 1800°C), то расположение вблизи загрузки, а также вблизи поверхности нагревателя становится нежелательным.

С помощью реализованной модели можно подобрать наиболее оптимальное место расположения термопары и вычислить необходимую поправку при определении задания температуры (уставки системы регулирования) относительно конечной температуры нагрева загрузки.

VII. ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ

Разработанная модель найдет применение при проектировании и исследовании режимов электрических печей типа печи Таммана, подход, использованный при построении модели, применим и к другим высокотемпературным печам сопротивления. Преимуществами разработанной модели являются физичность, наглядность построения модели и представления результатов исследования. Также модель может применяться в учебном процессе для исследования влияния различных факторов (места установки датчика температуры, задание регулятора, применяемые материалы и т.д.) на протекание термического процесса и на распределение температур в загрузке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] А.Р. Минеев, А.И. Коробов, М.Я. Погрёбиский «Моделирование электротехнологических процессов и установок.» М.: Компания Спутник+, 2004.
- [2] С.Г. Герман-Галкин «Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК.» СПб.: КОРОНА-Век, 2008
- [3] А.Д. Свенчанский «Электрические промышленные печи. Электрические печи сопротивления (часть 1)» Учебник для вузов в 2-х ч. - 2-е изд., перераб. - М.: Энергия, 1975
- [4] А. М. Кручинин, К. М. Махмудов, Ю. М. Миронов, В.П. Рубцов, А.Д. Свенчанский/под ред. А. Д. Свенчанского «Автоматическое управление электротермическими установками.» М.: Энергоатомиздат, 1990.

Виртуальный лабораторный практикум по электротехническим материалам

А.А.Сутченков, А.И.Тихонов

ФГБОУ ВО НИУ МЭИ: кафедра Физики и технологии электротехнических материалов и компонентов

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Москва, Российская Федерация

SutchenkovAA@mpei.ru, TikhonovAI@mpei.ru

Аннотация — Статья посвящена виртуальному лабораторному практикуму (ВЛП) по электротехническим материалам, функционирующему в Интернете, рассмотрены классификация лабораторных практикумов, структура ВЛП, вопросы подготовки данных и создания виртуальных стендов с помощью «сборочной технологии», административная система, позволяющая автоматизировать подготовку индивидуальных вариантов заданий и проверку преподавателями отчетов студентов.

Ключевые слова — лабораторные практикумы удаленного доступа, виртуальные лабораторные практикумы, расщепленный эксперимент, электротехнические материалы

I. ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные практикумы (ЛП) являются неотъемлемой частью инженерного образования. Традиционно лабораторное оборудование располагается в специализированных помещениях – лабораториях. Как правило, учебная лаборатория оснащена однотипными стендами, обеспечивающими одновременное проведение занятий группой студентов. Следует заметить, что учебная лаборатория является наиболее ресурсоемкой компонентой образования, требующей значительных затрат на размещение и обслуживание оборудования. Это накладывает отпечаток на организацию учебного процесса. В связи с материальными ограничениями каждая из лабораторных работ представлена двумя-тремя стендами. На каждом из стендов проводят измерения несколько студентов: один студент измеряет, второй записывает результаты измерений, а остальные играют роль статистов. Заметим также, что ВУЗы часто используют ЛП от одних и тех же разработчиков, различающихся лишь методикой проведения работ. Кроме того, стенды ЛП по дисциплинам специализации могут использоваться один-два раза в учебном году. Решение вышеуказанных проблем состоит в использовании лабораторных практикумов удаленного доступа (ЛПУД), обеспечивающих совместное (сетевое) использование ЛП. В настоящее время, как за рубежом, так и в России, используются ЛПУД по различным дисциплинам, включая электронику, электротехнику, материаловедение, химические технологии [1-12]. В тоже время ЛПУД получили ограниченное применение, связанное с:

- высокой стоимостью разработки и эксплуатации;

- необходимостью их круглосуточного обслуживания на стороне лабораторного оборудования;
- продолжительность изучаемых явлений не должна превышать длительности занятия.

Сказанное выше требует поиска подходов к построению и организации ЛП, позволяющих повысить доступность и эффективность этого вида учебных занятий при одновременном снижении затрат.

II. КЛАССИФИКАЦИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ПРАКТИКУМОВ

Для решения поставленной задачи проведем классификацию ЛП, применяемых в современном учебном процессе. Представим ЛП в виде уровневой структуры, на верхнем уровне которой находится исследователь (И), а на нижнем объект исследования (рис.1).

Как правило, межуровневое взаимодействие осуществляется на их границе, не затрагивая другие уровни. Это позволяет удалять или заменять, функциональные средства уровня при условии сохранения протоколов межуровневого взаимодействия [13].

Исследователь осуществляет взаимодействие с объектом исследования ОИ с помощью пользовательского интерфейса (У2) и организационного, методического и информационного обеспечения (У3).

У1. Исследователь(и) (И)
У2. Пользовательский интерфейс на стороне исследователя
У3. Методическое, организационное, информационное обеспечение ЛП, включая средства хранения, обработки и представления экспериментальных данных
У4. Средства передачи данных
У5. Средства управления экспериментом, обработки, хранения данных, полученных от объекта исследования (ОИ) и И
У6. Средства взаимодействия с ОИ (приложение управляющих воздействий к ОИ, получение реакции ОИ на воздействия, поддержка работоспособности)
У7. Объект(ы) исследования (ОИ)

Рис.1. Уровневое представление ЛП

Уровень У3 является уровнем, дополняющим пользовательский интерфейс и обеспечивающим удобство проведения ЛП. Интеграция средств уровня У3 в пользовательский интерфейс позволяет непосредственно перед проведением лабораторной работы (ЛР) прочитать описание, познакомиться с методикой её проведения, средствами обработки и представления экспериментальных данных.

Отличие между традиционным ЛП и ЛПУД находится на уровне У4, который обеспечивает передачу данных между исследователем и ОИ. Предполагается, что в этот уровень встроены средства обеспечения взаимодействия, как на стороне объекта исследования, так и на стороне исследователя. Представляется, что уровень У4 построен на стеке протоколов ТСП/Р, что обеспечивает возможность применения ЛПУД в Интернете.

Пятый уровень обеспечивает преобразование команд, полученных от исследователя в управляющие воздействия, промежуточное хранение результатов измерений, организацию взаимодействия между несколькими ОИ и И, в том числе организацию и обслуживание очередей на проведение экспериментов. В случае необходимости непосредственного вмешательства в проведение эксперимента данный уровень обеспечивает взаимодействия между обслуживающим персоналом и исследователем.

Шестой уровень ответственен за взаимодействие с ОИ: задание управляющих воздействий, получение реакций ОИ на них, преобразование реакций к виду, удобному для последующей обработки и передачи на уровни, расположенные выше. При реализации ЛПУД это, пожалуй, наиболее трудоёмкая часть практикума, если необходимо обеспечение механических воздействий на ОИ, автоматизация проведения эксперимента.

Последним седьмым уровнем является собственно объект исследования. Рассматриваемые ниже классификации связаны с модификацией содержимого и удалением рассмотренных уровней.

В рамках уровня представления традиционный лабораторный практикум представляет собой сочетание уровней У1-У3;У6-У7, остальные уровни, представленные на рис.1, отсутствуют. Казалось бы, превращение ЛП в ЛПУД сводится к добавлению уровней У4-У5. Однако надо принимать во внимание необходимость обеспечения доступа к оборудованию. Простое добавление средств удаленного доступа к традиционной ЛП может привести лишь к увеличению трудоёмкости учебного процесса.

Рассмотрим, какие ограничения накладывает удалённый доступ на проведение ЛП (уровни У1-У3).

Немаловажным требованием (Т1) является *доступность* ресурсов ЛПУД 24 часа в сутки, семь дней в неделю, что даёт возможность выполнять ЛР в удобное для обучаемых время в том числе в выходные дни. Естественно, что это не всегда возможно особенно в случае ручного обслуживания ОИ, но к выполнению данного требования необходимо стремиться, особенно при создании новых ЛПУД.

Вторым требованием (Т2) является *минимальное время ожидания* при взаимодействии с ЛПУД. Это требование является обязательным, связано с тем, что при удалённом доступе у студента отсутствует непосредственный контакт с ОИ, преподавателем и обслуживающим персоналом. Задержки воспринимаются как недоступность ЛПУД. Считается, что время ожидания при работе с Интернет-приложениями не должно превышать 30 секунд. В противном случае пользователи перестают с ними работать. Если задержки являются запланированной особенностью ЛПУД, то необходимо, во-первых, давать пользователю в реальном времени информацию об оставшемся времени ожидания, а, во-вторых, продумать, чем занять обучаемого во время вынужденных пауз, иначе эффективность применения ЛП будет стремиться к нулю.

К требованию Т2 относится также ограничение на время проведения ЛР, которое должно находиться в диапазоне 2х или 4х академических часов. Это накладывает серьёзные ограничения на выбор ОИ, для которых можно реализовать ЛП. Решением этой проблемы может быть изменение длительности исследуемых процессов, что обсуждается ниже.

На стороне пользователя необходимо стремиться к выполнению требования минимальной или даже нулевой установки программного обеспечения (ПО) (требование Т3). Это обусловлено тем, что при дистанционном обучении, которое является основным потребителем ЛПУД, установку и обслуживание ПО пользователи осуществляют самостоятельно. Для доступа к ЛПУД могут использоваться не только настольные компьютеры, но и мобильные устройства. С требованием Т3 связаны и лицензионные ограничения на программное обеспечение. Если в корпоративной сети ВУЗа учёт и контроль использования лицензий на программное обеспечение является решаемой задачей, то при необходимости установки программ на компьютеры обучаемых задача учёта лицензий становится практически нерешаемой. Представляется, что выполнение требования Т3 необходимо осуществлять по двум направлениям: во-первых, использованием, где это возможно свободно распространяемого ПО, а, во-вторых, максимальным применением на стороне пользователя приложений, функционирующих в контексте веб-браузера. Такой подход обеспечивает, во-первых, *нулевую установку* ПО на стороне обучаемого – все, что необходимо, будет загружено и выполнено в веб-браузере, а, во-вторых, с разработчика ЛПУД снимается обязанность обеспечивать функционирование клиентской части ПО под управлением различных операционных систем. Такое веб-приложение может выполняться не только на персональных компьютерах, но и на мобильных устройствах.

При таком подходе все основные действия и вычисления проводятся на уровне У5, снимаются вопросы с лицензированием ПО на стороне пользователя. Графический пользовательский интерфейс используется только для отображения результатов эксперимента и для ввода при необходимости команд управления экспериментом.

Естественно, у данного подхода имеются недостатки, связанные с ограниченными выразительными возможностями пользовательских веб-интерфейсов и повышением требований к вычислительным мощностям на стороне ЛПУД.

Следующим требованием (Т4) является *интеграция* всех компонентов, необходимых для работы с ЛПУД, на стороне пользователя. Это требование легко выполнимо при использовании веб-интерфейсов, т.к. достаточно создать набор документов информационного обеспечения ЛП и опубликовать их на веб-сайте в виде веб-страниц или видеосюжетов. Несколько сложнее встроить в веб-интерфейс средства обработки и представления результатов проведённых экспериментов. Однако это возможно при использовании систем научно-технических расчётов, включая свободно распространяемые ресурсы для статистической обработки и представления экспериментальных данных, а также экосистемы на основе языка программирования Python.

Создание ЛПУД является дорогим и технически сложным мероприятием. В связи с этим определим экологические ниши, для которых создание и применение в образовательном процессе ЛПУД представляется целесообразным.

Во-первых, это автоматизированные ЛПУД (АЛПУД), рассчитанные на массовую аудиторию и круглосуточный доступ. АЛПУД предполагают высокую автоматизацию проведения экспериментов. В связи с этим на изучаемые объекты исследования накладываются жёсткие рамки – время ожидания доступа к ОИ и проведение экспериментов должно не превышать единиц секунд. В зависимости от времени проведения единичного эксперимента такие практикумы строятся по схеме $1-\infty$ (один ОИ – несколько пользователей) или $\infty-\infty$ (несколько ОИ – несколько пользователей). В любом случае необходимы организация очередей доступа к ОИ, промежуточное хранение, предварительная обработка результатов эксперимента перед отправкой их обучающимся. Данные вопросы хорошо проработаны при построении высоконагруженных веб-приложений и в ряде случаев могут быть практически без изменений использованы в ЛПУД.

Массовые АЛПУД в основном используют схему *активного* эксперимента, когда у пользователя есть возможность оказывать управляющие воздействия на ОИ. В качестве примера можно привести примеры АЛПУД по электротехнике и электронике [1], а также АЛПУД по электромеханическим системам [14]. Массовые АЛПУД используются в различных образовательных учреждениях, со сложившимися у преподавателей представлениями о методике проведения ЛП. Именно поэтому в АЛПУД массового применения должны присутствовать методическая свобода, достигаемая за счёт избыточности ОИ, а также построения ЛПУД в виде «конструктора», с возможностью «собирать» ЛР из элементов, изменяя, переставляя, исключая отдельные элементы.

Здесь же необходимо затронуть ещё одну особенность массовых АЛПУД – *вариативность*, мы его выделим в

отдельное требование Т5. Если АЛПУД имеет ограниченное число вариантов индивидуальных заданий на выполнение, то, скорее всего, через ограниченное время, в Интернете появится ресурс, где можно на некоторых условиях получить либо данные для оформления лабораторных работ, либо полностью оформленные отчёты по ним. Для борьбы с этим явлением необходимо применять комплекс мер, включающий в себя возможность изменения ОИ, комплекса внешних воздействий, наличие большое число вариантов проведения ЛР, возможность автоматизированного прокторинга – наблюдения за процессом выполнения ЛР.

С вариативностью АЛПУД связана ещё одна проблема – необходимость снижения трудоёмкости проверки отчётов обучаемых, число которых может быть достаточно большим. Эта проблема успешно решается при автоматизированной проверке заданий обучаемых при проведении MOOK [15] с той разницей, что полностью автоматизированная проверка результатов выполнения ЛР вряд ли целесообразна, взаимодействие между преподавателем и учащимися при выполнении и особенно защите ЛР должно сохраняться. Автоматизированная проверка отчётов при этом заключается в контроле допустимости исходных данных и полученных результатов.

Вторым направлением создания ЛПУД является обеспечение доступа к сложному, а в ряде случаев и уникальному оборудованию. Такие ЛПУД реализуют пассивный эксперимент, когда обучаемый может получать данные и наблюдать за ОИ, но не оказывать на него управляющих воздействий. В качестве интересного примера можно привести АЛПУД, построенный на основе трансформаторной подстанции, позволяющий в реальном времени анализировать качество и эффективность электроснабжения большой организации [16]. Практикум свободно доступен в любое время суток через Java-приложение. В отличие от других АЛПУД здесь предоставляется только доступ к оборудованию в режиме наблюдения, методическое обеспечение проведения ЛР ложится на плечи преподавателей, проводящих занятия.

III. ВИРТУАЛЬНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОМУ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЮ

Применение АЛПУД ограничено рядом факторов: это высокая стоимость разработки и эксплуатации, необходимость их круглосуточного обслуживания, ограничения на длительность процессов, протекающих в ОИ. В качестве примера можно привести процессы роста монокристаллов, длительность которых может достигать нескольких дней или даже недель. Не следует забывать также о требовании вариативности (Т5), рассмотренном выше.

Возможно несколько подходов решения данной проблемы, все они связаны с модификацией или заменой ОИ на уровне У7 (рис. 1). При использовании виртуальных лабораторных практикумов (ВЛП) объект исследования заменяется его математической моделью, а реальное оборудование виртуальным. Это несколько отдаляет обучаемого от реального объекта исследования.

Однако ВЛП позволяет работать с явлениями, которые нельзя использовать в учебном процессе, например радиационными воздействиями на объект исследования. Применение моделей позволяет менять временные масштабы процессов и изучать их во временных рамках ЛР. Кроме того, временное масштабирование обеспечивает проведение большого числа опытов. ВЛП решает проблему с лабораторным оборудованием – математическую модель можно выполнять в любое время, на любом числе компьютеров, тем самым проводить занятия фронтально с большим количеством обучаемых.

Для заочно-дистанционной формы обучения ВЛП может быть основным средством проведения лабораторных работ. При очной форме обучения ВЛП может использоваться как дополнение к реальному практикуму при необходимости выполнения работ, для которых у ВУЗа нет материальной базы.

Перейдем к рассмотрению ВЛП по электротехническим материалам (ЭТМ) и задачам, были решены при его разработке. Вернемся к ОИ. Как показывает практика, практически отсутствуют адекватные математические модели ЭТМ. В связи с этим в ВЛП ЭТМ в качестве виртуальных данных для проведения опытов используются экспериментальные данные, полученные в лаборатории кафедры ФТЭМК, и литературные данные из справочников и научных публикаций. Эти данные при выполнении виртуальной работы, «проигрываются» лабораторными стендами и отображаются обучаемому. Происходит расщепление эксперимента: данные реальных экспериментов сохраняются, обрабатываются, а затем воспроизводятся в ВЛП [17, 18]. В литературных источниках в основном встречаются зависимости одного электрофизического параметра электротехнических материалов от внешнего воздействия, например температуры, частоты, приложенного напряжения, при фиксированных других параметрах. Обычно приводится одно- или двухпараметрическое семейство зависимостей, например, температурные зависимости относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь при различных частотах. Данная особенность предметной области потребовала анализа, отбора экспериментальных и литературных данных, в ряде случаев их перепроверки, а также создания специализированных процедур сглаживания и аппроксимации. Последнее позволяет строить непрерывные зависимости выходных параметров в пространстве параметров эксперимента. Входные данные расщепленного эксперимента, как правило, подготавливаются в виде таблиц. Электротехнические материалы характеризуются большим числом параметров, это требует средств работы с разнотипными данными. Для этого каждый опыт подготавливается в формате JSON [19] и хранится в базе данных. Вариативность (рассмотренное выше требование Т5) – индивидуализация лабораторных заданий, обеспечивается административной системой (АС). АС обеспечивает компоновку заданий из отдельных опытов. При этом для каждого опыта обучаемому предлагается не один, а два-три виртуальных образца. Тем

самым обеспечивается отсутствие повторений и избыточность заданий. Например, для некоторого опыта имеется 35 виртуальных образцов. Если ограничиться одним образцом, то имеем 35 вариантов, если двумя, то число вариантов заданий будет $C_{35}^2 = 595$. Автоматически сгенерированные задания также хранятся в JSON формате в базе данных. Привязка заданий ЛР к пользователю осуществляется случайным образом при его первой авторизации в ВЛП. Индивидуальный вариант с опытами передается специальной программе-загрузчику. Преобразование задания в данные, отображаемые виртуальным лабораторным стендом, осуществляется непосредственно на клиентском компьютере.

ВЛП ЭТМ [20] является серверным веб-приложением ASP.Net, которое включает в себя:

- электронные учебники для различных направлений подготовки;
- базу данных с вариантами лабораторных работ;
- лабораторные стенды-проигрыватели, выполненные в виде Web-страниц с клиентскими flash-приложениями;
- административную систему;
- руководства преподавателя по работе с ВЛП;
- описания лабораторных работ для студентов.

На рис. 2 приведена структура и данные ВЛП ЭТМ.

Разделы электронного учебника выполнены в формате pdf, запускаются в окне ВЛП и имеют удобную систему навигации. При желании студент может скачать учебник и распечатать его.

Создание виртуальных лабораторных работ (ВЛР) требует значительных затрат труда, что связано с написанием и отладкой достаточно большого объема программного кода.

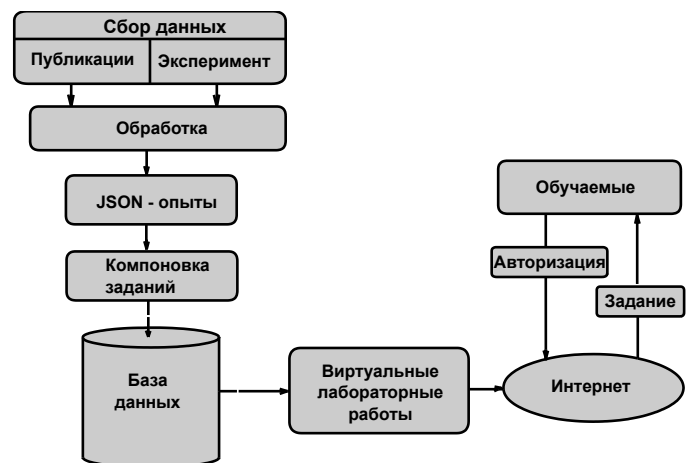


Рис. 2. Структура и данные в ВЛП ЭТМ

Перед нами стояла задача в условиях ВУЗа поставить на поток создание виртуальных лабораторных работ, привлекая к этому студентов, имеющих базовые навыки программирования в рамках выполнения выпускных бакалаврских и магистерских работ. В векторном графическом редакторе рисуется виртуальный стенд, на нем размещаются элементы управления, измерительные приборы. Взаимодействие между элементами осуществляется с помощью сценариев, написанных на объектно-ориентированном языке ActionScript 3.0. Во-вторых, виртуальный стенд представляет собой компактный flash-ролик, размер которого не превышает 150-200 килобайт. Тем самым выполняется рассмотренный выше принцип минимальной установки (ТЗ). Для работы с ВЛП необходим только браузер с flash-плеером.

Для снижения трудоемкости создания виртуальных стендов-проигрывателей была реализована «сборочная технология». Реальные лабораторные стенды по ЭТМ включают в себя ограниченный набор устройств: источники питания, измерительные камеры, термостаты, измерители, индикаторы, кнопки включения, клеммы, соединители, индикаторы резонанса. В терминах технологии Adobe Flash их можно рассматривать как компоненты – функционально законченные блоки. Разработав компоненты, можно многократно использовать их, размещая на новых стендах. Создается графический образ стенда, на нем размещаются виртуальные компоненты-приборы, после чего необходимо написать код, обеспечивающий функционирование ВЛП. На рис. 3 приведен стенд для измерения температурной зависимости объемного удельного сопротивления твердых диэлектриков.

Для проведения измерений студент должен правильно собрать электрическую схему, соединяя электрические клеммы с помощью перетаскивания их мышью. После завершения сборки необходимо включить измерительные приборы стенда. ВЛП, как правило, состоит из нескольких стендов. ЛР, приведенная на рис. 3, содержит три стенда: «Зависимость поверхностного сопротивления от напряжения», «Зависимость объемного сопротивления от напряжения», «Зависимость объемного сопротивления от температуры», размещаемых на вкладках.

На каждой из вкладок указано наименование опыта и исследуемого материала. Задание на выполнение лабораторной работы размещается на вкладке «Задание» (рис. 4). Здесь указываются геометрические размеры исследуемых образцов, диапазоны изменения напряжения и температур.

Перед выполнением лабораторных работ студент должен изучить описание лабораторной работы, где приводятся описания и схемы измерительных стендов, рабочее задание, порядок выполнения работы, контрольные вопросы к защите и литература.

Для подготовки к защите студент должен изучить соответствующие теоретические разделы курса. В электронном учебнике каждый из разделов завершается вопросами для самопроверки.

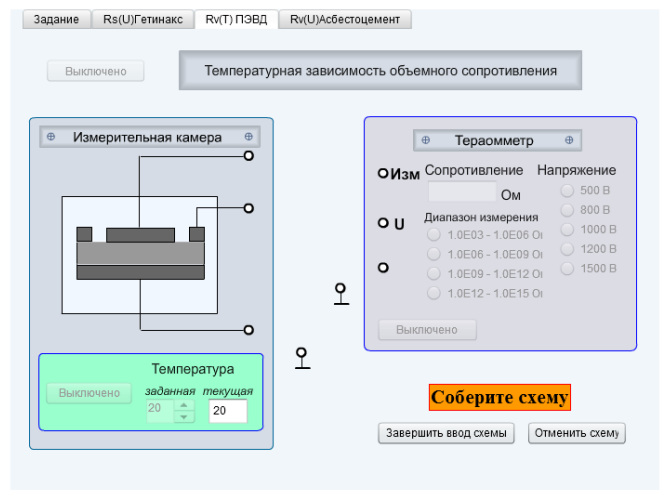


Рис. 3. Стенд «Измерение температурной зависимости объемного удельного сопротивления твердых диэлектриков»

Административная система служит для управления ВЛП ЭТМ и выполняет следующие функции:

- Создание учетных записей студентов, которые могут импортироваться из файлов Excel и других информационных систем.
- Создание профилей, включающих в себя набор лабораторных работ, число опытов по каждой из них, сроки выполнения. Как правило, профиль создается для определенной группы или потока студентов. При первом входе обучаемого в ВЛП осуществляется его случайная привязка к вариантам задания. Пользователи, не прошедшие аутентификацию, получают всегда один и тот же демонстрационный вариант задания.
- Подготовка данных расщепленного эксперимента и размещение их в базе данных.
- Проверка преподавателями отчетов студентов по лабораторным работам с помощью специальных утилит. Преподаватель выбирает студента, закрепленного за ним, и проверяемую лабораторную работу. В окне отображаются: задание, образцовые данные в табличном и графическом виде. Осуществляется сравнение данных, полученных студентом, и данных задания.

ВЛП ЭТМ опубликован по адресу <http://etm.mpei.ru> и эксплуатируется в НИУ МЭИ для очной и заочной форм обучения, а также в ряде ВУЗов России.

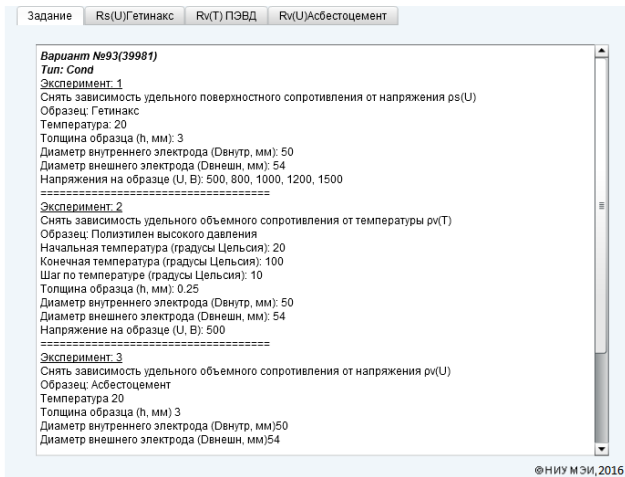


Рис. 4. Задание для выполнения лабораторной работы «Электропроводность твердых диэлектриков»

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С 2014 года лабораторные работы на ВЛП ЭТМ выполнили более 800 студентов очной и заочной форм обучения. Для студентов очной формы обучения ВЛП применяется как дополнение основного реального практикума. ВЛП обеспечивает существенное снижение трудоемкости проведения учебного процесса. Так, например, для работы с потоком порядка 100 студентов необходимы 3-4 преподавателя. Это стало возможным благодаря методическому обеспечению, автоматизированным средствам формирования заданий к выполнению лабораторных работ, проверки отчетов студентов. Нарботана технология создания ВЛП, позволяющая подключать к разработке студентов.

В последнее время мы ощущаем трудности с поддержкой технологии Adobe Flash на компьютерах обучаемых [21]. В настоящее время рассматривается вопрос перевода клиентской части ВЛП на технологии HTML 5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

[1] Интернет-лаборатория «Основы электроники и электротехники». Центр системной интеграции при МЭИ (ГУ) [Москва, 2003-2006]. URL:<http://www.pilab.ru> (дата обращения: 18.04.2018).

[2] Интернет-лаборатория «Испытания материалов». (МГТУ им. Н.Э. Баумана). URL:http://lud.bmstu.ru/lab_sopr.htm (дата обращения: 18.04.2018).

[3] Автоматизированный лабораторный практикум с удаленным доступом по изучению гидродинамики и теплообмена (вода) (НИУ МЭИ, Центр Автоматизации Теплотехнических Исследований). [Москва, 1998-2013]. URL:<http://www.cati.ru/laboratorye-praktikumy/gidrodinamika-i-teploobmen> (дата обращения: 18.04.2018)

[4] Интернет-лаборатория «Радиотелескоп МГТУ им. Н.Э. Баумана». (МГТУ им. Н.Э. Баумана). URL:<http://lud.bmstu.ru/rtelescope/str-1-1.htm> (дата обращения: 18.04.2018).

[5] Лаборатория с удаленным доступом «Физические основы электроники. Цифровые устройства и микропроцессоры» (ГОУ ВПО СибГУТИ, Лаборатория электронных средств обучения (ЛЭСО)). URL:http://www.leso.sibstis.ru/index.php?act=labs&target=lab_mk (дата обращения: 18.04.2018).

[6] The NetLab remote laboratory project (UniSA) (University of South Australia). URL:<http://netlab.unisa.edu.au/>

[7] The iLab Project (MIT, USA): [сайт]. URL:<https://wikis.mit.edu/confluence/display/ILAB2/Home;jsessionId=052A7178421D887AEFAA7D438F505883> (дата обращения: 18.04.2018).

[8] World Wide Student Laboratory Project: [сайт]. URL: <http://wwsl.net/> (дата обращения: 18.04.2018).

[9] VISIR – Electronics Remote Lab. URL: http://ohm.ieec.uned.es/portal/?page_id=76 (дата обращения: 18.04.2018).

[10] The Labshare Project (The Labshary Institute, Australia) . URL: <http://www.labshare.edu.au/> (дата обращения: 18.04.2018).

[11] Weblab-Deusto (University of Deusto, Estonia) . URL: <http://weblab.deusto.es/website/> (дата обращения: 18.04.2018).

[12] Remote Access Labs USQ (University of Southern Queensland, Auatralia) . URL: <https://www.usq.edu.au/hes/facilities-and-services/engineering-labs> (дата обращения: 18.04.2018).

[13] Fall K.R, Stevens W.R. TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols (2nd Edition), – N.-Y., Addison-Wesley, 2011, 432p.

[14] Липай Б.Р., Маслов С.И. Компьютерные модели электромеханических систем. Модели основных компонентов электромеханических систем. М.: Издательский дом МЭИ, 2017. 191 с.

[15] Pomerol J.-C., Epelboin Y., Thoury C. MOOCs. Design, Use and Business Model. ISTE Ltd., JohnWiley & Sons. London, 2015. 130 p.

[16] Хруслов Л.Л., Шишов В.А., Ростовиков М.В., Киреев С.И. Непрерывный Интернет-контроль эффективности электроснабжения от умной трансформаторной подстанции РТП-34 НИУ «МЭИ» // Труды Международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования». ИНФОРИНО-2016 (Москва, 12—13 апреля 2016 г.). М.: Издательский дом МЭИ, 2016. с. 639–642. URL: <http://inforino2016.mpei.ru/doc/pr2016.zip> (дата обращения: 27.04.2018)

[17] Информатизация образования: направления, средства, технологии: Пособие для системы повышения квалификации; под общ. ред. С.И. Маслова. М.: Издательство МЭИ, 2004. глава 12.

[18] Новикова С.Ю., Сутченков А.А., Тихонов А.И. Виртуальные лабораторные практикумы по дисциплинам «Электротехническое материаловедение», «Физика полупроводников». Информатизация инженерного образования. Электронные образовательные ресурсы», выпуск 5, под общей редакцией С.И. Маслова М.: Издательский дом МЭИ, 2011. с. 437-440.

[19] Введение в JSON. URL:<https://www.json.org/json-ru.html> (дата обращения: 18.04.2018).

[20] Сутченков А.А., Тихонов А.И. Электронный учебно-методический комплекс по электротехническому материаловедению (ЭУМК ЭТМ). свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012660842, дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 9 января 2013 года.

[21] Сайт Adobe. URL: <https://helpx.adobe.com/ru/flash-player/kb/installation-problems-flash-player-windows.html> (дата обращения: 18.04.2018).

Образовательная среда подготовки будущих инженеров горно-металлургического комплекса

Направление подготовки – электроэнергетика и электротехника

С.В. Федорова
НЧОУ ВО «Технический университет
УГМК»,
г. Верхняя Пышма Свердловской обл.
Россия
e-mail: s.fedorova@ugmk.com

К.А. Фёдоров
ООО «Интерактивные
Лаборатории» - XLab.Cloud
Москва, Россия
e-mail: kafedorov89@gmail.com

Н.В. Папуловская
Уральский федеральный
университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия
e-mail: n.v.papulovskaia@urfu.ru

Аннотация — В статье описан новый подход к обучению бакалавров направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника», будущих инженеров горно-металлургического комплекса. Приводятся особенности бизнес-образования, цель которого подготовить инженерные кадры для конкретного предприятия. Применяется максимальное погружение в область будущей профессиональной деятельности. Достичь необходимых результатов можно путем использования в образовательном процессе современных информационных технологий, таких как 3D-моделирование, виртуальная реальность, 3D-тренажеры, облачные технологии. В комплексе с образовательными задачами эти технологии формируют образовательную среду, способную сформировать инженерное мышление и подготовить выпускников к решению актуальных производственных задач без дополнительной адаптации на предприятии.

Ключевые слова — инженерное образование; виртуальная реальность; компьютерная графика; прототип; 3D-симулятор; интеллектуальная лаборатория.

I. ВВЕДЕНИЕ

Современная деятельность инженера в значительной мере опирается на его способность к инженерному мышлению. Под инженерным мышлением мы понимаем мышление, с помощью которого человек может решать различные технические задачи, искать пути решения проблем, оптимизировать и улучшать свою деятельность. В связи с изменениями, связанными с новой промышленной революцией, меняются формы мышления. К инженеру будущего выдвигаются повышенные требования, в том числе способность к новым видам деятельности.

На данном моменте необходимо остановиться подробнее, так как история показывает, что мышление людей также подвержено эволюции, именно оно вместе с деятельностью обеспечивает качественный переход от одного этапа промышленной революции к другому.

В условиях становления Индустрии 4.0 актуализируются следующие вопросы: Какие инженерные кадры способны реализовать принципиально новый подход к разработке технических устройств, а также к методам их производства и эксплуатации на Российских производствах? Что должно вкладываться в понятия:

инженер, инженерия? Как подготовить новых инженеров-творцов, которые будут работать в новых условиях? В работе [1] описаны возможности формирования и развития инженерного мышления у одаренной молодежи на базе инженерии – специализированной образовательной среды, сформированной в Техническом университете УГМК.

Следовательно, в подготовке инженерных кадров необходимо сосредотачиваться на создании технокреативной среды для формирования инженерного мышления новой интернет-эпохи.

В первой части статьи описаны особенности бизнес-образования, целью которого является подготовить инженерные кадры для конкретного предприятия и производства. Для реализации поставленной цели необходимо погрузить обучаемых в такую образовательную среду, где создана возможность развития инженерного мышления и всех необходимых профессиональных качеств. Применение современных информационных технологий в комплексе со специальными учебными задачами позволяет достичь этой образовательной цели.

В последней части статьи приводится описание интеллектуальной лаборатории, созданной с использованием современных технологий 3D-моделирования и инфокоммуникационных технологий. В заключение сформулированы результаты обучения студентов, погруженных в созданную образовательную среду.

II. ОСОБЕННОСТИ БИЗНЕС-ОБРАЗОВАНИЯ

Анализ трендов в корпоративном обучении [2,3,4] показывает, что значение бизнеса как заказчика целевого результата обучения усиливается. Социально ответственные компании все больше вовлекаются в развитие системы образования РФ через практико-ориентированное обучение, привлечение экспертов-практиков к проведению лекционных и практических занятий, подготовке профессиональных стандартов. Это способствует созданию динамично развивающихся электронных образовательных курсов, в том числе с использованием 3D графики, таких как удаленные семинары с помощью видеоконференцсвязи качества HD,

вебинары и электронные курсы с использованием современных образовательных платформ с доступом через интернет-браузер, а также виртуальных серверов, облачных хранилищ баз данных [5, 6, 7, 8].

Программы прикладного бакалавриата призваны готовить выпускников, способных сразу после окончания вуза выполнять работу в соответствии с требованиями производства, без какой-либо адаптации, дополнительного обучения под особенности предприятия [1]. Образовательный процесс должен быть организован таким образом, чтобы студент приобретал навыки и умения практической деятельности на протяжении всего периода обучения, начиная от работы в лабораториях университета и, в большей степени, в периоды практик на предприятии, где ему предстоит трудиться.

В Техническом университете УГМК реализуется программа прикладного бакалавриата «Электрооборудование и электрохозяйство горных и промышленных предприятий». Каждый студент уже с первого курса начинает знакомиться с предприятием, для которого он должен будет выполнить выпускную квалификационную работу с дальнейшим внедрением в производство.

В отличие от государственной системы образования организация бизнес-образования способна быстро внедрять и использовать инновации, т.е. выступать их акселератором в области использования информационных технологий обучения. Новые технологии способны лучше подготовить студентов к условиям рынка труда и, следовательно, помочь сформировать жизненно важные инновационные и творческие навыки [9].

В контексте статьи дефиниция бизнес-образование раскрывается как образование, полностью контролируемое бизнес-партнером, который по существу является заказчиком кадров. Образовательная программа в этом случае согласовывается с предприятием, а формирование компетенций реализуется в реальных производственных условиях на практике конкретного предприятия.

III. 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Каждая дисциплина учебного плана должна быть ориентирована на будущую профессиональную деятельность, в том числе базовые дисциплины, входящие в общеобразовательный блок.

Дисциплина «Компьютерная графика» присутствует во всех образовательных программах инженерных направлений подготовки. Однако, содержание этой дисциплины в современных условиях большого выбора программных продуктов и средств графического моделированию может существенно отличаться. Так, например, в статье [10] описано обучение студентов направления подготовки «Архитектура». Студентов обучают проектированию 3D моделей в современных пакетах 3D-графики с акцентом на дизайн интерьерных и архитектурных объектов.

Студенты направления подготовки «Энергетика и электротехника» технического университета УГМК изучают дисциплину «Компьютерная графика» на 1 курсе обучения. В учебном плане предусмотрено выполнение курсовой работы. Работа предполагает проектирование твердотельной модели, использование геометрического моделирования, разработку ассоциативных чертежей, сборку и получение реального макета объекта. Трехмерное моделирование выполняется в современных графических пакетах Компас 3D, AutoCAD или 123D Design, Blender. Реальный макет печатается на 3D принтере.

Объектом моделирования является корпус и другие элементы электронного устройства. В задачи курсовой работы входят не только реализация процесса моделирования, но и изучение технических характеристик и конструкторских особенностей изделия.

В ходе выполнения работы студенты проектируют корпус некоторого электронного устройства. Необходимо учитывать конструктивные особенности крепления, соединения и другие функциональные требования. Например, при проектировании корпуса светильника важно предусмотреть технологические зазоры для смены осветительного элемента, учесть требования по вентиляции, наличие отверстий для крепления и т.д. Аналогичные требования возникают при разработке 3D-модели корпуса датчиков огня, дыма и других подобных устройств.

В зависимости от назначения устройств необходимо изучить технические характеристики и функциональные параметры. Это требует погружения в предметную область, к которой относится устройство. Например, мультисенсорный извещатель состоит сразу из нескольких датчиков, каждый из которых имеет свои особенности (рис 1).

Только после подробного изучения устройства можно приступить к проектированию корпуса. На рисунке 2 представлены этапы проектирования корпуса датчика дыма.



Рис. 1. Мультисенсорный извещатель

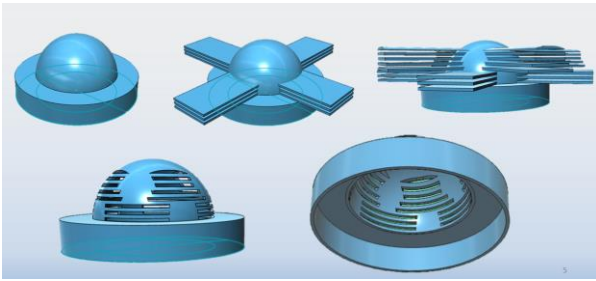


Рис.2. Этапы разработки верхней части корпуса датчика дыма

Во время написания курсовой работы изучаются:

- 3D-технологии;
- виды датчиков дыма;
- принцип работы датчиков дыма;
- технические характеристики;
- способы монтажа датчиков дыма;
- возможности 3D-принтеров.

Некоторые пункты выходят за рамки дисциплины «Компьютерная графика», однако выполнение курсовой работы побуждает к изучению смежных инженерных областей.

Таким образом, работа над 3D-моделью не сводится только к работе в пакете трехмерного моделирования, а требует инженерного мышления.

IV. ПОГРУЖЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ЗАДАЧИ В СРЕДЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Для формирования практических умений по решению инженерных задач предприятий горно-металлургического комплекса в Техническом университете УГМК разработан и внедрен комплекс интеллектуальных лабораторий. Принципиальными особенностями которого являются:

- информационная связь между лабораториями;
- интеграция физических и 3D-моделей технологического оборудования с математическим «сюжетом» процессов их работы;
- наличие web-интерфейса для автоматизации формирования отчета лабораторных исследований и обеспечения удаленного доступа к лабораторному оборудованию;
- наличие 3D-тренажеров для отработки навыков персонала в аварийных и нестандартных ситуациях.

В итоге, лабораторный комплекс получился с уникальным комплексом модулей:

- модуль технологического процесса (цифровой двойник производства);
- тренировки;
- модуль управления процессом обучения;

- модуль запуска и управления тренировками;
- модуль редактирования тренировок;
- модуль голосового взаимодействия во время тренировок;
- работа с SCADA;
- модуль связи с SCADA системами;
- модуль вывода информации в AR;
- модуль расстановки предметов в 3D-пространстве «цифровой копии»;
- модуль загрузки новых 3D-объектов в «цифровую копию» (рис.3).

Выделим ряд основных задач, которые могут быть решены в лаборатории:

- анализ режимов работы энергосистемы и управления качеством электроэнергии в энергосистеме предприятия;
- отработка процедур управления режимами источников собственной генерации электроэнергии в системе электроснабжения предприятия;
- оценка влияния на сеть и организации взаимодействия с энергосистемой электрических нагрузок различного характера;
- получение навыков работы на установках собственной генерации;
- получение навыков настройки модулей микропроцессорной релейной защиты в системе электроснабжения предприятия;
- моделирование режимов оптимизации потребления электроэнергии на предприятии.



Рис. 3. Цифровая модель главной понизительной подстанции горного предприятия для тренажерной подготовки

Приведем пример некоторых тренажерных сценариев на ПС:

- выход из строя элегазового выключателя;
- аварийное отключение трансформатора;
- аварийное отключение 1-ой системе шин.

3D-тренажеры на мини-ТЭЦ позволяют получить практические навыки в таких ситуациях как:

- запуск мини-ТЭЦ в автономном режиме с дизельной электростанцией;
- неисправность приточно-вытяжной вентиляции;
- останов сетевых насосов;
- останов циркуляционных насосов;
- снижение давления топливного газа;
- снижение давления пускового воздуха;
- пожар в маслохозяйстве.

Чтобы решать задачи энергослужб предприятий в соответствии с происходящими изменениями на производстве, с вновь создающимися ситуациями, нестандартными в том числе, разработано решение по созданию тренировочных площадок с возможностью подготовки актуальных сценариев для тренировок с помощью продукта XLab. Trainings.

Подготовка тренировочной площадки (ПС, мини-ТЭЦ и др.) осуществляется добавлением «сфер 360 градусов» с видео или фото панорамой в нужные точки.

Процесс создания тренировки продолжается в Web после ее сохранения в 3D-редакторе «площадки» по следующему алгоритму:

- Добавляется логика взаимодействия между «активными элементами» тренировки.
- Добавляются диалоги для общения с участниками тренировки с помощью средств связи (по телефону или по рации).
- Добавляется правильная последовательность действий пользователя.
- Формируется инструкция для правильного прохождения тренировки. Загружаются изображения, видео, текст, вспомогательные файлы, графики, таблицы.
- Формируется вид персонального отчета пользователя для тренировки, который будет просматриваться тренером после прохождения тренировки.

- Формируются групповые отчеты по прохождению тренировки (графики и таблицы со статистикой по «группе обучаемых»).

Мобильное размещение Web-сервера в ноутбуке обучаемого, для возможности тренировки без доступа в корпоративную сеть, позволяет выполнять тренировки в режиме удаленного доступа, особенно на отдаленных от университета предприятиях.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Считаем, что технические университеты, участвующие в бизнес-образовании в условиях становления Индустрии 4.0, должны формировать образовательную среду для активного развития инженерного мышления обучающихся, готовящихся к инженерной деятельности.

Современные информационные технологии, такие как 3D-моделирование, виртуальная реальность, 3D-тренажеры, облачные технологии в интеграции с учебными задачами создают условия, позволяющие подготовить обучающихся в Техническом университете УГМК к решению актуальных производственных задач без дополнительной адаптации на предприятии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Долженко Р.А., Федорова С.В. Инженериада как среда формирования инженерного мышления у одаренной молодежи// Педагогическое образование в России, 2017 г., №7. С. 15-23.
- [2] Marina Lapenok, Natalya Gerova, Irina Sheina. Education Information Interac-tion in a Group on the Basis of Smart Technologies // Smart Innovation, Systems and Technologies, Vol 75, Series editors V.L.Uskov et al., 2017. – pp. 282-291.
- [3] Канзычакова К.В. Облачные технологии в системе образования // Символ науки. 2017. Т 1. №2. С. 150-152.
- [4] Логинова Н.С. Оценка качества электронного обучения в аспектах подготовки персонала и технологического обеспечения // Электронное обучение в непрерыв-ном образовании. 2016. № 1 (3). С. 1150-1157.
- [5] J. Birt, E. Moore and M. A. Cowling, "Piloting mobile mixed reality simulation in paramedic distance education," 2017 IEEE 5th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH), Perth, WA, 2017, pp. 1-8. doi: 10.1109/SeGAH.2017.7939270
- [6] G. Campbell, K. Santiago, D. Hoo and E. Mangina, "Future mixed reality educational spaces," 2016 Future Technologies Conference (FTC), San Francisco, CA, 2016, pp. 1088-1093. doi: 10.1109/FTC.2016.7821738
- [7] Abu Alatta, R., Freewan, A. Investigating the effect of employing immersive virtual environment on enhancing spatial perception within design process (2017) Archnet-IJAR, 11 (2), pp. 219-238.
- [8] Alam, A., Ullah, S., Ali, N. The effect of learning-based adaptivity on students' performance in 3d-virtual learning environments (2017) IEEE Access, 6, pp. 3400-3407. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.27839
- [9] Klaassen, R., De Vries, P., Ioannides, M.G., Papazis, S. Tipping your toe in the 'Emerging Technologies' pond from an educational point of view (2017) Proceedings of the 45th SEFI Annual Conference 2017 - Education Excellence for Sustainability, SEFI 2017, pp. 1190-1197.
- [10] Е.Л. Альшакова, Е.А. Альшакова. Современный дизайн технологий проектирования как средство повышения конкурентноспособности потребительских товаров. Труды Международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования» — ИНФОРИНО-2016 М.: Издательский дом МЭИ, 2016. С.31-34.

Применение промышленного интернета в образовательном процессе на примере "умной" распределительной подстанции НИУ "МЭИ"

Л.Л. Хруслов, М.В. Ростовиков, В.А. Шишов, С.И. Киреев

НИУ "МЭИ"

Москва, Россия

0226mof@rambler.ru, rmv@magistr3m.ru

Аннотация — В Московском энергетическом институте создана современная электротехническая образовательная программа. Основой этой программы является промышленный интернет (Индустрия 4.0) и современные цифровые онлайн-параметры качества электрической энергии (Micro Smart Grid). В настоящее время в области традиционной электротехники происходят существенные изменения. Эти изменения включают активное внедрение силовой электроники с большим уровнем гармонических составляющих, IT-технологии, повышенное внимание к энергосбережению, разработку подходов к созданию интеллектуальных сетей, развитие возобновляемых источников энергии и многое другое. У студентов разных кафедр есть возможность принять участие в лабораторных занятиях, где они работают со специализированным программным обеспечением через сеть Интернет. В режиме прямой трансляции они имеют доступ к действующей трансформаторной подстанции и могут наблюдать состояние электрической сети практически в любой ее точке в цифровом виде. Также на подстанции размещен цифровой активный фильтр, которым можно управлять удаленно. Проводятся лабораторные занятия, в которых учащиеся могут анализировать гармоники напряжения и тока вплоть до сороковой, оценивать вклад отдельных гармоник в уровень дополнительных потерь в фазном и нейтральном проводниках, вычислять дополнительные потери в силовом трансформаторе, оценивать эффективность активного фильтра и многое другое. Эта образовательная программа успешно используется в учебном процессе.

Обсуждается фрагмент образовательной программы на основе промышленного интернета и цифровые параметры качества в "умной" сети (micro smart grid).

Ключевые слова — индустрия 4.0; промышленный интернет; micro smart grid; умная подстанция.

I. ВВЕДЕНИЕ

С появлением промышленного Интернета (или Интернета вещей) мир вступил в новый этап промышленной революции. Это связано с тем, что в промышленном секторе внедряются компьютерные технологии, расширенные вычисления, анализы. Эти инновации обещают принести большую скорость и эффективность в различных секторах экономики, таких как промышленное производство, энергетика,

производство и распределение электроэнергии, нефтегазовая промышленность. Промышленный интернет в будущем будет заключаться в обеспечении эффективности новых отраслей, ускорении роста производительности. Индустрия 4.0 (четвертая промышленная революция) видоизменяет будущие тенденции развития отраслей, в том числе с помощью использования киберфизических систем. Одним из основных применений промышленного Интернета в электротехнике является интеллектуализация электрических сетей.

Новые тенденции в современной электроэнергетике требуют инноваций в инженерном образовании, особенно в таких дорогостоящих областях, как лабораторная практика.

Электротехническое образование выходит на новый уровень качества. Формируется учебно-научная концепция - "Виртуальная Лаборатория" (ВЛ). Основой ВЛ являются стандартизированные цифровые параметры качества электроэнергии силовых цепей реальных объектов, оснащенных "умными" измерительными приборами, фрагментами интернета индустрии 4.0, а также вычислительными ресурсами. Таким образом, содержание ВЛ отражает реальное качество электроэнергии. В этом случае в различных учебных заведениях может применяться одна и та же методология измерительных процессов.

Одной из основных частей smart grid является интеллектуальная подстанция. На сегодняшний день наблюдается снижение потребления электроэнергии в трехфазных сетях с линейными нагрузками 6-10 кВ и увеличением потребления в однофазных сетях 0,4 кВ (рис.2). Как правило, активное внедрение силового электронного оборудования (телевидение, компьютеры, серверы, компактные люминесцентные и светодиодные лампы, оргтехника и т. д.) приводит к высокому уровню высших гармоник в сетях низкого напряжения. Более высокие гармоники вызывают дополнительные потери энергии в распределительных трансформаторах и проводах. Эти новые тенденции требуют инноваций в инженерном образовании.

На рабочей распределительной трансформаторной подстанции 7000кВА РТП-34 НИУ "МЭИ" существует комплексная система онлайн-мониторинга параметров качества электроэнергии с использованием этих параметров в учебном процессе через сеть интернет. Удаленный доступ через сеть интернет к реальному промышленному оборудованию позволил создать принципиально новую инфраструктуру образовательного процесса. Система мониторинга обеспечивает контроль качества электроэнергии и цифровые решения для записи неисправностей.

Таким образом, micro smart grid, реализованный на подстанции, имеет большое значение для обучения студентов.

В настоящее время в области традиционного электричества происходят значительные изменения. Эти изменения включают активное использование силовой электроники, IT-технологий, повышенное внимание к энергосбережению, разработку подходов к созданию интеллектуальной сети, интеграцию традиционных систем электроснабжения, возобновляемых источников энергии. Существует взаимное проникновение новых концепций в энергетические, информационные и телекоммуникационные технологии или, другими словами, пример киберфизической системы. Планируется создать следующее поколение энергетических систем - интеллектуальные электрические сети.

Интеллектуализация электрической сети создает следующие проблемы:

- Создание интеллектуальных приборов и устройств для подстанций, обеспечивающих учет и управление энергией в сочетании с непрерывным мониторингом и контролем качества электроэнергии в стационарных и переходных условиях.
- Разработка принципов организации интеллектуальных распределительных трансформаторных подстанций 10 / 0,4 кВ.
- Формирование концепции и тестирование фрагментов "умных" сетей в виде micro smart grid на основе отдельных структур энергосетей.
- Внедрение концепции smart grid в учебном процессе.



Рис. 1. Распределительное устройство низкого напряжения РТП-34 НИУ "МЭИ" с трансформаторами тока и контроллерами качества электрической энергии.

В НИУ "МЭИ" в последние 15 лет работают в направлении энергосбережения и эффективности электроэнергии путем внедрения элементов интеллектуальной энергии на объектах Москвы. Мы передали этот опыт исследований в области электротехнического образования.

Разработаны и выпущены два типа контроллеров качества электрической энергии: МАГИСТР DM-306М и МАГИСТР-430 КЭ. На основе этих устройств реализовано более 20 локальных энергетических систем micro smart grid, выполнен инновационный проект трансформаторной подстанции РТП-34 НИУ "МЭИ" (рис. 1).

II. ТЕНДЕНЦИИ В СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

В мировой практике сформировались две тенденции, связанные с общим потреблением электрической энергии:

1. Перераспределение уровня потребления энергии между трехфазными и однофазными сетями. В США общий объем потребления электроэнергии 0,4 кВ частного и коммерческого секторов составляет 73%, а 6-10 кВ в промышленном секторе 27% (рис. 2) .

2. Активное внедрение элементов силовой электроники в сетях низкого напряжения вызвало резкое увеличение гармоник тока и ухудшение качества электрической энергии в сетях низкого напряжения, включая силовые трансформаторы.

В настоящее время более 95% нагрузок сетей 0,4 кВ являются нелинейными (рис. 2).

Источниками ухудшения качества электроэнергии стали учреждения, дома, школы, больницы и т. д., В основном это происходит из-за нелинейных однофазных выпрямителей: компактных люминесцентных и светодиодных ламп, серверов, оргтехники, бытовой техники, блоков питания в телевизорах, компьютерах и т.д.

Частный сектор	Коммерч. Сектор	Промышленность
Низкое напряжение (0,4 кВ)	Низкое напряжение (0,4 кВ)	Среднее напряжение (3-10кВ)
37 %	36%	27%



Рис. 2. Структура потребления энергии в США. Увеличение нелинейных нагрузок с 1960 года.

Можно утверждать, что текущая несинусоидальность в современных сетях низкого напряжения определяется главным образом несовершенством вторичного источника питания для оборудования.

На рис. 3 показана принципиальная модель с идеализированным электронным ключом S. Компьютерное моделирование объясняет появление гармонических токов в силовых электронных устройствах с фазовым управлением. В зависимости от состояния переключателя S ток в цепи может принимать разные формы. После анализа Фурье несинусоидальный ток нагрузки $i(t)$ представляется в виде суммы гармонических токов Фурье - 1, 3, 5, 7, 9.

Для сопоставления различных форм одного и того же уровня тока при различных искажениях выбрано действующее значение 100 А.

Несмотря на отсутствие в цепи реактивных элементов, появляется угол сдвига между первой гармоникой тока $i_1(t)$ и напряжением $u(t)$. Сдвиг может быть опережающим (емкостным), нулевым (резистивным) или отстающим (индуктивным) в зависимости от времени переключения ключа S.

В компактных люминесцентных лампах и светодиодных лампах ток первой гармоники обычно опережает первую гармонику напряжения. В диммерных устройствах, ток первой гармонически отстает от первой гармоники напряжения.

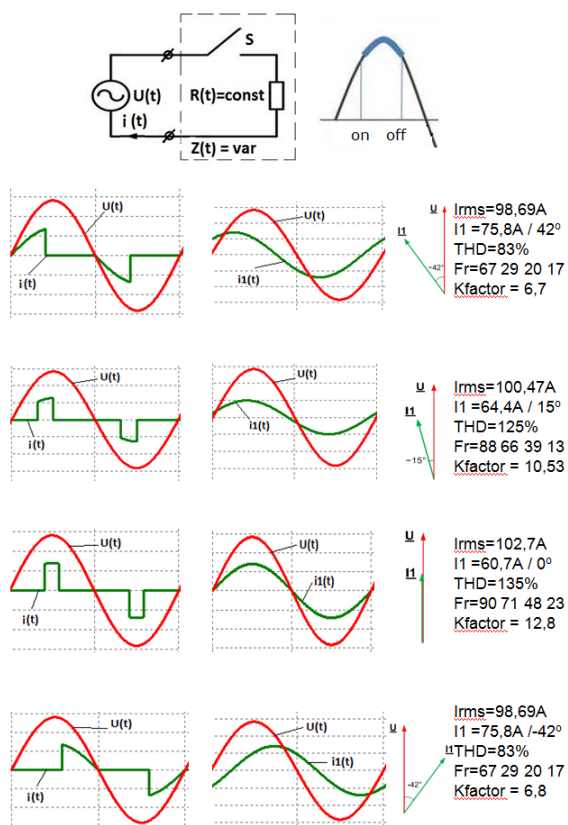


Рис. 3. Моделирование возникновения высших гармоник при фазовом управлении.

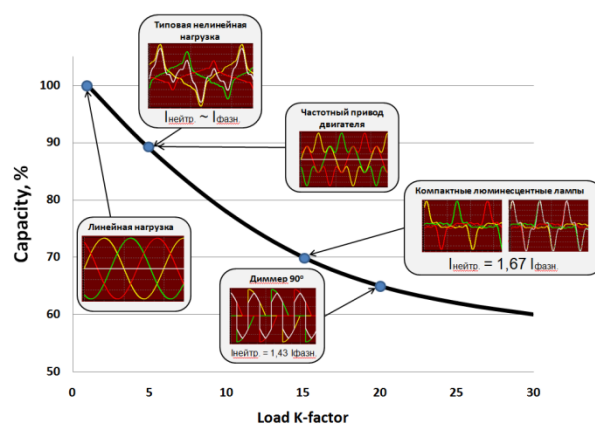


Рис. 4. Зависимость нагрузочной способности трансформатора от величины К-фактора нагрузки.

Существует три показателя оценки содержания гармонической нагрузки: крест-фактор (CF), общий коэффициент искажения тока (THDi) и К-фактор. Известно, что трансформаторная подстанция 10 / 0,4 кВ, как правило, предназначена для линейных нагрузок электрической мощности при условии, что THDi не превышает 3-8%.

Это же условие соответствует выбору элементов внутренней автоматизации: измерительных трансформаторов тока и напряжения, релейной защиты и т. д. Оценка влияния несинусоидальных токов на работу силового трансформатора может быть произведена различными способами, один из которых, согласно [1], это вычисление К-фактора (рис. 4).

III. СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА

Целью безостановочного мониторинга является информация об электрических параметрах основных элементов питания. Измерительная система состоит из децентрализованных, синхронизированных внешним эталоном времени средств измерения с дистанционным доступом через сеть Интернет.

Методы измерения качества электрической энергии в анализаторе МАГИСТР-430 КЭ соответствуют стандартам ГОСТ 30804.4.30-2013 класс «А» [3] и ГОСТ 30804.4.7-2013 [4].

На основе измерений напряжений и токов на трех фазах рассчитываются Текущие Параметры Качества Электроэнергии (ТПКЭ) (рис. 5): напряжения, токи, полные мощности, активные мощности, коэффициенты мощности и ряд других параметров. В соответствии со стандартом [3] измерение производится всегда на 10 циклов основной частоты, объединение производится с интервалом в 3 секунды, 10 минут, 2 часа. Для параметров ТПКЭ слово «текущие» означает, что соответствующие параметры предоставляются для последнего трехсекундного интервала объединения. Параметр «PF» означает общий коэффициент мощности, параметр «cos (fi)» означает коэффициент мощности смещения для основной частоты.

15:43:29 16-04-2015	L1	L2	L3	Avg/Sum
Basic characteristics				
U(V) L-N	227.90	227.80	226.30	227.33
E(V) L-L	394.65	393.26	393.35	393.75
I L(A)	150.98	154.85	166.46	64
S(kVA)	34.57	35.46	37.95	107.98
P(kW)	33.66	33.78	36.12	103.56
Q(kVAR)	7.88	10.79	11.64	30.31
PF	0.98	0.96	0.95	0.96
Harmonic components				
U1(V) L-N	227.69	227.59	226.19	1.45
I1(A) L	150.86	156.06	174.10	21.13
P1(kW)	34.26	34.77	37.91	106.94
cos(φ1)/φ1	1.00/7.2	0.98/12	0.96/-344.7	
U3.5.7.9(%)	0, 0, 0, 0	0, 1, 0, 0	1, 0, 0, 0	
I3.5.7.9(%)	9, 8, 7, 7	11, 9, 7, 8	10, 6, 6, 7	
Coefficients				
THDu%	0.96	1.06	1.11	1.04
THDi%	16.56	18.52	15.34	16.81
Kcr(U)	1.43	1.42	1.42	1.42
Kcr(I)	1.77	1.83	1.67	1.76
Freq(Hz) f=49.99	Zero Sequence% K0u=0.00	Neg Sequence% K2u=0.22		

Рис. 5. Текущие Параметры Качества Электроэнергии (ТПКЭ).

Информационно-Измерительный Комплекс Систем Электрообеспечения (ИИКСЭ) предоставляет технические возможности для анализа напряжения и тока. Для этих целей используется вычислитель вклада гармонических составляющих (рис. 6), который позволяет не только определять гармонические составляющие токов в нейтральном проводнике, но и оценивать дополнительные потери в кабеле и силовом трансформаторе. Это позволяет нам оценивать (и обеспечивать) электросбережение с использованием фильтров или источников питания со встроенным корректором мощности.

ИИКСЭ поддерживает различные протоколы данных: CAN, SNMP, ModBus, LonWork и т. д. Кроме того, система может быть интегрирована в различные устройства, имеющие интерфейс передачи данных (счетчики энергии, панели, контроллеры ПЛК, системы кондиционирования ИБП, дизель-генератор и т.д.), которая обеспечивает:

- Просмотр измеренных ТПКЭ в виде графиков, осциллограмм, спектров; сохранение информации в графических и текстовых файлах; подсчет числа провалов напряжения, скачков напряжения и импульсов напряжения;
- Контроль стандартных и аварийных событий отображается на специальном экране, включающем однолинейные структурные схемы с использованием анимации и цветности;
- Просмотр параметров, измеренных в реальном времени, включая формы напряжений и токов для трех фаз (формы волны);
- Анализ гармонической структуры токов и напряжений;

- Архивирование (регистрация) измеряемых параметров;
- Создание протокола показателей качества электроэнергии в соответствии с ГОСТ 32144-2013 [2];
- Регистрация провалов и импульсов напряжения и их представление в стандартном ANSI;
- Сохранение графиков в графических файлах;
- Оповещения по электронной почте.

Все страницы системы являются интерактивными веб-картами с набором элементов. На них могут быть отображены: структурная схема цепей, таблицы с данными, графики, спектры и другая информация. Все числовые данные, представленные на этих страницах, и состояние коммутационной аппаратуры соответствуют реальной ситуации в реальном времени на подстанции в момент просмотра. ИИКСЭ является гибкой, масштабируемой системой и легко интегрируется в существующие системы управления.

Структурно комплекс объекта является распределенной децентрализованной сетью периферийных контроллеров, объединенных или промышленной шиной CAN, или через интерфейсы RS-232, RS-485, Ethernet, по которым происходит обмен информацией между контроллерами и серверами обработки данных. ИИКСЭ позволяет подключать устройства от других производителей по соответствующим протоколам.

ИИКСЭ адресована шести основным категориям потребителей: электрикам; техническому персоналу; научному и инженерному персоналу, который помогает в анализе аварийных ситуаций; менеджерам (не электрикам); студентам высших и специализированных учебных заведений; исследователям.

Вычислитель вклада отдельных гармоник несинусоидального тока в действующее значение токов в фазных и нейтральном проводниках трехфазной системы.				
Ток(A) Грм(%)	1	Расчёт	2	
	L1	L2	L3	N(A)
I(A) L	15.3	15.8	14.4	25.8
I1(A)	10.61	10.49	10.00	0.6
I3(%)	74	82	77	24.2
I5(%)	50	58	51	0.9
I7(%)	43	42	38	0.7
I9(%)	30	28	29	9
IИ(A)	11	11.8	10.4	25.8
Ki(%)	103.6	112.4	104	

Рис. 6. Вычислитель вклада гармоник

Прямое измерение и архивирование ТПКЭ соответствует текущей тенденции непрерывного мониторинга основных параметров электроэнергии, аналогичной системе мониторинга ведущих российских телерадиоцентров.

Технически ИИКСЭ позволяет проводить многопараметрический анализ режимов нагрузки и сети. Дополнительным инструментом для анализа является вычислитель вклада гармоник, который позволяет не только оценивать токи в нейтральном проводнике, но и определять потери в кабеле и силовом трансформаторе. Это позволяет определить и обеспечить энергоэффективность при использовании активных фильтров или источников питания со встроенными корректорами мощности.

На рис. 7 представлена веб-карта с мониторингом участка цепи от трансформатора до распределительного устройства, с установленным активным фильтром. Токи измеряются как до, так и после фильтра, что позволяет оценить эффективность его работы.

Уровень THDi определяется типом реальной нагрузки трансформатора и составляет приблизительно 20%. Активный фильтр снижает уровень THDi до 2-3% (рис. 8). Ток в нейтральном проводнике зависит от дисбаланса первой гармоники и от наличия гармоник, особенно кратных трём. На рис. 8 показано, что в двух основных силовых элементах - трансформаторе и силовом кабеле между трансформатором и фильтром - уменьшение THDi для каждой фазы составляет около 7 раз, а коэффициент мощности PF увеличивается с 0,97 до 1.

ТПКЭ постоянно хранятся в архиве в виде ежедневных графиков основных параметров. В учебном процессе используются архивные данные и параметры качества электроэнергии в Интернете. Из архивных данных студенты определяют параметры потерь в зависимости от времени суток, уровня гармоник тока и уровня мощности передачи. Также определяются дополнительные потери мощности в силовом трансформаторе (рис. 9), кабеле и активном фильтре.

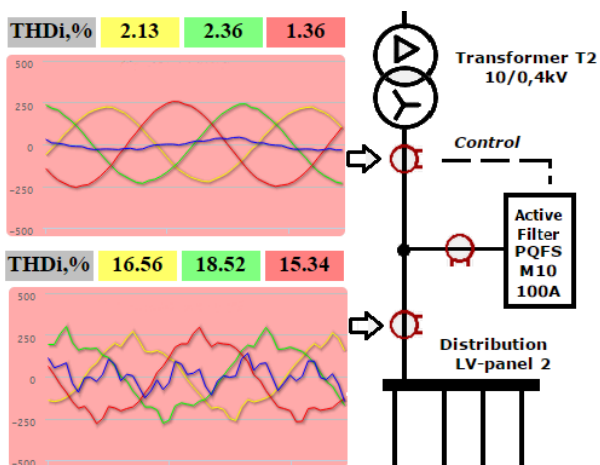


Рис. 7. Подавление высших гармоник тока активным фильтром.

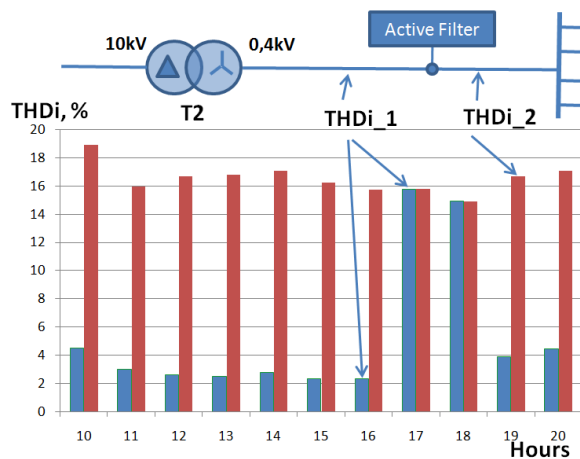


Рис. 8. Уровни THDi до и после активного фильтра в течение 22.04.2018. Для демонстрации фильтр был отключен с 16:00 до 18:00.

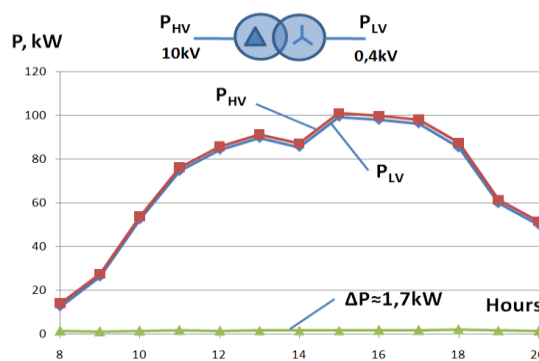


Рис. 9. Активные потери мощности в T2, РТП-34 НИУ "МЭИ", 22.04.2018.

Из анализа ТПКЭ определяется небаланс первой гармоники тока, доля для разных гармоник в нейтральном токе, оценивается компенсация гармонического тока для активного фильтра. Все расчеты выполняются для реальных нагрузок во время измерения.

На рис. 9 показаны изменения активной мощности силового трансформатора T2 в течение дня. Активная мощность на стороне высокого напряжения (PHV) и на стороне низкого напряжения (PLV) трансформатора измеряется и усредняется каждый час с 8:00 до 20:00. Потери мощности рассчитываются как разница между PHV и PLV.

IV. Выводы

Было обнаружено, что у студентов, изучающих проблемы качества электроэнергии, дополнительных потерь и электросбережения, возникают сложности с усвоением материала, если их курс не включает лабораторные упражнения.

Применение онлайн-мониторинга электрической энергии интеллектуальной трансформаторной подстанции с использованием принципов промышленного Интернета формирует Виртуальную Лабораторию с реальными исходными данными. Эта лаборатория может быть

адаптирована для изучения различных дисциплин в электроэнергетике.

Набор параметров ИИКСЭ можно рассматривать как дополнительный инструмент для анализа стационарных и аварийных процессов распределенных энергетических систем. Например, ИИКСЭ позволяет оценивать реальные потери в линиях электропередачи и силовых трансформаторах для обеспечения энергоэффективности.

Производственно-учебный комплекс «НИУ "МЭИ" РТП-34» - разработка кафедры электрических и электронных аппаратов НИУ "МЭИ", предназначенная для подготовки специалистов в областях: электротехника, электроснабжение, электромеханика, промышленная электроника и некоторых других.

Интернет-доступ к ИИКСЭ РТП-34 и прямая трансляция мониторинга предоставляется на бесплатной основе и рекомендуется к использованию в учебном процессе с конкретными формами применения: <http://rtp34.gmsnet.ru> [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] ANSI/IEEE C57.110-2008. Recommended Practice to Establish Transformer Capability when Supplying Non-Sinusoidal Load Currents
- [2] ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
- [3] ГОСТ 30804.4.30-2013. Методы измерений показателей качества электрической энергии.
- [4] ГОСТ 30804.4.7-2013. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств.
- [5] <http://rtp34.gmsnet.ru>.

Автоматизированная лабораторная работа по определению статических характеристик электрогидравлического привода в реальном времени

Е. В. Цымбалов, В.И. Голубев
Кафедра Гидромеханики и Гидравлических машин
ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»
Москва, Россия
Eugeny.Tsymbalov@yandex.ru, GolubevVI@mpei.ru

Аннотация — В данном докладе рассмотрена постановка и реализация автоматизированной лабораторной работы для снятия статических характеристик электрогидравлического привода с дроссельным управлением (далее — привод). Автоматизация и интерфейс управления реализованы с помощью программируемого логического контроллера (ПЛК) Siemens S7-300 и персонального компьютера (ПК) на базе программного обеспечения Tia Portal V11.

Ключевые слова — лабораторная работа, программируемый логический контроллер; автоматизация; электрогидравлический привод; статические характеристики

I. ВВЕДЕНИЕ

С появлением современных компьютерных технологий появилась возможность автоматизации процесса снятия показаний и построения экспериментальных характеристик различных технических устройств. Благодаря этому удаётся значительно сократить затрачиваемое на испытание время, увеличить число итераций и минимизировать или совсем исключить участие человека в экспериментах, тем самым повысить точность результатов эксперимента [1].

Основными статическими характеристиками приводов являются скоростная (СХ) и нагрузочная характеристика (НХ). СХ является зависимость скорости движения выходного звена привода, например, штока гидроцилиндра, от сигнала управления. НХ является зависимость скорости движения выходного звена от нагрузки на нем [2,3].

В связи с этим была поставлена цель разработки лабораторной работы по определению этих характеристик в автоматическом режиме. Для ее достижения необходимо было решить следующие задачи:

1. Разработка электрогидравлической схемы стендовых испытаний по определению СХ и НХ в автоматическом режиме;

2. Разработка программного обеспечения для управления и автоматизации стенда (выбор программы испытаний, считывание и обработка показаний датчиков и построение требуемых характеристик).

Постановка автоматизированной лабораторной работы выполнялась на учебно-научном стенде фирмы FESTO в лаборатории гидроавтоматики кафедры гидромеханики и гидравлических машин НИУ «МЭИ».

II. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Электрогидравлическая схема стенда представлена на рис. 1. Стенд состоит из трех частей — испытуемый привод, нагружающая установка и система управления [3,4]. В состав привода входят – насосная установка НУ1, фильтр тонкой очистки Ф, напорный клапан КН, манометр М1, гидроцилиндр ГЦ и распределитель с пропорциональным электромагнитным управлением ПР [5]. В состав нагружающей установки входят - насосная установка НУ2, напорный клапан с пропорциональным электромагнитным управлением ПКН [5], манометр М1, нагружающий цилиндр НЦ, двухпозиционный дискретный распределитель с электромагнитным управлением ДР, а также потенциометр П, датчики давления ДД1 и ДД2. В состав системы управления входят — электрические усилители У1 и У2, ПЛК Siemens S7-300 и ПК с интерфейсом управления. Штоки гидроцилиндров жестко связаны для обеспечения восприятия попутной нагрузки [3,4].

В испытуемом приводе рабочая жидкость от НУ1 подается к ПР через Ф, далее в ГЦ. Управляющий сигнал из ПЛК через У1 поступает к электромагнитам ПР. Для поддержания постоянного давления установлен КН. М1 предназначен для контроля настройки давления КН.

В нагружающей установке рабочая жидкость от НУ2 через ДР поступает в НЦ. Управление ДР осуществляется с помощью дискретного сигнала поступающего из ПЛК. Через У2 управляющий сигнал от ПЛК поступает в ПКН, предназначенный для установки давлений.

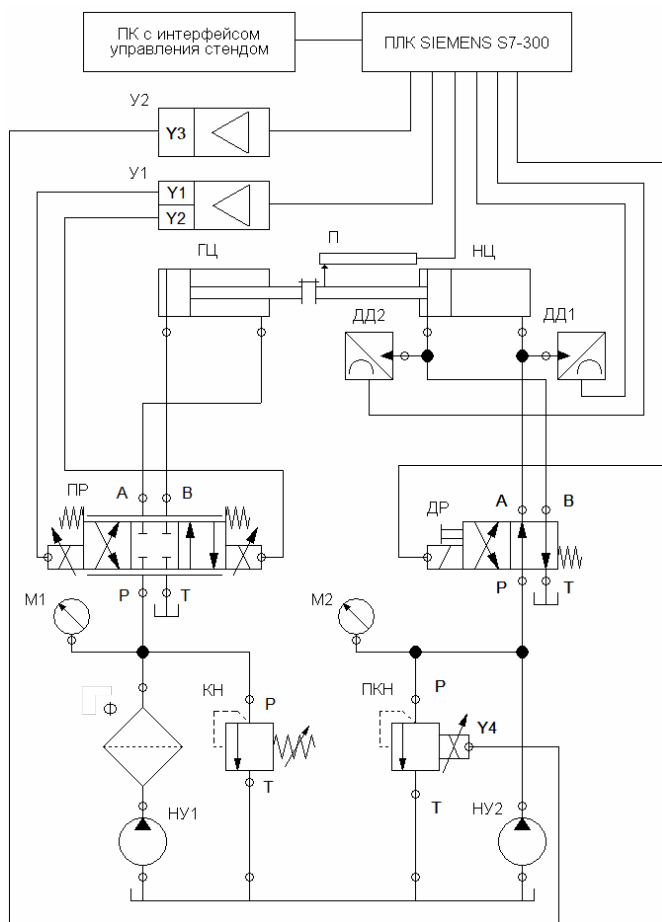


Рис. 1. Электрогидравлическая схема

Для получения статических характеристик привода необходимо определять скорость штока ГЦ и преодолеваемую нагрузку на нем. Это осуществляется благодаря системе управления. Скорость штока рассчитывается путем определения времени, считываемое в ПЛК, и расстояния, отслеживаемое П. Имитация нагрузки осуществляется с помощью ДР и ПКН. От положения золотника ДР зависит к какой полости НЦ подводится рабочая жидкость (осуществляется встречная или попутной нагрузка). А от установки ПКН зависит величина давления в полостях НЦ. Преодолеваемая нагрузка определяется разницей давлений, которые определяются с помощью ДД1 и ДД2 установленных в полостях НЦ.

III. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СТЕНДОМ

В программное обеспечение входит программа автоматизации и обработки информации для ПЛК (далее — программа) и интерфейс управления на ПК. Создание велось на интегрированной среде разработки программного обеспечения систем автоматизации TIA Portal V11.

A. Программа автоматизации и обработки информации

Программа написана на языках программирования ПЛК LAD и STL [6,7]. Блок-схемы алгоритмов программ для построения СХ и НХ представлены на рис. 2 и рис. 3.

Программа отвечает за цикличную обработку с изменением управляющего сигнала ПР для СХ и с изменением нагрузки (изменением сигнала управления ПКН) для НХ и условием выхода из цикла при остановке штока или установленным максимальным временем движения штока ГЦ (в случае СХ — закрытие дроссельной щели в распределителе, а в случае НХ — непреодолимое усилие). Также, отвечает за обмен информации с интерфейсом управления, пересчет информации с ДД1, ДД2, П и на ПР и ПКН. В построение характеристики идет для прямого и обратного хода штока ГЦ.

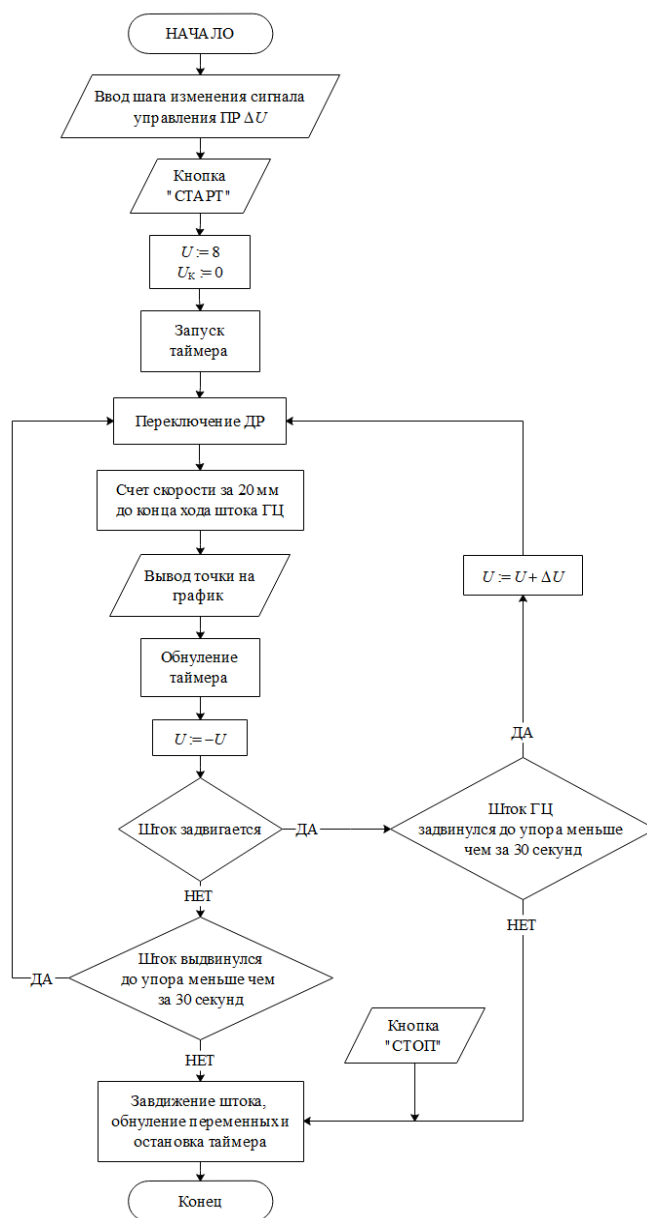


Рис. 2. Блок-схема алгоритма программы для построения СХ

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автоматизированный лабораторный стенд дает студентам возможность оперативно получать характеристики в реальном времени и анализировать их, что позволяет лучше усваивать изучаемый материал. Также это дает возможность ближе познакомиться с использованием информационных технологий в экспериментальных исследованиях.

В настоящее время на кафедре ведется постановка и других автоматизированных лабораторных, для последующего введения в процесс обучения студентов по дисциплине «Гидропривод и гидропневмоавтоматика в системах управления».

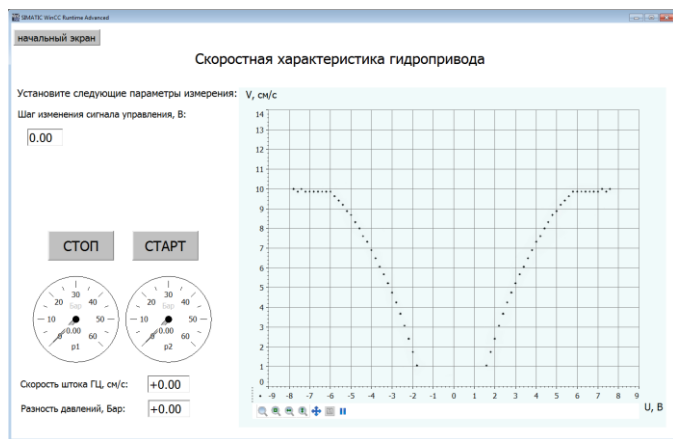


Рис. 5. Экран «Скоростная характеристика»

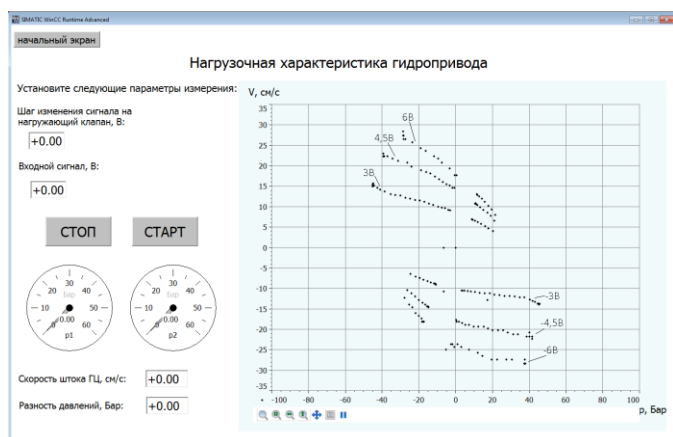


Рис. 6. Экран «Нагрузочная характеристика»

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Цымбалов Е.В., Никулин А. С., Голубев В. И. Автоматизация экспериментального исследования характеристик электрогидравлических устройств с использованием контроллера SIEMENS SIMATIC S7-300. // Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика / XX Всероссийская научно-техническая конференция студентов и аспирантов. НИУ МЭИ, 7 декабря 2016 года: сборник материалов и докладов. – М.: Издательство МЭИ, 2016. С. 165—169.
- [2] Голубев В.И., Могильников П.В., Панферов Р.Ф. Испытание аппаратуры и гидросистем с пропорциональным управлением: учебное пособие – М.: Издательский дом МЭИ, 2013.
- [3] Нейман В.Г. Гидроприводы авиационных систем управления, –М.: Машиностроение, 1973.
- [4] Кочубиевский И.Д. Системы нагружения для исследования и испытаний машин и механизмов. – М.: Машиностроение, 1985.
- [5] Шольц Д. Festo Didactic Пропорциональная гидравлика. Основной курс TP701. 2002.
- [6] Бергер Г. Автоматизация посредством STEP 7 с использованием STL и SCL и программируемых контроллеров SIMATIC S7-300/400.
- [7] Бергер Г. Автоматизация посредством STEP 7 с использованием LAD и FBD и программируемых контроллеров SIMATIC S7-300/400.

Автоматизация измерений в лабораторном стенде по определению теплоемкости и теплопроводности твердых материалов методом регулярного режима

Ячевский И.А., Королев П.В., Пузина Ю.Ю.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»: кафедра низких температур
г. Москва, Россия
KorolyovPV@yandex.ru

Аннотация – В работе представлена модернизация лабораторного стенда для обучения студентов основным навыкам экспериментального определения теплоемкости и теплопроводности твердых материалов при низких температурах. Автоматизация сбора данных с термоэлектрических преобразователей проводилась на базе аналогово-цифрового преобразователя National Instruments с использованием программы, написанной в среде LabView. По итогам оснащения существующего оборудования современными средствами записи информации усовершенствовалась система обработки результатов лабораторных опытов, которые представляются в виде таблиц численных данных.

Ключевые слова — регулярный режим, лабораторный практикум, терморпары, автоматизация, аналогово-цифровой преобразователь, жидкий азот.

I. ВВЕДЕНИЕ

Модернизация экспериментального оборудования для проведения лабораторных практикумов обеспечивает студентам возможность освоить навыки применения современных средств автоматизации в инженерной практике и научных исследованиях. Эффективное использование компьютеров при объединении их с измерительными и управляющими приборами позволяет изучать технические объекты на новом уровне средств визуализации и обработки результатов эксперимента.

Целью работы является освоение студентами методики экспериментального определения теплоемкости и теплопроводности твердых материалов методом регулярного режима и получение практических навыков работы с приборами при низких температурах [1].

II. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

При охлаждении твердых тел существует несколько стадий охлаждения. При малых значениях времени распределение температуры внутри тела и скорость изменения температуры в отдельных точках тела зависят от особенностей начального распределения температуры. Первый период охлаждения, при котором скорость

изменения температуры внутри тела зависит от вида начального распределения температуры, называют неупорядоченной стадией процесса охлаждения.

С некоторого момента времени начальные условия начинают играть второстепенную роль, и процесс полностью определяется только условиями охлаждения на границе тела и среды, физическими свойствами тела, его геометрической формой и размерами. Температурное поле при этом может быть найдено по формуле:

$$\theta(\vec{r}, t) = A_1 \cdot F_1(\vec{r}) \cdot \exp(-\mu_1^2 t), \quad (1)$$

где θ – избыточная температура; A_1 – коэффициент, зависящий от начальных условий; $F_1(\vec{r})$ – первая собственная функция задачи; μ_1 – первое собственное значение.

Вторая стадия охлаждения называется регулярным режимом. Третья стадия охлаждения соответствует стационарному режиму, когда температура во всех точках тела равна температуре окружающей среды.

Используя дифференцирование формулы (1) по времени можно получить:

$$m = -\frac{1}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial t} = \text{const} \quad (2)$$

где m – постоянная величина, называемая темпом охлаждения или постоянной времени.

При наступлении регулярного режима темп охлаждения не зависит ни от координат, ни от времени и является величиной постоянной для всех точек тела. Темп охлаждения характеризует относительную скорость изменения температуры в теле и зависит только от физических свойств тела, процесса охлаждения на его поверхности, геометрической формы и размеров тела.

Для экспериментального определения темпа охлаждения при регулярном режиме достаточно измерить температуру в одной и той же точке образца в два момента времени и использовать соотношение

$$m = \frac{\ln(\theta_2) - \ln(\theta_1)}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

Согласно первой теореме Кондратьева, темп охлаждения однородного и изотропного тела при конечном значении коэффициента теплоотдачи пропорционален коэффициенту теплоотдачи α , площади поверхности тела S и обратно пропорционален его теплоемкости C :

$$m = \frac{\bar{\alpha}S}{C} \psi, \quad (4)$$

где ψ — коэффициент неравномерности температурного распределения.

Существует два практически важных предельных случая:

1. Число $Bi \ll 1$ (на практике $Bi < 0,1$). В этом случае температура внутри тела практически не зависит от координат, а зависит только от времени. Коэффициент неравномерности температуры в теле принимается равным $\psi = 1$.

2. Число $Bi \gg 1$ (на практике $Bi > 100$). В этом случае охлаждения определяется только размерами тела и его физическими свойствами. В силу большой интенсивности теплообмена температура на поверхности тела принимает постоянное значение, равное температуре окружающей среды. Коэффициент неравномерности температуры в теле $\psi = 0$. Темп охлаждения связан с коэффициентом теплопроводности соотношением

$$m = a/K, \quad (5)$$

где K — коэффициент формы, который для цилиндрического образца радиуса R_0 и высоты h равен

$$K = \frac{1}{\left(\frac{2,405}{R_0}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{h}\right)^2} \quad (6)$$

III. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

A. Основное оборудование

Лабораторный стенд (рис. 1) представляет собой стеклянный сосуд Дьюара 1 внутренним диаметром 100 мм, который установлен вертикально на подставке из пенопласта 2 внутри толстостенного короба из оргстекла 3, предотвращающего механические повреждения и колебания в процессе работы. Короб жестко закреплен на металлической раме-основании 4 вместе с источником света 5 — светодиодной лампой. Криостат имеет смотровые щели шириной 20 мм, сквозь которые можно визуально наблюдать процессы в экспериментальной ячейке на просвет.

Экспериментальная ячейка 6 закреплена на штоке 7 для перемещения по вертикали с помощью держателей 8 и направляющей 9 внутри криостата так, чтобы часть ячейки находилась в жидкости, а часть выше уровня жидкого азота 10 (в паре).

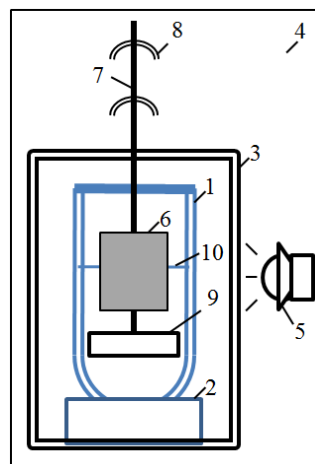


Рис. 1. Схема лабораторного стенда: 1 — криостат, 2 — подставка; 3 — короб; 4 — основание; 5 — источник света; 6 — ячейка; 7 — шток; 8 — держатели; 9 — направляющая; 10 — уровень жидкости.

Экспериментальная ячейка (рис. 2) представляет собой три микрокалориметра одинаковых габаритов ($R = 10$ мм; $L = 40$ мм): эталонный 1 (из латуни $M_1 = 103,1$ г) и микрокалориметры 2 и 3, выполненные из исследуемого материала — фторопласта ($M_2 = M_3 = 26,1$ г). Микрокалориметры, каждый на своем подвесе 4, соединяются со штоком 5 (№7 на рис. 1) через пластину 6.

В каждом микрокалориметре устанавливается одна дифференциальная медь-константановая термопара 7 для измерения разности термоЭДС между материалом и окружающей средой. Холодные спаи 8 выводятся из цилиндров в окружающее пространство криостата. В течение опыта микрокалориметры охлаждаются внутри стеклянного сосуда Дьюара частично заполненного жидким азотом до уровня 9 от комнатной температуры до температуры кипения азота при атмосферном давлении ($T = 77,4$ К), причем микрокалориметры 1 и 2 охлаждаются в парах азота ($Bi < 0,1$ для калориметра 1), тогда как микрокалориметр 3 охлаждается в кипящем азоте ($Bi > 100$). Провода термопар через полые подвесы выводятся из пространства криостата на разъем 10.

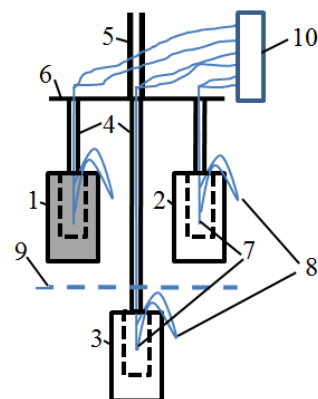


Рис. 2. Схема экспериментальной ячейки: 1 — эталонный микрокалориметр; 2,3 — микрокалориметры; 4 — подвес; 5 — шток; 6 — пластина; 7 — горячий спай термопары; 8 — холодный спай термопары; 9 — уровень азота; 10 — разъем.

В. Схема автоматизации

Предыдущая схема измерений состояла в подключении проводов от термопар к контрольным самопишущим приборам КСП-4, которые используются для измерения силы и напряжения постоянного тока, а также неэлектрических величин, преобразованных в указанные выше электрические сигналы и активное сопротивление. В процессе работы приборов на диаграммной ленте самописцев строились три графических зависимости термо-ЭДС от времени для каждой из термопар, располагавшихся внутри микрокалориметров.

В результате модернизации лабораторной установки схема регистрации показаний термопар приобрела следующий вид (рис. 3). Провода термопар 1 через полые подвесы выводятся из пространства криостата на разъем 2, который подключается к аналогово-цифровому преобразователю (АЦП) National Instruments 3. АЦП подключается через USB кабель 4 к персональному компьютеру 5. В среде LabView создана программа, позволяющая регистрировать сигнал с каждой из термопар с различным временным интервалом, записывать информацию в файл и представлять на мониторе зависимость термоэдс от времени в ходе эксперимента (рис. 4). Разъем для проводов, АЦП и компьютер закреплены на опорной раме 6 (№4 на рис.1).

С. Последовательность работы

После проведения со студентами инструктажа по технике безопасности при работе с жидкими криоагентами, а также при работе с электроприборами (напряжение 220 В) одновременно с подсветкой включается персональный компьютер и загружается программа считывания и записи термо-ЭДС с термопар. Затем с помощью стандартных устройств жидкий азот заливается в сосуд Дьюара до отметки на стенке короба (№3 на рис. 1). Экспериментальная ячейка (№6 на рис. 2), включающая три микрокалориметра (№1, 2, 3 на рис. 2), с помощью штока (№7 на рис. 1) плавно опускается в сосуд Дьюара вдоль держателей (№8 на рис. 1). Боковое перемещение экспериментальной ячейки внутри криостата ограничивается направляющей (№9 на рис. 1). Охлаждение калориметров контролируется по графикам зависимости термо-ЭДС от времени (рис. 4). По окончании опыта лабораторный стенд выключается и обесточивается.

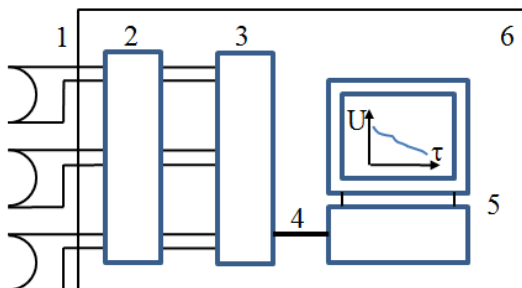


Рис. 3. Схема измерения и регистрации сигналов: 1 – провода термопар; 2 – разъем; 3 – АЦП; 4 – кабель USB; 5 – компьютер; 6 – рама.



Рис. 4. Зависимость термо-ЭДС от времени в ходе эксперимента.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ПРОТОКОЛА

Протокол испытаний представляет собой таблицу (табл. 1) из четырех столбцов (время и три показания термо-ЭДС для каждого из калориметров).

Используя полученные в опыте кривые изменения термо-ЭДС во времени для трех микрокалориметров и таблицу градуировки медь-константановой термопары [2], можно построить графики охлаждения микрокалориметров в координатах $\ln\theta-t$ (рис. 5.), где θ – избыточная температура, $\theta = T_d - T_{oc}$; T_d – температура, измеряемая в точке заделки термопары рассматриваемого калориметра; T_{oc} – температура окружающей среды, в которой находится калориметр.

При обработке результатов измерений следует разбить временной интервал на 5–8 участков так, чтобы в каждом из них кривую охлаждения с хорошим приближением можно было аппроксимировать прямой линией.

Для каждого из участков определить темп охлаждения, используя формулу (3).

Таблица 1. ПРИМЕР ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ

Время, с	Термо-ЭДС для калориметра, В		
	2	1	3
16	0.006011036	-0.003192767	-0.004836303
16.1	0.006011036	-0.003192767	-0.004836303
16.2	0.006011036	-0.003521474	-0.004836303
16.3	0.006011036	-0.002864059	-0.004836303
16.4	0.005682329	-0.003192767	-0.004507596
16.5	0.006011036	-0.003192767	-0.005493717
16.6	0.005682329	-0.002864059	-0.004836303
16.7	0.006011036	-0.003521474	-0.004507596
16.8	0.006011036	-0.003192767	-0.003850181
16.9	0.006011036	-0.003521474	-0.004178888
17	0.005682329	-0.003521474	-0.002535352

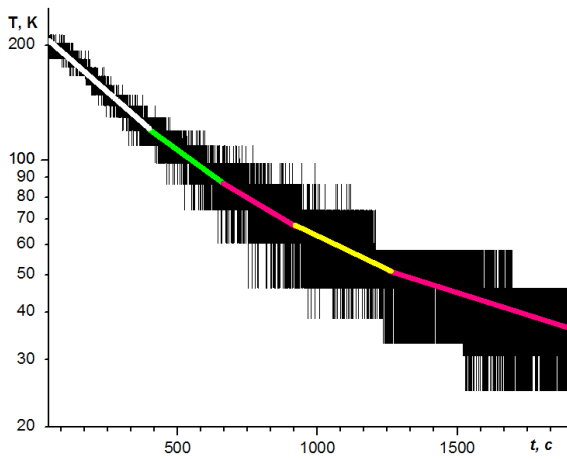


Рис. 5. Образец зависимости температуры T от времени t для микрокалориметра 2 с разбиением на участки.

Значение удельной теплоемкости вещества, из которого изготовлен исследуемый образец, может быть найдено из соотношения:

$$c = \frac{m_3}{m_n} \cdot c_3 \cdot \frac{M_3}{M} \cdot \psi. \quad (7)$$

где c – удельная теплоемкость исследуемого вещества, Дж/(кг·К); M – масса исследуемого вещества, кг; M_3 – масса вещества эталонного калориметра, кг; m_3 – темп охлаждения эталонного микрокалориметра, $с^{-1}$; m_n – темп охлаждения микрокалориметра, выполненного из исследуемого вещества, $с^{-1}$; c_3 – удельная теплоемкость вещества эталонного микрокалориметра, Дж/(кг·К); ψ – коэффициент температурной неравномерности, рассчитываемый по формуле

$$\psi = 1 - \frac{R_0^2}{8} \cdot \frac{m_n}{a}, \quad (8)$$

где R_0 – радиус микрокалориметра 2 (рис. 1), выполненного из исследуемого материала (фторопласт), и внутренний радиус оболочки в случае использования полого микрокалориметра, заполненного исследуемым веществом, м; a – коэффициент температуропроводности исследуемого материала, $м^2/с$.

Формула (7) получена из формулы (4) в предположении, что коэффициент неравномерности температурного профиля эталонного образца равен 1. Указанные соотношения справедливы при условии $Bi \rightarrow 0$ для эталонного микрокалориметра. Удельную теплоемкость эталонного калориметра, выполненного из латуни, при соответствующей температуре необходимо определить по справочнику [2].

Результаты обработки данных лабораторных опытов представлены на рис. 6. Следует отметить, что погрешность определения теплоемкости может достигать 35% из-за наличия инструментальной погрешности и накопления погрешностей расчета в процессе обработки протокола испытаний (разбиение на участки, аппроксимация прямыми участками, округление).

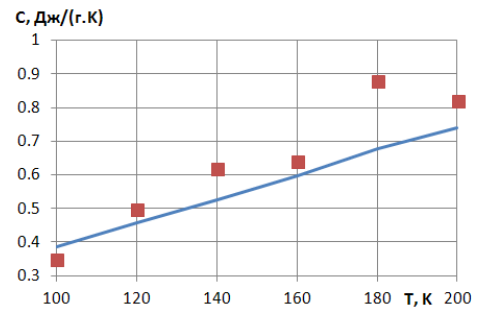


Рис. 6. Образец представления обработки протокола эксперимента в виде зависимости теплоемкости от температуры T для микрокалориметра 2: точки – эксперимент, линия – справочные данные для фторопласта [2].

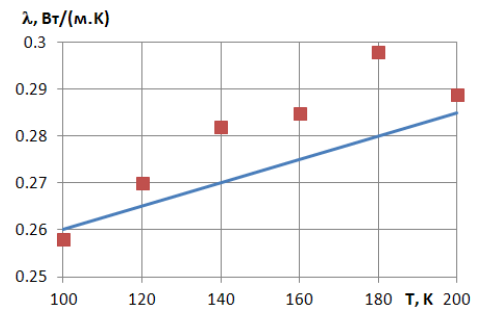


Рис. 7. Образец представления обработки протокола эксперимента в виде зависимости теплопроводности от температуры T для микрокалориметра 2: точки – эксперимент, линия – справочные данные для фторопласта [2].

Микрокалориметр 3 (рис. 2) находится при условиях $Bi \gg 1$, поэтому для него можно использовать формулу (5) при нахождении связи между темпом охлаждения и коэффициентом температуропроводности a . Зная этот коэффициент и используя данные рис. 6 можно получить зависимость теплопроводности от температуры (рис. 7).

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате автоматизации измерений и регистрации показаний первичных датчиков, расположенных внутри экспериментальной ячейки, усовершенствован метод обработки опытных данных, которые представляются не в виде графических зависимостей, а в виде табличной информации с показаниями термо-ЭДС для каждого из микрокалориметра в зависимости от времени. При проведении измерений непосредственно на экране компьютера можно отслеживать изменение показаний датчиков. Таким образом, в учебной работе у студентов формируется навык современных подходов к автоматическому сбору и обработке информации в процессе физического эксперимента в инженерной практике и научной деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] А. Ф. Гиневский, П. В. Королев Лабораторные работы по теплообмену. Часть 1. // М.: Изд-во МЭИ, 2016. – 40 с.
- [2] Справочник по физико-техническим основам криогеники / Малков М.П. [и др.]. // М.: Энергоатомиздат, 1985.



Секция 5

**ДИСТАНЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ЭЛЕКТРОННЫЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ
В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ**

Система дистанционного взаимодействия преподавателя и студентов на основе технологий Google

Автоматизированное рабочее место преподавателя

Алексеев Николай Сергеевич

Кафедра «Математическая кибернетика»

МАИ (Национальный исследовательский университет), Москва, Россия

Аннотация — В статье описан один из возможных способов организации дистанционного взаимодействия преподавателя и студентов. В основу этого способа положены облачные технологии, предлагаемые компанией Google. Описана система, действующая на кафедре «Математическая кибернетика» МАИ. Система получила название «РГР-Дупло», которое, как представляется автору, удачно характеризует основную идею организации взаимодействия. Студент выкладывает свою расчетно-графическую работу (РГР) в условное место — «дупло». Преподаватель ее оттуда забирает, проверяет и выкладывает обратно.

Ключевые слова — гугл-диск; гугл-таблица; гугл-документ; гугл-скрипт, гугл-сайт.

I. ВВЕДЕНИЕ

Известны многие системы дистанционного обучения, такие как Moodle, eFront, ILIAS, ПРОМЕТЕЙ, CLASS.NET и др. В том числе и компания Google предлагает для учебных заведений систему Classroom. Однако для внедрения этих систем в учебный процесс, помимо желания конкретного преподавателя использовать современные технологии, требуется наличие по крайней мере двух факторов:

- учебное заведение должно иметь договор с компанией-производителем соответствующего программного обеспечения;
- учебные материалы должны быть заранее подготовлены в форматах, предусмотренных выбранной системой.

Предлагаемая автором система может использоваться отдельным преподавателем и не требует на начальном этапе подготовки материалов в каком-то специальном виде. Материалы могут представлять из себя файлы в формате word, pdf, файлы изображений (фото рукописного текста) и др. Однако при желании автоматизировать некоторые процессы, например, генерацию вариантов заданий, преподавателю необходимо будет выполнить работу по подготовке учебных материалов, следуя определенному алгоритму.

От студента также не требуется работать с какими-либо специализированными программами. Студент оформляет свою работу традиционным способом — в рукописном виде. Далее он должен ее сфотографировать и выложить файлы фотографий на проверку.

Система является индивидуальной для каждого преподавателя, она не использует какие-то мощные СУБД. Все данные системы хранятся на гугл-диске в виде специальным образом организованной файловой структуры.

Необходимо отметить, что идея использования для организации учебного процесса бесплатных сервисов Google, Yandex и других облачных технологий, различных вариантов их взаимодействия с социальными сетями и мессенджерами является вполне естественной. Однако в большинстве публикаций описывается, как можно использовать имеющиеся сервисы в «чистом виде», пользуясь заложенным в них функционалом (см., например, [1, 2, 3]). Организация взаимодействия между различными сервисами возлагается на человека (преподавателя или студента).

Принципиальным отличием описываемой системы является расширение функционала, встроенного в сервисы Google Drive (Гугл-Диск), Google Sheets (Гугл-Таблицы), Google Docs (Гугл-Документы), Google Sites (Гугл-Сайты), новыми функциями. Эти новые функции повышают удобство работы с этими сервисами с учетом специфики преподавательской деятельности. Кроме того, они позволяют автоматизировать многие процессы взаимодействия подсистем. Например, автоматически (по нажатию одной кнопки) могут быть созданы папки на гугл-диске для студенческой группы, разложены задания по папкам, разсланы сообщения по электронной почте и т.п. Такое расширение встроенного функционала оказалось возможно благодаря наличию сервиса Google Apps Scripts (Гугл-Скрипт) [1]. Этот сервис позволяет реализовать на языке программирования GoogleScripte пользовательские функции, связанные с конкретными объектами (документом, таблицей, диском, сайтом), а также функции организации их взаимодействия между собой и с другими сервисами Google (Gmail, Календарь).

II. ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ

Любой преподаватель ведет в каком-то виде списки своих студентов. Многие до сих пор делают это в тетрадях, блокнотах, ежедневниках и на прочих бумажных носителях. Другие давно используют для этого компьютер и текстовый редактор MS Word. Еще более «продвинутые пользователи» перешли с таблиц, встроенных в MS Word, на электронные таблицы MS Excel. Эти таблицы дают больше возможностей, но и требуют определенного уровня компьютерной грамотности.

«Приверженцам блокнотов» для поддержания актуальности списков важно иметь при себе блокнот во время проведения занятий и при проверке домашних занятий. Приверженцы электронных таблиц должны либо иметь стационарный компьютер в аудитории, либо носить с собой портативный компьютер, либо постоянно актуализировать информацию, используя одноразовые бумажные списки, флешки, переписывать информацию с компьютера на компьютер и т.п. Это значительно затрудняет работу последним.

Однако распространение интернета и облачных технологий изменило ситуацию. Появилась возможность использовать для ведения списков электронные таблицы, хранящиеся на «облаке». Следует заметить, что, несмотря на широкое распространение и доступность облачных сервисов, большинство из них имеют более слабый функционал, чем аналогичные стационарные программы. Например, некоторые функции ведения списков в MS Excel удобно реализовать в виде специальных подпрограмм — макросов. В аналогичном облачном сервисе компании Microsoft возможность написания макросов отсутствовала. На момент начала реализации «облачных списков» (2016 год) наиболее удобными оказались перечисленные во введении веб-сервисы, предлагаемые компанией Google. Такой выбор был продиктован следующими критериями:

- бесплатностью этих сервисов;
- большим объемом облачного хранилища;
- разнообразием сервисов;
- репутацией компании, позволяющей рассчитывать на надежность функционирования реализуемой системы;
- наличием сервиса Google Scripts (Гугл-Скрипт), аналогов которому другие производители не предлагали.

Последний из перечисленных критериев — наличие сервиса, позволяющего программировать определенные действия как внутри прочих отдельно взятых сервисов (аналогично макросам Microsoft), так и реализовывать взаимодействие между ними — позволил поставить перед разрабатываемой системой качественно более сложные задачи. Стало понятно, что предлагаемые возможности позволяют преподавателю гораздо больше, чем простое

ведение списков. С помощью гугл-диска можно организовать дистанционное взаимодействие между преподавателем и студентом при выполнении РГР.

III. СОСТАВ И АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ

Архитектура системы представлена на рис.1.

Из этого рисунка видно, что система состоит из двух гугл-сайтов и ряда подсистем. Сайт Teaching Kitchen является инструментом преподавателя, через который он обращается к отдельным подсистемам. Все подсистемы реализованы в виде гугл-таблиц, следовательно, обладают всеми стандартными возможностями электронных таблиц (редактирование, форматирование, защита и фильтрация данных, сортировка, формирование сводных таблиц и диаграмм и т.д.). Помимо встроенного функционала, в подсистемах с помощью гугл-скриптов реализованы дополнительные возможности. Эти дополнительные функции запускаются с помощью соответствующих элементов управления, расположенных на боковых панелях. Инструментом работы с системой для студента является второй сайт — «РГР-Дупло».

То место, которое в аннотации к настоящей статье названо дуплом, имеет сложную структуру. На самом деле у каждого студента есть свое дупло — определенным образом названная папка на его гугл-диске. На схеме эти папки изображены в виде облачка с надписью «студент 1», «студент 2» и т.д. Это папка, в которую студент кладет РГР на проверку. Для каждой группы создается папка на гугл-диске преподавателя. Внутри этой папки создаются папки для каждого студента. На схеме они изображены в виде прямоугольника с надписью «студент 1», «студент 2» и т.д.

Студент предоставляет преподавателю доступ на просмотр своей папки, аналогично, преподаватель, предоставляет каждому студенту доступ на просмотр его папки на своем гугл-диске. Таким образом, для каждого студента дупло представляет собой пару папок: 1) папка «на проверку» на гугл-диске студента, к которой преподаватель имеет доступ на просмотр; 2) папка «с проверки» на гугл-диске преподавателя, к которой студент имеет доступ на просмотр.

Чтобы преподаватель узнал о том, что работа выложена на проверку, на сайте «РГР-Дупло» предусмотрена специальная форма для отправки сообщения преподавателю. Записка студента из этой формы попадает в подсистему «Дупло-восточки». В этой подсистеме реализованы функции, позволяющие преподавателю скопировать файлы, выложенные на проверку, в промежуточный pdf-файл, сделать текстовые и графические отметки о результатах проверки и сохранить этот файл в папку «с проверки». Кроме того, результаты проверки попадают в подсистему «Списки», а замечания о результатах проверки отсылаются по электронной почте студенту.

Более подробно функционал каждой из подсистем описан в следующем разделе.

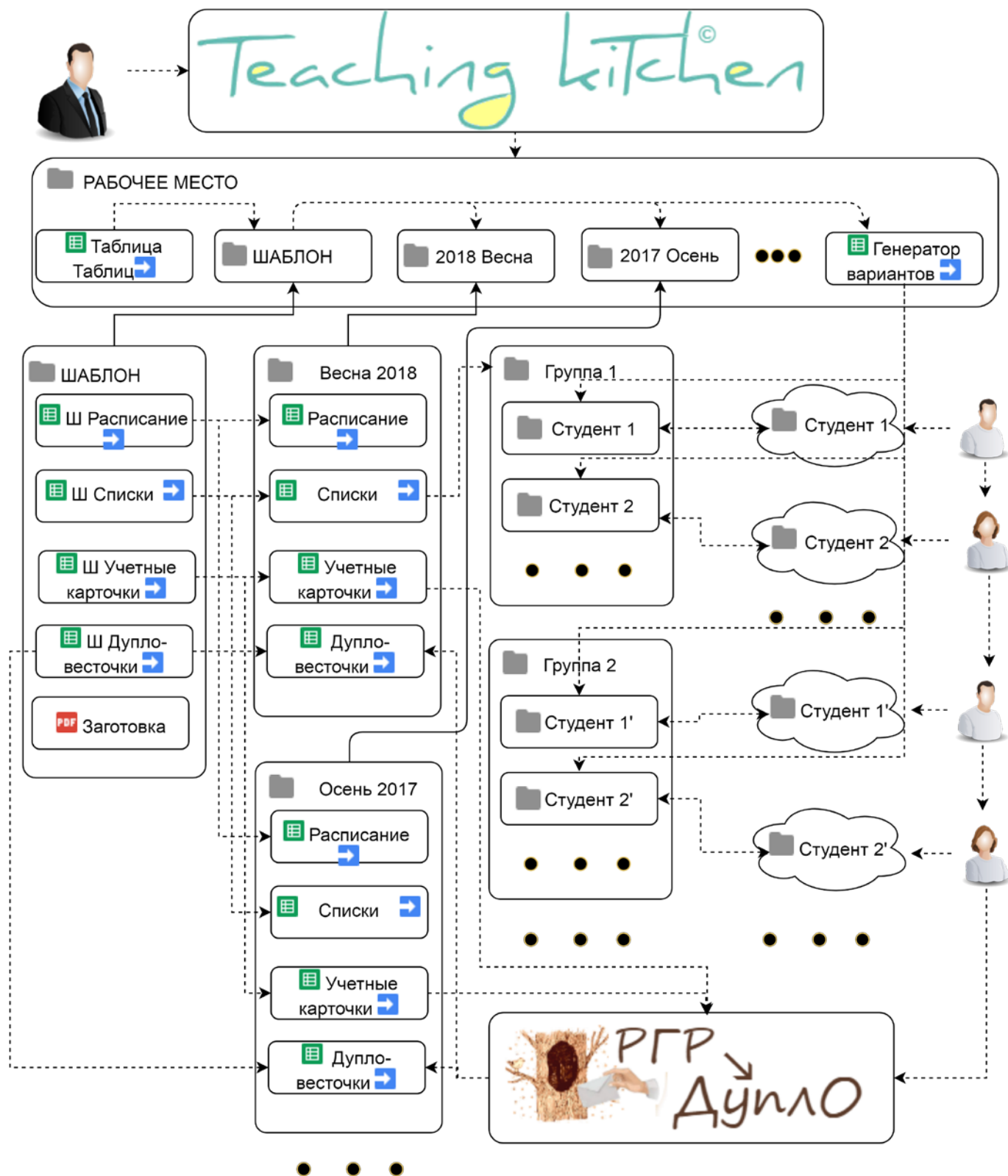


Рис.1. Архитектура системы

IV. ФУНКЦИОНАЛ ПОДСИСТЕМ

A. Сайт «РГР-Дупло»

Сайт предназначен для студентов. Его контент формирует преподаватель. Сайт доступен любому пользователю в интернете по адресу <https://sites.google.com/site/rgrduplo>.

Сайт состоит из следующих веб-страниц:

Инфо — информация о преподавателе, его расписание, объявления, опубликованные преподавателем.

Получить РГР — здесь студент может скачать задания РГР, вопросы к зачету и т. п.

Сроки — здесь преподаватель публикует информацию о сроках сдачи заданий РГР.

На проверку — здесь изложен алгоритм действий для сдачи выполненной части РГР на проверку.

Уже сдано — просмотр информации из подсистемы «Учетные карточки».

Дупло — форма для связи с преподавателем.

Кинотеатр — здесь студент может просмотреть презентации по решению типовых задач из РГР.

Читальный зал — ссылки на рекомендуемую учебную литературу.

Переключка — здесь студент может зарегистрировать свое присутствие на лекции.

Преподаватель имеет возможность добавлять новые страницы стандартными средствами гугл-сайтов.

B. Сайт «Teaching Kitchen»

Сайт предназначен для преподавателя. Пользователем этого сайта является сам преподаватель и те лица, которым он предоставит доступ. С этого сайта преподаватель может:

- переходить ко всем подсистемам;
- просматривать папки с вариантами РГР, редактировать варианты и генерировать новые варианты заданий;
- дать объявление на странице «Инфо» сайта «РГР-Дупло»;
- уточнить сроки на странице «Сроки» сайта «РГР-Дупло»;
- просматривать папки текущего семестра на гугл-диске и переходить к этим папкам;
- просматривать папки архива на гугл-диске и переходить к этим папкам;
- собирать на этой странице ссылки, необходимые преподавателю для подготовки к занятиям;
- переходить к гугл-календарю для планирования своего времени.

C. Подсистема «Таблица Таблиц»

Подсистема предназначена для развертывания системы или генерации нового семестра. Для этого используются скрипты, создающие на гугл-диске преподавателя папку, соответствующую новому семестру, и производящие копирование таблиц системы (расписание, списки, учетные карточки, дупло-восточки) в эту папку из специальной папки «Шаблон», содержащей шаблоны этих систем вместе с соответствующими скриптами.

D. Подсистема «Расписание»

Подсистема реализует ввод и просмотр расписания занятий, а также переход к списку выбранной в ячейке таблицы расписания группы.

E. Подсистема «Списки»

Подсистема реализована в виде гугл-таблицы. Таблица содержит лист «Группы» с перечнем групп преподавателя и по листу на каждую группу и каждый лекционный поток преподавателя.

Подсистема реализует следующие функции:

- ведение списков;
- генерация папок «С проверки» по спискам групп;
- переход к папке «С проверки» студента;
- переход к папке «На проверку» студента;
- генерация учетной карточки для текущей группы;
- генерация учетных карточек всех групп;
- модуль проставления оценок;
- модуль настройки текущего вида таблицы;
- модуль переходов к другим подсистемам и сайтам;
- модуль подготовки к переключке;
- модуль «переключка».

F. Подсистема «Учетные карточки»

Подсистема реализована в виде гугл-таблицы. Таблица содержит лист «Журнал» с указанием времени последнего обновления учетных карточек и по листу с учетной карточкой на каждую группу и каждый лекционный поток преподавателя.

Таблица доступна для просмотра через страницу «Уже сдано» сайта «РГР-Дупло»

G. Подсистема «Переключка»

Часть подсистемы системы, автоматизирующая действия преподавателя, реализована как модуль «Подготовка к переключке», вызываемый из подсистемы «Списки». Часть подсистемы системы, автоматизирующая действия студента, реализована как веб-приложение, вызываемое с сайта «РГР-Дупло».

Н. Подсистема «Дупло-восточки»

Подсистема реализована в виде гугл-таблицы. Таблица включает в себя:

- лист «Восточки», содержащий записки студентов, отправленные через сайт «РГР-Дупло»;
- лист «Реестр», содержащий перечень всех студентов (формируется автоматически при генерации папок студентов из подсистемы «Списки», уточняется при поступлении записок от студентов с сайта «РГР-Дупло»);
- лист «Статистика», содержащий статистические сведения об объеме данных в системе (формируется автоматически на основе формул гугл-таблиц);
- лист «Шаблоны», содержащий заготовки ответов на записки студентов;
- листы «Ошибки XXX», содержащий формулировки описаний, характерных для предмета XXX ошибок (используется при проверке РГР).

Подсистема реализует следующие функции:

- подготовка ответа на записку вручную;
- подготовка ответа на записку с использованием листа «Шаблоны» и/или модификация заготовок на листе «Шаблоны»;
- отправка подготовленного ответа на записку по электронной почте;
- отправка всех подготовленных ответов на записки по электронной почте;
- переход к папке «С проверки» студента;
- переход к папке «На проверку» студента;
- открытие папки «С проверки» на просмотр студенту;
- открытие папок «С проверки» на просмотр студентам;
- переход к списку группы;
- модуль переходов к другим подсистемам и сайтам.

И. Подсистема «Генератор вариантов»

Подсистема реализована в виде гугл-таблицы. Таблица включает в себя следующие листы:

- лист «Мета», содержащий описание и текущее состояние процесса генерации вариантов по каждому виду РГР;

Для каждого вида XXX РГР таблица содержит следующие листы:

- лист «Шаблон XXX», содержащий шаблоны формулировок заданий;
- лист «Формулы XXX», содержащий ссылки на формулы, рисунки, тексты, которые необходимо вставить в шаблон для получения документа с вариантом РГР;

- лист «Варианты XXX», содержащий список номеров формул для каждого варианта;
- лист «Стат XXX», содержащий статистику распределения номеров заданий каждого типа по вариантам.

Подсистема реализует следующие функции:

- генерация заданной порции строк на листе «Варианты XXX»;
- генерация варианта РГР вида XXX с заданным номером;
- генерация пакета вариантов РГР вида XXX для выбранной группы.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанная система постоянно развивается и совершенствуется. Преподаватель, решивший использовать эту систему, имеет возможность добавлять в нее собственные функции, используя стандартные веб-технологии, основанные на HTML, CSS, JavaScript, а также javascript-подобный язык GoogleScript, предназначенный для работы с объектами гугл-диска.

Система может использоваться не только для взаимодействия преподавателя и студента, но и для организации взаимодействия преподавателей между собой, например, лектора и семинаристов, преподавателя и работников деканата и т.п.

Отдельным обстоятельством, указывающим на полезность описанной системы, является то, что к ее разработке можно привлекать непосредственно самих студентов в рамках практики и дипломного проектирования. Такая работа позволяет студенту увидеть результаты своего труда, внедренного в учебный процесс. Это служит студенту хорошим стимулом для совершенствования своих знаний.

На основе опыта, полученного при создании системы дистанционного взаимодействия, разработаны и реализованы другие программные продукты, используемые при очном взаимодействии преподавателя и студента. Например, система «Экзамен» позволяет раздавать студентам билеты и отслеживать время, затраченное на подготовку к ответу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Ярмахов Б., Рождественская Л. Google Apps для образования. – СПб.: Питер, 2015. – 224 с.
- [2] Шмотьев А.Ю. Возможности использования google-сервисов в образовании // Наука и перспективы. – 2017. – № 3.
- [3] Якуба С. Сервисы Google для образования. Часть 1 / Якуба С. и др. – М.: Издательские решения, 2017.
- [4] Overview of Google Apps Script, <https://developers.google.com/apps-script>.

Разработка виртуальных инструментов для электротехнической лаборатории

Демин А.А., Жохова М.П., Краюшкин В.В.
ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский университет "МЭИ"
Москва, Российская Федерация

Аннотация — В докладе рассматриваются вопросы разработки инструментов виртуальной электротехнической лаборатории. Приводится описание реализации web-приложения «Виртуальная электротехническая лаборатория», которое включает в себя три модуля с лабораторными работами. Описаны достоинства и недостатки, а также перспективы развития разработанного приложения.

Ключевые слова — современное инженерное образование, информатизация учебного процесса, web-технологии, виртуальная электротехническая лаборатория

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время весьма широкое распространение получили web-технологии. Они используются в подавляющем большинстве отраслей промышленности, торговли, образовании и в повседневной жизни человека.

Информатизация учебного процесса с использованием web-технологий - целый комплекс образовательных технологий, включающий разработку электронных образовательных ресурсов (электронная библиотека лекций, практических занятий, система тестирования для проверки знаний). В современном образовании всё большую роль играют интерактивные средства обучения. Широкое распространение получила глобальная вычислительная сеть Internet, которая позволила студентам очной и очно-заочной форм обучения и слушателям дистанционной формы обучения в режиме «online» получать учебный материал для самостоятельной работы, выполнять контрольные задания, задавать вопросы преподавателю (тьютору) и получать на них ответы. Преподавателю (тьютору) современные технологии дают возможность быстро и оперативно в режиме «online» контролировать усвоение материала и вносить, при необходимости, соответствующие корректировки в процесс обучения.

Одно из важнейших направлений информатизации учебного процесса - создание интерактивных лабораторных практикумов. Виртуальные электротехнические лаборатории используются в современном инженерном образовании при любой форме обучения, а разработанные виртуальные инструменты встраиваются в дистанционные интернет-лекции и семинары.

Виртуальные электротехнические лаборатории представляют собой системы имитационного компьютерного моделирования исследуемых режимов электрических и магнитных цепей. Выполнение лабораторных работ на смоделированных в специальной среде виртуальных стендах позволяют пользователю проводить виртуальные измерения в удобном месте и удобное время. Специальная система виртуальных переключателей, окон для задания параметров элементов исследуемых цепей, манипуляции компьютерной мышью дают возможность оперативно менять условия эксперимента, производить расчеты и строить необходимые графики. Как правило, в систему виртуальной электротехнической лаборатории интегрированы калькулятор расчетов, средства автоматического построения графиков, таблица для записи результатов измерений.

Актуальность использования виртуальных лабораторных работ состоит в том, что для организации и проведения таких работ не нужно сложного оборудования, места для его хранения, замены, ремонта. Все виртуальные работы размещены на серверах кафедры или института.

II. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Для создания и применения виртуальных практикумов применяются различные технологии [1]. «Виртуальная электротехническая лаборатория» представляет собой набор web-приложений, разработанных с использованием комплекса серверного программного обеспечения LAMP (Linux+Apache+MySQL+PHP) [2].

В разработанных web-приложениях широко используется новый стандарт разметки HTML 5, так как он содержит элемент canvas, позволяющий изображать различные электрические схемы. Преимущества элемента canvas:

- имеет аппаратное ускорение;
- для работы с canvas существует множество библиотек;
- есть возможность изменения (корректировки) части изображения (схемы).

Для доступа к отдельным элементам web-страниц и придания им большей интерактивности применяется

сценарный язык программирования на стороне клиента JavaScript и библиотека JQuery, созданная на его основе. Основной задачей JQuery является предоставление доступа к любому элементу DOM (Динамической Объектной Модели Html-страницы), обращение к атрибутам элементов DOM, манипулирование ими. Также JQuery предоставляет удобный API для использования технологии AJAX (асинхронный JavaScript и XML).

Библиотека JQuery работает со всеми браузерами. Это значит, что программисту не нужно заботиться о кроссбраузерной совместимости JavaScript кода. Для JQuery написано большое число плагинов, которые позволяют расширить ее возможности. В данной работе используется два плагина для библиотеки JQuery: Flot и JQueryUI.

Flot это библиотека для JQuery, которая используется в системе и позволяет просто и быстро создать "интерактивный" график, качественно иллюстрирующий исследуемые процессы. Для отображения графика библиотека использует элемент canvas, а данными, по которым строится график, является массив пар чисел, передаваемый с помощью AJAX от сервера. Достоинства библиотеки Flot:

- малые затраты на график, размер данных для построения график не превышает 100кБ;
- минимальная нагрузка на сервер, построение графика выполняется браузером.

JQuery UI — библиотека JavaScript с открытым исходным кодом для создания интерактивного и насыщенного пользовательского интерфейса в web-приложениях. Построена с помощью библиотеки JQuery и предоставляет разработчику простой доступ к её функциям анимации, взаимодействия и эффектов, а также набор виджетов.

Кроме этого, в данном приложении для работы с визуализацией можно использовать такие библиотеки как Three.js и d3. Three.js — легковесная кроссбраузерная библиотека JavaScript, которая используется при создании и отображении компьютерной 3D графики при разработке веб-приложений. Three.js скрипты могут использоваться вместе с элементом HTML5 CANVAS, SVG или WebGL. D3.js (или просто D3) это JavaScript-библиотека для обработки и визуализации данных. Она предоставляет удобные утилиты для обработки и загрузки массивов данных и создания DOM-элементов.

III. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ

К настоящему времени разработаны и успешно апробированы в учебном процессе следующие лабораторные работы: «Исследование резонанса в цепи с последовательно соединёнными элементами R , L , C »; «Исследование полосно-заграждающего фильтра»; «Исследование полосно-пропускающего фильтра». Каждая из лабораторных работ представляет собой самостоятельный модуль, который может быть подключён в любом месте внешнего интерфейса web-

приложения. Для удобства три модуля собраны в одном web-приложении - «Виртуальная электротехническая лаборатория». Данное приложение является закрытым и для доступа к его функциям необходимо сначала авторизоваться.

Каждый из модулей представляет собой совокупность PHP-скриптов, сценариев на языке JavaScript и стилей оформления CSS.

База данных для web-приложения «Виртуальная электротехническая лаборатория» состоит из 7 таблиц. Создается одна таблица с учётными записями преподавателей и студентов и по две таблицы исходных и экспериментальных данных для каждой лабораторной работы.

К примеру, для подключения модуля с лабораторной работой «Изучение полосно-пропускающего фильтра» необходимо выполнить следующую последовательность действий:

- поместить папку с модулем в той директории, где находится страница, на которой будет размещена работа;
- в базе данных, которая используется web-приложением пользователя, создать таблицы reports_ppf и rows_ppf;
- для подключения работы на странице, где необходимо разместить модуль, использовать функцию require "ppf/ppf.php";
- для подключения файла отображения результатов эксперимента (отчета) на странице, где будут отображаться отчёты, использовать функцию require "ppf/ppf_view_reports.php".

IV. ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ РЕЖИМ

На рис. 1 представлен интерфейс модуля лабораторной работы «Изучение полосно-пропускающего фильтра». Основные части интерфейса:

- блок с графиком для отображения АЧХ фильтра, его резонансной частоты и граничных частот, при наведении на графики функций появится всплывающая подсказка с дополнительной информацией;
- блок с информацией содержит "холст" canvas с нарисованной схемой и результат расчёта для данных параметров цепи;
- блок для изменения частоты входного воздействия содержит слайдер с двумя ползунками для задания частот;
- блоки для управления параметрами элементов цепи: каждый числовой параметр задаётся с помощью двух слайдеров, первый слайдер задаёт величину мантиссы числа, а второй - порядок числа;
- кнопки для управления отчётом.

При переходе на страницу с модулем происходит автоматическое создание отчёта, по умолчанию фиксируются дата и время его создания. При выполнении лабораторной работы пользователь задаёт или изменяет параметры цепи. Параметры элементов электрической цепи можно задавать с помощью ползунков или ввода

необходимые значения в соответствующие текстовые поля. При этом предусмотрена защита от ввода в текстовое поле числа, которое больше максимально допустимого значения или меньше минимально допустимого значения.

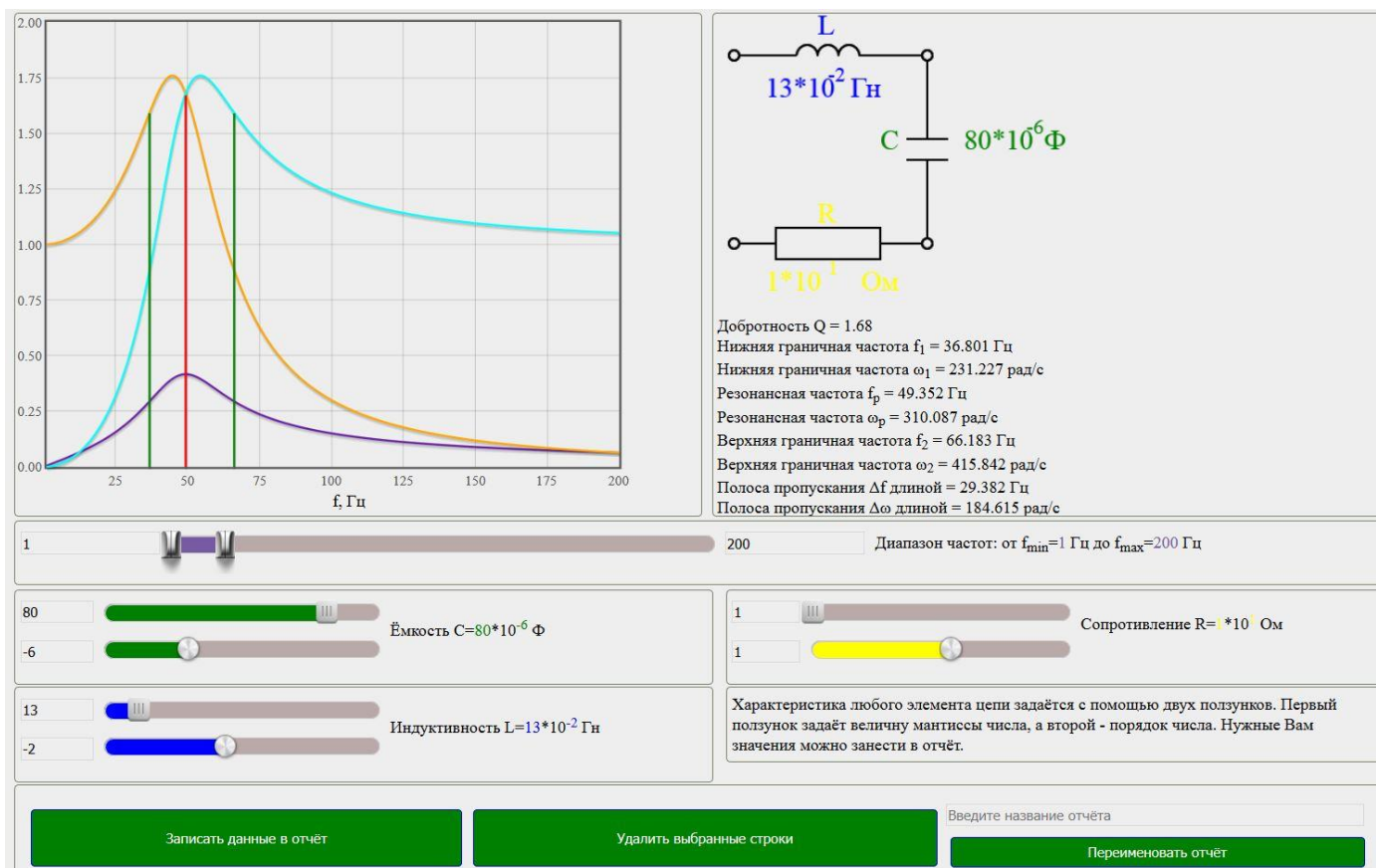


Рис. 1. Интерфейс модуля лабораторной работы

При проведении эксперимента пользователь может, нажав кнопку «Записать данные в отчёт», сохранить в базу данных значения текущих параметров элементов электрической цепи и результаты эксперимента. Системой предусмотрено удаление строк, которые были занесены ошибочно и переименование отчёта.

После выхода из страницы с лабораторной работой, отчёт считается завершённым и его можно посмотреть на странице «Посмотреть отчёты по исследованию полосно-пропускающего фильтра».

По каждому отчёту представлена следующая информация: название, дата создания, параметры элементов цепи и результаты расчёта. На этой странице можно не только посмотреть созданные отчёты, но и удалить ненужные.

V. АДМИНИСТРАТИВНЫЙ РЕЖИМ

В web-приложении «Виртуальная электротехническая лаборатория» существует разграничение доступа. Любой

пользователь может просматривать и удалять только свои отчёты. Кроме того, существует различие между учётной записью студента и учётной записью преподавателя. Студент может только выполнять лабораторные работы и просматривать свои отчёты. Преподаватель, в отличие от студента, может регистрировать новых пользователей: как студентов, так и других преподавателей. На странице реализована защита от самых распространённых ошибок, которые можно допустить при управлении учётными записями:

- при регистрации было оставлено пустым одно или несколько полей;
- при регистрации был введён логин, который уже занят;
- при изменении записи было оставлено пустым одно или несколько полей.

VI. ПРИМЕР ЛАБОРАТОРНОГО МОДУЛЯ

Рассмотрим принцип работы модуля с лабораторной работой «Исследование резонанса в цепи с последовательно соединёнными элементами R , L , C ». Модуль состоит из трёх блоков: блок с графиком для отображения резонансных кривых, резонансной частоты и граничных частот (рис. 2), блок с информацией, блок для управления параметрами электрической цепи.

После задания пользователем параметров элементов цепи с помощью ползунков или ввода значения в текстовое поле, все данные передаются скрипту `prf_chart.php`. Передача реализована на языке JavaScript, с использованием технологии AJAX. Получив все параметры, скрипт, используя известные функции, создаёт массив пар точек для построения необходимых графиков. Массив передаётся в формате JSON обратно на html-страницу, далее, с помощью языка JavaScript, массив передаётся библиотеке Plot. Таким образом, в блоке с графиком появляются зависимости действующих (или амплитудных) значений напряжений на элементах от частоты приложенного напряжения.

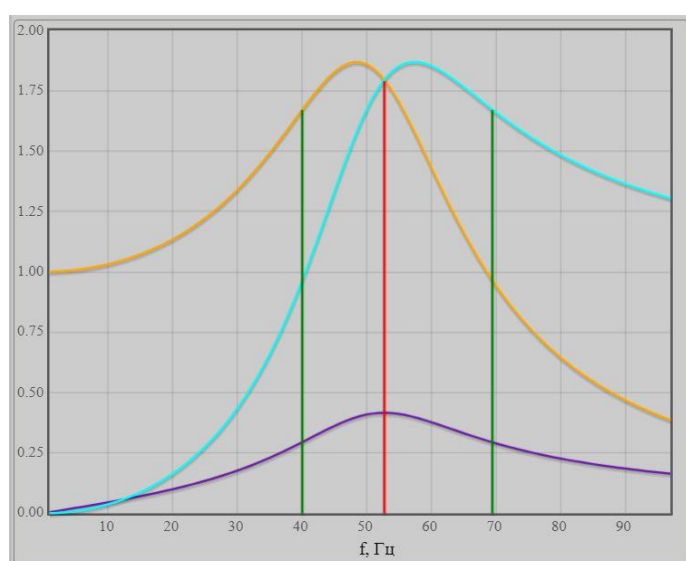


Рис. 2. Блок с графиком

Для лучшего восприятия зависимости изображены разными цветами: $U_R(\omega)$ – фиолетовым, $U_C(\omega)$ – жёлтым, $U_L(\omega)$ – голубым. Резонансная частота показана на графике красной вертикальной линией, полоса пропускания обозначена нижней граничной частотой (f_1) и

верхней граничной частотой (f_2). Эти частоты изображены зелёными вертикальными линиями (рис. 2).

Изменение параметров элементов цепи с помощью переключателей сопровождается динамическим изменением графиков. Для исследования избирательных свойств контура определяется добротность контура, ширина резонансной кривой.

Экспериментальные данные пользователь вносит в личный отчет. После выхода из страницы с лабораторной работой, отчет считается завершенным и его можно посмотреть на странице «Посмотреть отчет».

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эта система является простым, стабильным и функциональным web-приложением для выполнения лабораторных работ по электротехнике. Оно обеспечивает нужные функции по выполнению работ, созданию и просмотру отчетов.

В качестве основных достоинств данной системы можно отметить следующее: кроссплатформенность системы (работает практически в любой операционной среде); при работе с приложением можно использовать любой из современных веб-браузеров; возможность моделирования объектов, процессов, явлений, которые невозможно воспроизвести в условиях учебного заведения или наблюдать в реальности.

Основным недостатком данной системы является сложность создания новых виртуальных стендов для лабораторных работ. Для этого необходимы знания языков программирования PHP и JavaScript. Этот недостаток можно рассматривать как перспективу развития описанной системы. Необходимо разработать инструментарий, позволяющий рисовать в веб-браузере исследуемые электрические схемы и подключать их к виртуальным лабораториям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] М.П. Жохова, В.В. Краюшкин, Г.И. Лесников. Виртуализация учебной электротехнической лаборатории// Труды международной научно-методической конференции ИНФОРИНО 2012, 10-11 апреля 2012 г, Москва, Издательский дом МЭИ, С. 291-293
- [2] Никсон Р. Создаем динамические веб-сайты с помощью PHP, MySQL, JavaScript, CSS и HTML5. 3-е изд. СПб.: Питер, 2015. — 688 с.

Использование Multisim в лабораторных работах по дисциплине «Электротехнические измерения»

Долгов Г.Ф.

Владимирский государственный университет Владимир, РФ
dolgov@vlsu.ru

Аннотация — Статья посвящена вопросам использования виртуальных измерительных приборов в изучении дисциплины «Электротехнические измерения». Предлагается в лабораторном практикуме по указанной дисциплине опираться на виртуальные приборы программной среды Multisim. Даются примеры применения виртуальных вольтметров, амперметров, осциллографов при изучении методов и средств измерения электрических параметров компонентов и цепей.

Ключевые слова — виртуальные приборы; методы и средства электротехнических измерений; обучение.

I. ВВЕДЕНИЕ

Вопросы внедрения вычислительной техники в учебный процесс всегда были актуальны и рассматривались в докладах настоящей конференции в предыдущие годы [1, 2]. По многим направлениям подготовки специалистов различного уровня необходимо выпускников сформировать компетенции, позволяющие организовывать и проводить работы с применением электротехнических измерений. Известно, что для обеспечения точности измерений требуется правильно выбирать средства измерений и уметь ими пользоваться. При выборе методов и средств измерений учитывают точность измерений, стоимость средств измерений, длительность и стоимость измерительных операций и пр. Чтобы выпускники умели выбирать методы и средства измерений и умели пользоваться измерительными приборами, в программы дисциплин вводят лабораторные работы, на которых студенты осваивают соответствующие компетенции. Сложность освоения методов и средств измерений студентами в первую очередь связана с ограниченным временем пребывания студентов в измерительных лабораториях учебных заведений. В учебных планах время аудиторной нагрузки студента с каждым годом сокращается, а время самостоятельной работы увеличивается. Заниматься дома самостоятельным изучением электроизмерительных приборов не получается, так как у основной части студентов нет даже простейшего мультиметра, а о таких приборах как осциллограф, измеритель характеристик, измеритель спектра и других - тем более вспоминать не приходится. Как же студентам за очень ограниченное время лабораторных работ можно освоить электроизмерительные приборы? Ответу на этот вопрос и посвящена данная работа.

II. ВИРТУАЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ – ПОМОШНИКИ В ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ

Многие студенты, которые ни когда не пользовались измерительными приборами, испытывают чувство страха при подключении прибора к электрическим цепям, так же как большинство людей впервые севших за руль автомобиля или штурвал самолета. Но все студенты легко работают с компьютером. Поэтому сейчас складывается практика - прежде чем пустить обучающегося к реальному устройству, его первоначально учат на тренажерах (автомобиля, самолета). Такой же подход целесообразно использовать и при обучении работе с электроизмерительными приборами.

Наверное, без виртуальных измерительных приборов в этом случае обойтись трудно. А где взять такие приборы? При выборе виртуальных приборов целесообразно ориентироваться на общедоступные приборы, которые по своим органам управления близки к реальным приборам, и с которыми можно работать на большинстве компьютеров, а также желательно, чтобы такие приборы были в программных продуктах, изучаемых студентами в различных дисциплинах.

III. ВИРТУАЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ СИСТЕМЫ MULTISIM

Одним из вариантов программных средств, которые могут использоваться для изучения электро- и радиотехники является Multisim [3].

Multisim – программная среда, входящая в Electronics Workbench (лидер международного рынка по разработке программного обеспечения для проектирования схем). Особенностью программы Multisim является наличие виртуальных измерительных приборов, имитирующих реальные измерительные приборы. В состав Multisim включены различные виртуальные измерительные приборы: мультиметр, предназначенный для измерения переменного или постоянного тока или напряжения, сопротивления; генератор сигналов, который может генерировать синусоидальные, пилообразные и прямоугольные импульсы; осциллографы (2-х и 4-х каналные); измеритель частотных характеристик, предназначенный для построения амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик линейных цепей; анализатор спектров, служащий для анализа спектров периодических несинусоидальных колебаний, измерения амплитуд

гармоник; ваттметр, предназначенный для измерения мощности и коэффициента мощности цепи синусоидального тока; токовый и измерительный пробники, показывающие постоянные и переменные напряжения и токи на участке цепи, а также частоту сигнала. Все эти виртуальные приборы позволяют студентам не только освоить работу с реальными измерительными приборами, но и изучить различные методы измерения электротехнических параметров компонентов и цепей, понять от чего зависят погрешности электротехнических измерений и каким образом их можно снизить.

Стоит отметить, что Multisim, как и большинство качественных программных продуктов, относится к проприетарному программному обеспечению, что ограничивает его доступность использования студентами у себя дома. Однако, многие учебные заведения имеют лицензионные версии Multisim, которые устанавливаются в сети вуза, обеспечивая возможность круглосуточной работы студентов с этим программным обеспечением.

Использование виртуальных приборов позволяет студентам освоить основные методы и средства электротехнических измерений еще до работы с реальными приборами. При организации учебного процесса целесообразно в качестве заданий на подготовку к работе в измерительной лаборатории давать студентам задания по проведению измерений и построению различных зависимостей с использованием виртуальных приборов системы Multisim.

Такой подход (вначале поработай с виртуальным прибором, а затем с реальным) кроме повышения скорости и качества освоения студентами компетенций по электротехническим измерениям способствует сохранности реального измерительного оборудования. К работе на реальных измерительных приборах допускается студент, освоивший правила работы на виртуальных приборах.

Примеры проведения некоторых измерений с использованием виртуальных приборов даны далее.

IV. ИЗМЕРЕНИЯ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ. ОЦЕНКА МЕТОДИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Электротехнические измерения не мыслимы без измерения токов и напряжений. Применяя виртуальные приборы из системы Multisim (вольтметры, амперметры, мультиметры) студенты учатся не только правильно включать в цепь указанные приборы, но и оценивать методические погрешности измерения напряжений (рис. 1) и токов (рис.2). Если теоретически резистивный делитель с двумя равными по величине сопротивлениями резисторов (рис. 1) делит напряжение в 2 раза, а виртуальные приборы показывают значения, отличающиеся от рассчитанных значений, то студенты должны задуматься отчего это происходит и как можно снизить погрешность измерений. Рекомендации, данные студентам по проведению измерений токов и напряжений с различными значениями входных сопротивлений измерительных приборов (которые в Multisim легко

изменяются), способствует более быстрому нахождению причины различия теоретических и измеренных значений токов и напряжений. Также студенты могут определить требования к сопротивлению идеальных вольтметров и амперметров и дать рекомендации по снижению методической погрешности измерений.

На рисунке 1 приведена схема, созданная в системе Multisim, резистивного делителя напряжений, из двух резисторов сопротивлением 100 кОм. Схема представлена в виде, в котором она отображается на экране Multisim, что не соответствует ЕСКД, но облегчает студентам осваивать виртуальные приборы системы Multisim, сравнивая схему на экране со схемой в методических указаниях. Теоретически падение напряжения на каждом резисторе составляет 5 В, но при подключении вольтметра U1 с входным сопротивлением 1 МОм из-за методической погрешности показания вольтметра составляют 4,762 В. Изменяя входное сопротивление вольтметра (изменяется очень легко), изменяются и его показания.

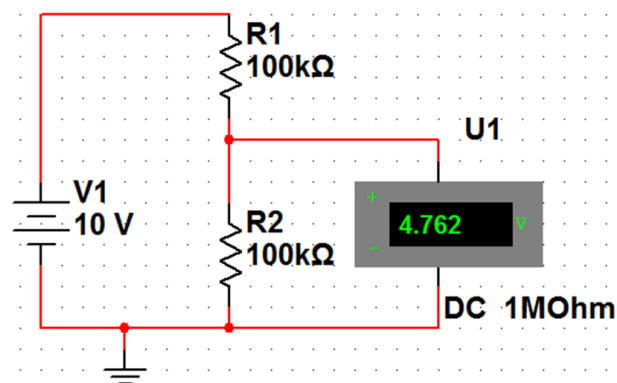


Рис. 1 Схема для оценки методической погрешности измерения напряжения

Аналогичным образом можно поступить при оценке методической погрешности измерения тока в цепи (рис. 2). На приведенной схеме методическая погрешность, равная 10%, вызвана довольно большим (0,1 Ом) сопротивлением амперметра.

Понять, как влияет внутреннее сопротивление приборов на результаты измерения сопротивлений методом вольтметра-амперметра можно по схемам, приведенным на рис. 3 и 4. На схеме указаны батарея питания V1, имеющая собственное сопротивление rV1, измеряемое сопротивление Rx, вольтметр постоянного тока V1, амперметр постоянного тока I1. У вольтметра и амперметра можно изменять внутренние сопротивления (показаны под иконками приборов) и отслеживать изменение показаний приборов. Тем самым не сложно получить зависимости методической погрешности измерения неизвестного сопротивления от внутреннего сопротивления измерительных приборов. Сравнивая результаты измерений при различных параметрах элементов схем, показанных на рисунке 3 и рисунке 4, и оценивая погрешности измерений можно понять какую схему и в каком случае использовать целесообразнее.

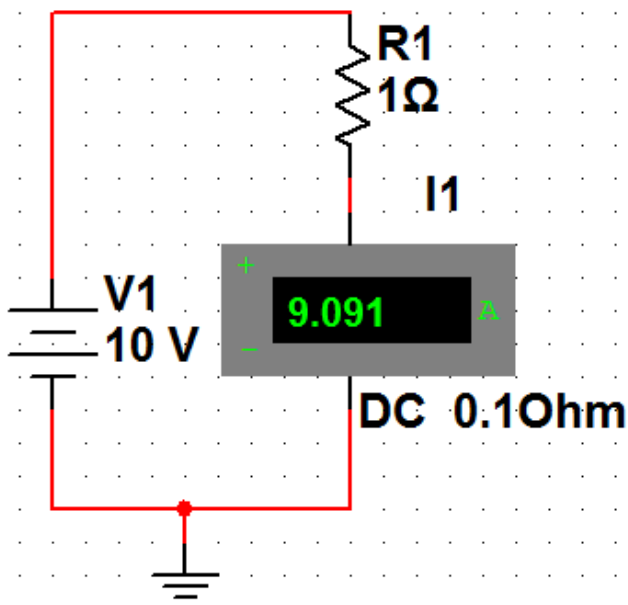


Рис. 2 Схема для оценки методической погрешности измерения тока

Используя источник переменного напряжения и измерительные приборы для переменного тока, легко освоить измерение реактивных сопротивлений электрических емкостей конденсаторов и индуктивностей катушек. Через реактивные сопротивления указанных элементов легко найти емкость и индуктивность. Изменяя параметры приборов, прежде всего можно узнать, как эти параметры влияют на методическую погрешность измерения.

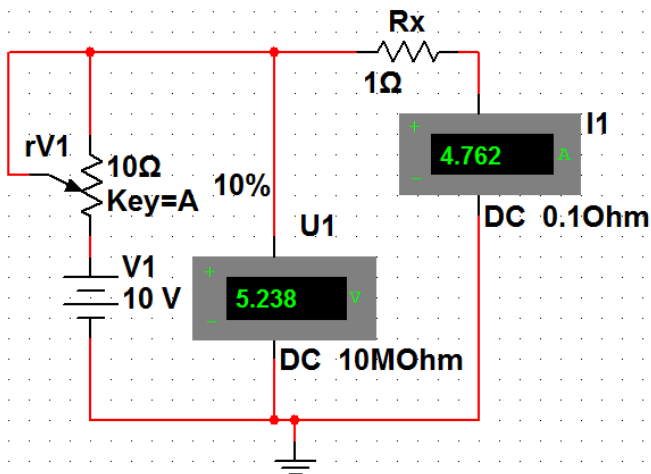


Рис. 3 Схема для оценки методической погрешности измерения больших сопротивлений методом вольтметра-амперметра

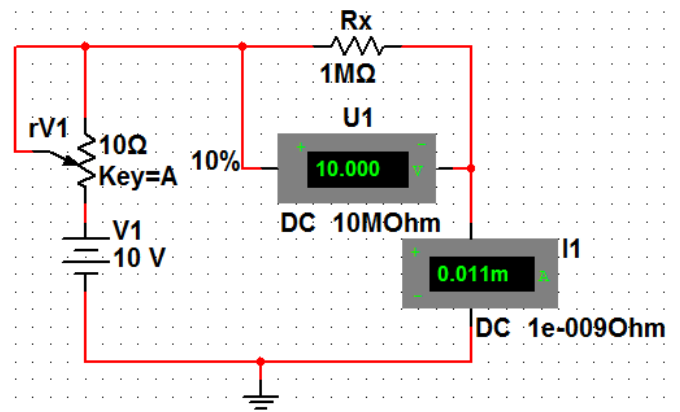


Рис. 4 Схема для оценки методической погрешности измерения малых сопротивлений методом вольтметра-амперметра

С помощью приборов Multisim можно проводить измерения параметров и осваивать мостовой метод измерения сосредоточенных параметров компонентов электрических цепей. Схема для измерения индуктивности и активного сопротивления катушки мостовым методом представлена на рисунке 5. Баланс моста обеспечивается изменением сопротивления двух резисторов – R3 и R4, добиваясь нулевых показаний измерительного прибора. В качестве прибора, по которому оценивают баланс моста, на схеме показан вольтметр U1. Вместо вольтметра, как рекомендуется в большинстве учебников по электротехническим измерениям, можно поставить амперметр, однако, с вольтметром достичь баланса моста оказывается проще, в чем могут убедиться студенты, при освоении мостового метода.

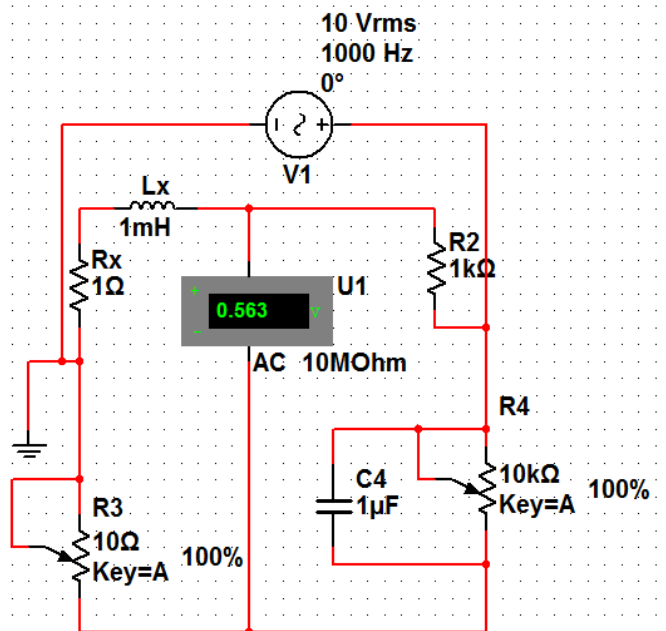


Рис. 5 Схема для изучения мостового метода измерения индуктивности Lx и активного сопротивления Rx катушки индуктивности

Если работу с вольтметрами, амперметрами студенты осваивают достаточно быстро, то работе с осциллографом приходится уделять значительно больше времени. В

Multisim есть виртуальные осциллографы 2-х и 4-х каналные. На этих осциллографах не составляет труда освоить осциллографические методы измерения напряжений (как переменных, так и постоянных составляющих) и временных параметров (периода сигнала, частоты, длительности импульса и пр.), сдвига фаз между кривыми и пр. При этом возможно использование различных методов измерения: калиброванных развертки и усиления; по фигурам Лиссажу и др.

На рис.6 показана простая схема, демонстрирующая работу осциллографа в режиме калиброванного усиления и калиброванной развертки. На рисунке представлен гармонический сигнал частотой 1 кГц и амплитудой 10 В, сгенерированный функциональным генератором XFG1. Постоянная развертки осциллографа составляет 1 мс/дел, а постоянная усиления – 5 В/дел. Легко увидеть, что измерение параметров сигнала на осциллографе дает те же значения, которые установлены на генераторе.

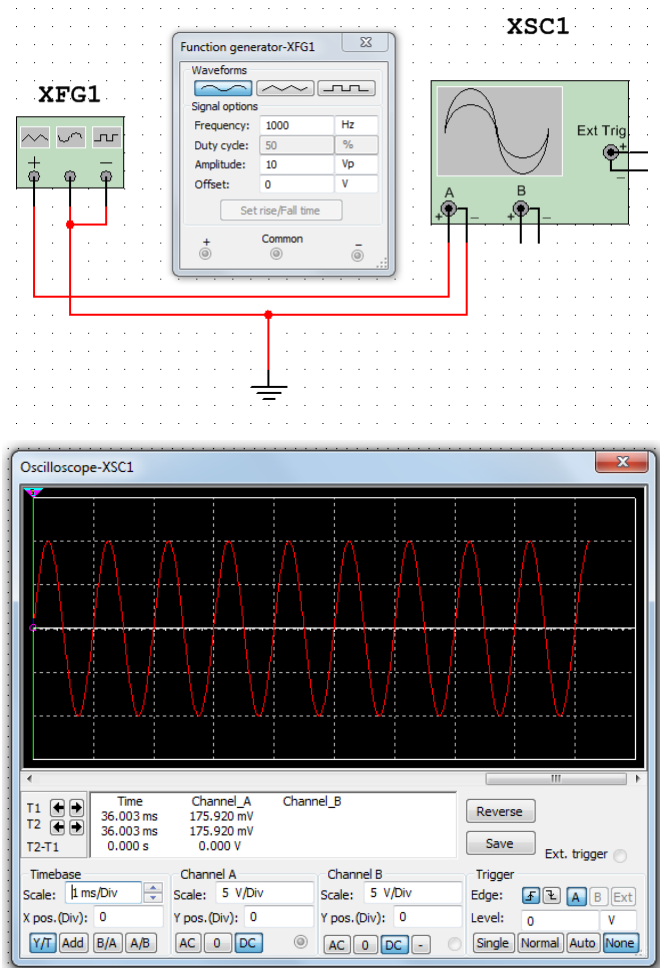


Рис. 6 Гармонический сигнал на экране осциллографа

Виртуальный осциллограф позволяет получать фигуры Лиссажу, на которых осваиваются методы измерения временных параметров сигналов, наблюдать за сигналами с постоянной и переменной составляющей напряжения при открытом и закрытом входе.

Студенты могут изменять напряжение и частоту сигнала на генераторе, чувствительность канала, скорость развертки осциллографа и наблюдать за изменениями кривой на экране. В списке измерительных приборов системы Multisim имеются различные генераторы, анализаторы (например, анализатор спектра), ваттметры и др. приборы. Все эти приборы позволяют освоить основную часть методов измерения параметров компонентов и сигналов без опасения, что измерительный прибор сломается. После освоения приемов работы с виртуальными приборами студентов допускают до реальных приборов. В этом случае освоение реальных приборов проходит на порядок быстрее.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- при организации учебного процесса по электротехническим измерениям целесообразно при подготовке и в ходе учебных занятий использовать виртуальные приборы, в том числе системы Multisim;
- прежде чем допускать студентов к работе с реальными средствами измерений, целесообразно студентам поработать с виртуальными измерительными приборами, при этом студенты овладевают навыками работы с реальными приборами на компьютере и к работе с реальными приборами подходят подготовленными и не выводят их из строя;
- совместное использование виртуальных и реальных измерительных приборов приводит к более быстрому и более глубокому владению компетенциями по электротехническим измерениям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Долгов Г.Ф. Опыт использования системы SolidWorks при изучении дисциплины «Основы проектирования электронных средств» // Труды Международной научно-методической конференции ИНФОРИНО-2014 (Москва, 15-16 апреля 2014 г.). – М.: Издательство МЭИ, 2014. – 604 с. - С.119-120.
- [2] Долгов Г.Ф. Изучение САПР, использующих конечноэлементный анализ при подготовке бакалавров и специалистов по направлению «Проектирование и технология электронных средств» - Труды Международной научно-методической конференции ИНФОРИНО-2012 (Москва, 10-11 апреля 2012 г.). – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. - С.167-168.
- [3] Введение в Multisim. Трехчасовой курс. – National Instruments. http://of.bsu.ru/e-book/mikroprochess/Manual_multisim_rus.pdf

Адаптация учебной дисциплины «Методы расчета тепловых схем турбоустановок и энергоблоков» к реальным эксплуатационным условиям в системе дистанционного образования

Е.В. Дорохов

Институт тепловой и атомной энергетики
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
г. Москва, Россия
dor-evgeny@yandex.ru

Аннотация — Рассматривается образовательная технология дисциплины «Методы расчета тепловых схем турбоустановок и энергоблоков для планирования эксплуатационных режимов», практическое содержание которой реализуется в Расчетно-графической работе (РГР), выполняемой в компьютерной системе MS Excel.

Ключевые слова — тепловая схема, моделирование, турбоустановка

I. ВВЕДЕНИЕ

Большинство студентов групп дистанционного образования (ДО) по направлению «Теплоэнергетика и теплотехника» работают в технологических цехах тепловых электростанций (ТЭС). Эффективность учебного курса ДО в значительной мере зависит от мотивации студента. Система ДО по магистерской программе создает возможности расширения и углубления знаний, наработки умений выполнять сложные инженерные расчеты студенту, сделавшему свой профессиональный выбор. Заинтересованность в профессиональных знаниях побуждает специалиста с бакалаврской степенью к социальной активности и осознанию перспективности самостоятельного дальнейшего обучения в заочной форме без отрыва от постоянного места работы.

Заинтересованность в учебной дисциплине «Методы расчета тепловых схем турбоустановок и энергоблоков для планирования эксплуатационных режимов» определяется повседневной необходимостью находить наиболее рациональные режимы работы эксплуатируемых турбоустановок и энергоблоков ТЭС. У персонала ТЭС существуют разные мнения и убеждения по эффективности возможных эксплуатационных режимов работы турбоустановок и энергоблоков. Мнения и экспертные заключения должны основываться на инженерных расчетах.

Освоение рассматриваемой учебной дисциплины формирует знания, умения и убеждения в способности обеспечивать инженерное сопровождение эксплуатации

сложного технологического оборудования в режимах с максимальной энергетической эффективностью.

II. МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Администрирование ДО выполняется с помощью программного комплекса НИУ МЭИ «Прометей». В составе ресурсной базы по рассматриваемой учебной дисциплине имеются:

- электронное учебное пособие. Расширенная редакция методических указаний [1] для студентов очного обучения;
- электронный учебник (с грифом УМО);
- рекомендации по порядку выполнения расчетно-графической работы.

При моделировании и выполнении теплоэнергетических расчетов в электронной форме требуются многократные вычисления термодинамических параметров рабочих сред (воды и пара). В НИУ МЭИ создан соответствующий программный комплекс с зарегистрированным названием WaterSteamPro™ (www.wsp.ru). Студентам системы ДО предоставляется бесплатная лицензия на установку этого программного комплекса на свой компьютер.

Высылаемые файл MS Excel, образующий типовой макет РГР, и методические материалы являются учебно-методическим ресурсом по рассматриваемой учебной дисциплине.

III. ИНТЕГРАЦИЯ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА К РЕАЛЬНЫМ УСЛОВИЯМ РАБОТЫ ТЭС

Назначаемые режимы работы оборудования ТЭС зависят от сезона года и принятого в рассматриваемом городе температурного графика теплоснабжения. Поэтому на первом этапе рассматривается температурный график теплоснабжения конкретного города. Обосновываются его особенности в характерных диапазонах температуры наружного воздуха. Например, на рис. 1 приведен

температурный график теплоснабжения некоторых ТЭЦ Москвы.

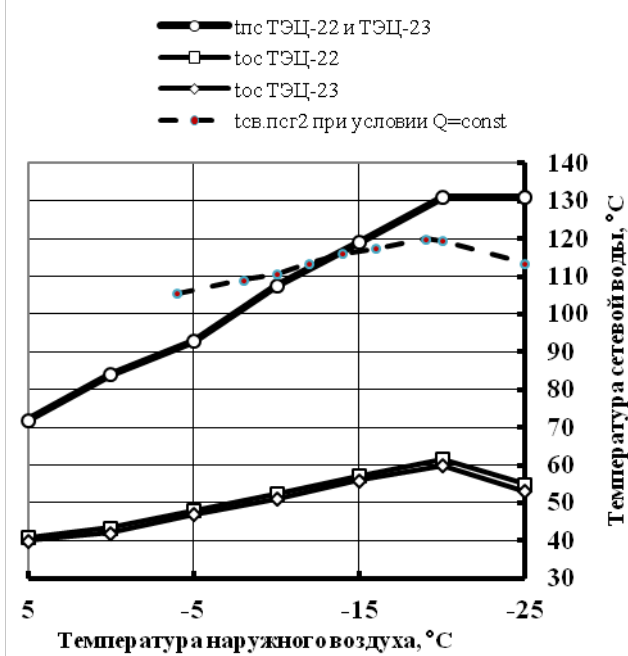


Рис. 1. Температурный график теплоснабжения

В реальных условиях реализуется качественно-количественное регулирование отпускаемой тепловой энергии (теплоносителя). На рис. 2 приведены данные по расходу сетевой воды двух ТЭЦ Москвы.

Изучение этого материала инициирует студента собрать аналогичную информацию ТЭЦ, на которой он работает. Собранный материал студент включает в отчет производственной практики. На его основе исследуются условия включения в работу пиковых водогрейных котлов (ПВК) ТЭЦ.

На рис. 3 приведен вариант расчетной тепловой схемы энергоблока с турбиной Т-110-12,8, который выдается студенту для выполнения РГР.

Для адаптации электронной модели тепловой схемы к условиям эксплуатации необходимо исходить из имеющихся измерений параметров пара, питательной воды и основного конденсата. Как правило, должны быть измерения давления и температуры пара в первых четырех регенеративных отборах, а также параметров на выходе регулирующей ступени ЦВД. Это позволяет обойтись без экспертной оценки внутренних относительных КПД регулирующей ступени и первых четырех отсеков. Моделирование теплофикационной установки зависит от условий применения сетевой установки конкретной турбины. Потребуется учесть, что на вход в сетевой подогреватель ПСГ1 поступает сетевая вода после смешения с подпиточной водой. Расход подпиточной воды зависит от потерь сетевой воды в теплосети, а температура исходной воды зависит от сезона года.

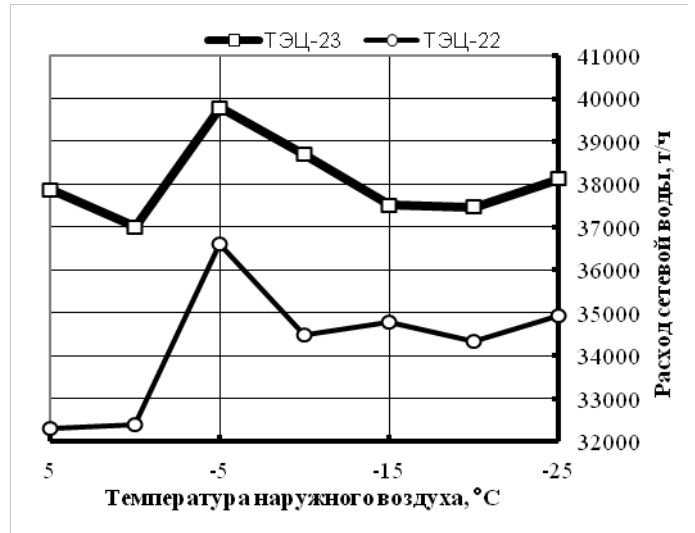


Рис. 2. Расход сетевой воды ТЭЦ

На энергоэффективность теплофикационной турбоустановки влияет температурный напор (недогрев) сетевых подогревателей. В составе комплекса нормативных характеристик энергоблока имеется номограмма для оценки величины температурного напора. При выполнении РГР рекомендуется использовать аппроксимирующую математическую модель этой характеристики. В тепловой схеме турбоустановки Т-250-23,5 температурный напор сетевого подогревателя ПСГ-5000-3,5-8-I для расходов сетевой воды 5000 м³/ч (летний режим) описывается уравнением, °С

$$\Delta t_{псг} = (a + b\Delta t_{св} + c\ln(t_{ср}) + d(\ln(t_{ср}))^2 + e(\ln(t_{ср}))^3) / (1 + f\Delta t_{св} + g\Delta t_{св}^2 + h\Delta t_{св}^3 + i\ln(t_{ср})).$$

где $\Delta t_{св}$ — нагрев сетевой воды в подогревателе, °С; $t_{ср}$ — средняя температура сетевой воды в подогревателе, °С.

При расходе сетевой воды 8000 м³/ч (зимний режим) рекомендуется следующее уравнение

$$\Delta t_{псг} = (a + b\Delta t_{св} + c\Delta t_{св}^2 + d\ln(t_{ср}) + e(\ln(t_{ср}))^2 + f(\ln(t_{ср}))^3) / (1 + g\Delta t_{св} + h\Delta t_{св}^2 + i\Delta t_{св}^3 + j\ln(t_{ср})).$$

Коэффициенты моделей нормативного температурного напора ПСГ-5000-3,5-8-I приведены в табл. 1.

Таблица 1

Коеф-фициент	Расход сетевой воды, м ³ /ч	
	5000	8000
<i>a</i>	8,7846995	49,719857
<i>b</i>	0,077232769	0,10018323
<i>c</i>	- 6,0674472	- 0,00088015155
<i>d</i>	1,5314474	- 35,46266
<i>e</i>	- 0,13048913	8,6242818
<i>f</i>	- 0,041955048	- 0,70195763
<i>g</i>	0,00093729796	- 0,041136197
<i>h</i>	- 7,3189165 · 10 ⁻⁶	0,00084326976
<i>i</i>	0,064804802	- 6,6191665 · 10 ⁻⁶
<i>j</i>	-	0,020486054

по тарифам (ценам) на предстоящий год применяется метод ОРГРЭС (РД 34.08.552–95).

Удельный расход топлива, относимый на отпускаемую тепловую энергию, определяется по формуле, кг/Гкал:

$$b_T^{T3} = 1163(3600B_{T3}^{T3} + (N_{н.псг} + N_{сн1} + N_{сн2} + N_{н.подп} + N_{рец.пвк} + N_{тдм.пвк})b_T^{33}) / (Q_{псг} + Q_{пвк}),$$

где B_{T3}^{T3} — суммарный расход топлива энергетическим котлом и ПВК (в единицах условного топлива), относимый на отпускаемую тепловую энергию, кг/с; $N_{н.псг}$ — мощность электроприводов сливных насосов сетевых подогревателей, кВт; $N_{сн1}$ и $N_{сн2}$ — мощность электроприводов сетевых насосов первой и второй ступеней; $N_{н.подп}$ — мощность насосов подпиточной воды; $N_{рец.пвк}$ — мощность насоса рециркуляции ПВК; $N_{тдм.пвк}$ — мощность электроприводов тягодутьевых машин ПВК (оценивается по ТЭХ котла: $N_{тдм.пвк} \approx 0,00215Q_{пвк}$), кВт; $Q_{псг}$ и $Q_{пвк}$ — тепловая мощность сетевых подогревателей турбины и ПВК, кВт; b_T^{33} — удельный расход топлива на отпускаемую электроэнергию, кг/(кВт·ч).

Полученные в РГР показатели сравниваются, например, с показателями паросилового оборудования ТЭЦ ПАО «Мосэнерго» за 2017 г. (166,5 кг/Гкал).

Расчет индикаторов энергетической эффективности в учебной работе выполняется по мощностным показателям, а не по интегральным (месячным) как принято в нормативно-технической документации ТЭЦ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Широкое использование в учебной работе реальной технической документации мобилизует специалистов с бакалаврским дипломом на дальнейшее образование по магистерской программе. Система дистанционного образования НИУ МЭИ создала комфортные условия для повышения квалификации без отрыва от основной трудовой деятельности.

В НИУ МЭИ созданы электронные образовательные ресурсы, обеспечивающие качественное заочное образование. Освоение учебного курса «Методы расчета тепловых схем турбоустановок и энергоблоков для планирования эксплуатационных режимов», с самостоятельным выполнением РГР, наряду с формированием профессиональных умений, способствует интеллектуальному развитию студента. Поэтому в рассматриваемом учебном курсе реализуется когнитивный аспект развития личности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Методы расчета тепловых схем ТЭС: методические указания / Е.В. Дорохов. М.: Издательство МЭИ, 2017.
- [2] Симоу Л.Л., Индурский М.С., Эфрос Е.И. Расчет переменных режимов ЧНД теплофикационных паровых турбин / Теплоэнергетика, 2000, № 2. С. 16–20.

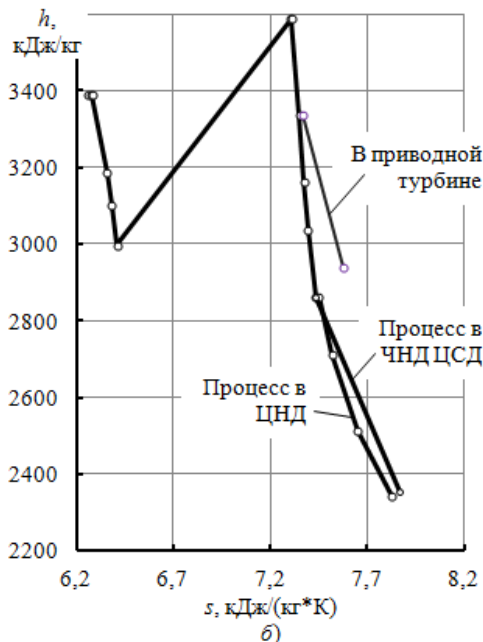
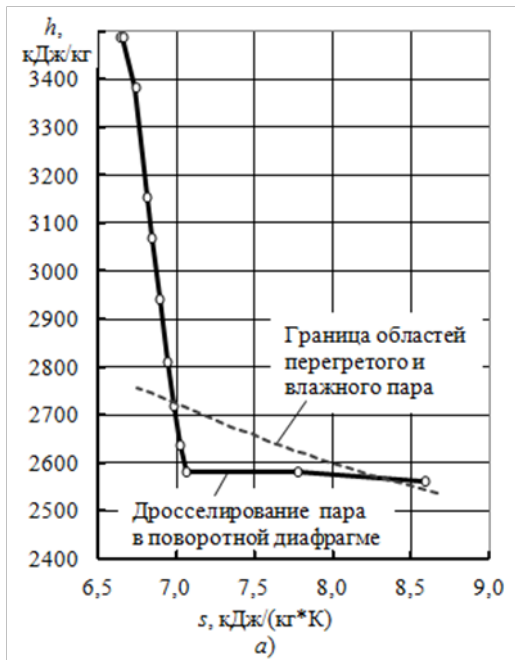


Рис. 4. Процессы расширения пара в турбинах Т-110-12,8 (а) и К-300-23,5 (б)

Преподавание базовых дисциплин с использованием дистанционных технологий

Жохова М.П.

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский университет "МЭИ"

Москва, Российская Федерация

ZhokhovaMP@mail.ru

Аннотация. Доклад посвящен преподаванию базовых дисциплин Теоретические основы электротехники (ТОЭ) и Электротехника в системе дистанционного обучения "Прометей" ИДДО «НИУ «МЭИ». Разработанная и реализованная автором методика преподавания - результат многолетнего опыта обучения студентов направления подготовки Электроэнергетика и электротехника в Институте электротехники (ИЭТ) и Институте электроэнергетики (ИЭЭ) и применение этого опыта к системе дистанционного обучения. Описан способ организации дистанционного образовательного процесса, структура и состав электронных образовательных ресурсов, приведен пример реализации контрольных мероприятий, промежуточных и итоговых аттестаций. Сделаны выводы и рекомендации для преподавателей (тьюторов), использующих дистанционные технологии.

Ключевые слова: современное инженерное образование, дистанционные образовательные технологии, электронный образовательный ресурс

I. ВВЕДЕНИЕ

Дисциплины Теоретические основы электротехники и Электротехника занимают особое место в системе электротехнического образования. Основные понятия, терминология, моделирование и основные методы расчета электрических и магнитных цепей с сосредоточенными и распределенными параметрами рассматриваются в курсах ТОЭ и Электротехника. Полученные знания используются в дальнейшем во всех общепрофессиональных и специальных дисциплинах. Основой для изучения ТОЭ и Электротехники являются базовые разделы физики и математики, так как без знания физики и математики невозможно построить расчетную модель не только электроэнергетической или информационной системы в целом, но и отдельных ее элементов, а также провести расчет их характеристик. Усвоение теоретических положений необходимо для понимания сложных электромагнитных процессов, а также умения применять теорию для расчетов при решении практических задач. Современный подход к организации инженерного образования основан на более глубоком усвоении базовых дисциплин, определяющих понимание принципов функционирования отдельных элементов электроэнергетических систем и всей системы в целом, в сочетании с компьютерными технологиями, позволяющими проводить обработку числовой, графической и текстовой информации [1]. Постановка

задачи, создание математической модели исследуемого объекта, определение исходных данных, допусков и ограничений - это область знаний базовых дисциплин, поэтому столь важная роль отведена им в системе подготовки инженера. Так, для изучения дисциплины ТОЭ студентами-бакалаврами при очной форме обучения (ИЭЭ, ИЭТ) отводится три семестра, число аудиторных часов (в присутствии преподавателя) и часов самостоятельной работы студентов по учебному плану примерно равнозначны. Дистанционная форма обучения должна полностью соответствовать задачам качественной и эффективной подготовки современного инженера. Но роль преподавателя при очной и очно-заочной формах обучения и роль тьютора при дистанционной форме обучения, сама организация учебного процесса существенно отличаются. Наиболее трудоемким и важнейшим компонентом дистанционного обучения является электронный образовательный ресурс базовой дисциплины, но не менее важным компонентом является наличие интерактивной связи тьютора и обучаемого. Существуют различные методики дистанционного обучения, в докладе представлена методика обучения дисциплине ТОЭ направления подготовки Электроэнергетика и электротехника (13.03.02) и дисциплине Электротехника направления подготовки Управление в технических системах (27.03.04), успешно реализованная при подготовке слушателей ИДДО «НИУ «МЭИ».

II. ТЬЮТОР И СЛУШАТЕЛИ

Прежде всего, определимся с основными действующими лицами системы дистанционного образования. Это "тьютор" и "слушатель", а не преподаватель и студент традиционной формы обучения. Слушатели - это пользователи, которые изучают определенный курс, тестируются либо проходят аттестацию. Тьютор консультирует слушателей, контролирует выполнение контрольных мероприятий и успеваемость, выполнение тестовых и дополнительных заданий, выдает допуски для выполнения тестовых заданий; а также выставляет оценки [Общее описание СДО "Прометей". Руководство тьютора]. Первая задача тьютора - разработка календарного плана дисциплины, в котором определена структура курса, количество проводимых мероприятий и дней, необходимых для проведения этих мероприятий. Администратором системы

"Прометей" в соответствии с календарным планом дисциплины формируется календарный план каждого слушателя и ведомость группы слушателей. В

календарном плане выделяются контрольные мероприятия и отмечается их успешное выполнение (рис. 1).

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН							
Мои группы/ИД-0201-16-Жохова(Э 1/1)/Группа. Слушатели/Горбунов Иван Александрович(ИД-0201-16)/Календарные планы/Электротехника 02 (ИДДО 2018)/Календарный план							
Полужирным отмечены оцениваемые события							
Мероприятие	Тип	Даты	Успешно	Оценка	Завершено	Тест	Свойств.
Ознакомительное занятие	обмен файлами	06.02.2018-06.02.2018	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
Тема "История электротехники". Лекция-презентация	лекция	06.02.2018-07.02.2018	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
Лекция №1. Тема "Физические основы электротехники"	лекция	07.02.2018-09.02.2018	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
Лекция №2. Тема "Основные понятия электрических и магнитных цепей"	лекция	09.02.2018-11.02.2018	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
КВ №1 "Начальные сведения об электромагнитном поле"	обмен файлами	11.02.2018-12.02.2018	<input checked="" type="checkbox"/>	+	<input checked="" type="checkbox"/>		
КВ №2 "Основные понятия теории электрических и магнитных цепей"	обмен файлами	12.02.2018-13.02.2018	<input checked="" type="checkbox"/>	+	<input checked="" type="checkbox"/>		
Лекция №3. Тема "Линейные цепи постоянного тока"	лекция	13.02.2018-15.02.2018	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
Семинар №1. Тема "Линейные цепи постоянного тока"	семинар	15.02.2018-16.02.2018	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
Тест №1 "Линейные цепи постоянного тока. Закон Ома и законы Кирхгофа. Простейшие преобразования"	тест	16.02.2018-17.02.2018	<input checked="" type="checkbox"/>	4	<input checked="" type="checkbox"/>		
Лекция №4. Тема "Линейные цепи постоянного тока"	лекция	17.02.2018-18.02.2018	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
Семинар №2. Тема "Линейные цепи постоянного тока"	семинар	18.02.2018-19.02.2018	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
КВ №3 "Линейные цепи постоянного тока"	обмен файлами	19.02.2018-20.02.2018	<input checked="" type="checkbox"/>	+	<input checked="" type="checkbox"/>		
Лекция №5. Тема "Линейные цепи постоянного тока"	лекция	20.02.2018-22.02.2018	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
Семинар №3. Тема "Линейные цепи постоянного тока"	семинар	22.02.2018-23.02.2018	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
Тест №2 "Линейные цепи постоянного тока. Метод эквивалентного генератора"	тест	23.02.2018-24.02.2018	<input checked="" type="checkbox"/>	5	<input checked="" type="checkbox"/>		
Лекция №6. Тема "Линейные цепи синусоидального тока"	лекция	24.02.2018-26.02.2018	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
Семинар №4. Тема "Линейные цепи синусоидального тока"	семинар	26.02.2018-27.02.2018	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
Лекция №7. Тема "Линейные цепи синусоидального тока"	лекция	27.02.2018-01.03.2018	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
Семинар №5. Тема "Линейные цепи синусоидального тока"	семинар	01.03.2018-02.03.2018	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
Тест №3 "Синусоидальные токи и напряжения. Комплексный метод"	тест	02.03.2018-03.03.2018	<input checked="" type="checkbox"/>	3	<input checked="" type="checkbox"/>		

Рис. 1. Календарный план слушателя

Таким образом, тьютор предоставляет план изучения учебного курса и учебный материал пользователю - слушателю, в течение семестра контролирует выполнение мероприятий календарного плана и оценивает усвоение учебного материала. Если слушатель уже имеет среднеспециальное или высшее образование и обладает знаниями изучаемых дисциплин, тогда роль тьютора ограничивается аттестацией знаний слушателя. Тем не менее, установление интерактивной связи тьютор - слушатель является важнейшей составляющей системы дистанционного обучения. Личностная роль тьютора очень важна для организации успешного процесса обучения, слушатель должен понимать, что он всегда может обратиться за консультацией и своевременно получить ее. Перед началом обучения тьютор должен ознакомить слушателя с тем, как будет организован курс, как будут проводиться контрольные мероприятия, промежуточная и итоговая аттестация. Ниже приводится выписка из "Методических указаний к дистанционному обучению дисциплины ТОЭ":

"... изучение дисциплины предполагает следующие виды работ:

1. Изучение теоретических положений, подготовка письменных ответов на контрольные вопросы по изучаемой теме. Подготовка письменных ответов оценивается дополнительными баллами, письменными ответами можно воспользоваться на экзамене в качестве справочного материала.
2. Приобретение навыков практического решения задач. Решение типовых задач (по выбору). При возникновении затруднений - обмен файлами с преподавателем, разбор ошибок. Выполнение Расчетного задания (обязательные задачи по вариантам).
3. Тестирование как итоговая аттестация уровня усвоения изучаемой темы. В случае возникновении затруднений при выполнении тестовых заданий - обмен файлами с преподавателем, разбор ошибок. В методических материалах содержатся примеры решения тестовых заданий. Оценка (по пятибалльной системе) определяет уровень усвоения, как теоретических положений, так и

навыков практического расчета. Повторные допуски выдаются по мере необходимости.

- При выполнении всех требований и положительной аттестации промежуточного контроля (ответы на контрольные вопросы, тестирование, выполнение Расчетного задания) экзамен по дисциплине сдается "автоматом".

Разработка методических указаний для выполнения Расчетных заданий, методических указаний для выполнения Курсовых работ способствует успешному и своевременному проведению этих мероприятий. Рекомендуется в начале учебного семестра сделать "рассылку" методических указаний слушателям, это способствует установлению первого "личного" контакта тьютор - слушатель, многие слушатели благодарят за полученные разъяснения.

III. БИБЛИОТЕКА УЧЕБНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Дистанционная форма обучения предполагает самостоятельное изучение теоретических положений курса в соответствии с календарным планом и самостоятельное приобретение навыков практического расчета. В системе дистанционного обучения "Прометей" электронные учебные и методические материалы хранятся в библиотеке. Основной теоретический материал содержится в лекциях и лекциях-презентациях.

Библиотека дисциплины ТОЭ, рассчитанная на три семестра обучения, содержит 22 лекции и лекции - презентации, 18 практических занятий раздела "Теория цепей" и 12 лекций, 10 практических занятий раздела "Теория электромагнитного поля". В материалах практических занятий (семинарах) приведены примеры решения задач по изучаемой теме и задачи для

самостоятельного решения, выполнение которых закрепляет навык практических расчетов. Библиотека дисциплины Электротехника, рассчитанная на один семестр обучения, 18 лекций и 12 практических занятий. В библиотеке содержатся методические материалы, контрольные вопросы по темам и задачи для самостоятельного решения.

IV. СИСТЕМА ТЕСТИРОВАНИЯ

Тесты, доступные в подсистеме, создаются тьюторами при помощи дизайнера тестов. Это наиболее трудоемкая и сложная работа тьютора. Для тестирования по ТОЭ автором были разработаны тесты по 15 темам курса, тест по теме включает 5 секций, в каждой секции 10 вариантов тестовых заданий (вопросов). Тестирование организовано так, что первый вопрос может быть из любой секции, выбор вопросов из секции произвольный.

Специфика дисциплин ТОЭ и Электротехника определяет тестовые задания как расчет простых схем с заданным набором численных ответов и предложением выбрать правильный (рис. 2). Итоговый промежуточный тест состоит из 20 вопросов, составленных из простых расчетных заданий и вопросов по теории. Для аттестации и переаттестации слушателей разработаны специальные тесты. Тьютор определяет минимальный процент, при котором тест считается сданным успешно, как правило 60% (50% для более сложных тем). Есть слушатели, которым достаточно одной - двух попыток (допусков) для успешного прохождения теста, но есть слушатели, которым не хватает и пяти-шести дополнительных допусков. Не думаю, что число допусков надо ограничивать, главное - достигнуть результата.

Вопрос 2 (баллов: 0 из 1)
 Вопрос: Определить активную и реактивную мощность па $i(t) = 5 \sin \omega t$ А. (Вес: 1)
 Diagram: A circuit with a current source $i(t)$ and a load Π .
 Options: $P = 433$ Вт, $Q = 250$ Вар; $P = 125$ Вт, $Q = -250$ Вар; $P = 250$ Вт, $Q = 0$; $P = 216,5$ Вт, $Q = -125$ Вар; $P = 216,5$ Вт, $Q = 125$ Вар.

Вопрос 1 (баллов: 1 из 1)
 Вопрос: Каким из рубильников необходимо осуществ...
 Diagram: A circuit with a voltage source, resistors, capacitors, and switches K1, K2.
 Options: Любым рубильником; Рубильником К1; Рубильником К2; Замыкание любого ру; Не знаю.

Вопрос 2 (баллов: 1 из 1)
 Вопрос: Средняя длина магнитопровода $l_{ср} = 138$ см, рисунке. Пренебрегая рассеянием, определить МДС.
 Diagram: A magnetic core with a coil of N turns and a gap of l_g .
 Graph: $T_{\Delta} B$ vs H .
 Options: $F = 300$ А; $F = 800$ А; $F = 760$ А; $F = 1480$ А; Другой ответ.

Вопрос 3 (баллов: 1 из 1)
 Вопрос: Определить индуктивность неидеальной катушки
 Diagram: A circuit with a voltage source, a wattmeter, a resistor R , and an inductor L .
 Options: 123,3 Гн; 388 Гн.

Вопрос 2 (баллов: 0 из 1)
 Вопрос: (Вес: 1)
 Определить значения $\frac{di_L}{dt}$, $\frac{di_C}{dt}$.
 Diagram: A circuit with a 4A current source, resistors (30 Ом, 24 Ом), an inductor (0,8 Гн), and a capacitor (2 мкФ).
 Options: (None shown).

Вопрос 3 (баллов: 1 из 1)
 Вопрос: Вольтамперная характеристика нелинейного
 Table:

$U, В$	0	3	5	7	9	10,2
$I, А$	0	0,45	1	2	3,5	5

 Diagram: A circuit with a 12 В source, a 6 Ом resistor, and a nonlinear element U_{12} in series with a 6 Ом resistor and a diode HE .
 Graph: $I, А$ vs $U, В$.

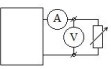
Рис. 2. Примеры тестовых заданий

Для тьютора система предоставляет полный отчет о тестировании: общая статистика, статистика по каждой секции теста, в том числе ответ слушателя. Довольно часто слушатели обращаются с просьбой просмотреть отчет и указать на сделанные ошибки. Это является важнейшим моментом обучения, определяющим степень общения тьютора и слушателя. На рис. 3 представлен пример разбора ошибок, сделанных при выполнении тестового задания.

Ошибки Хоменков С. Тест 2

Вопрос: К активному двухполюснику подключен магазин сопротивлений (пассивный двухполюсник, сопротивление которого может меняться). При двух разных значениях этого сопротивления измерены значения тока. Определить параметры генератора (R_g, E_g) эквивалентного двухполюсника. (Вес: 1)

I, A	$R, Ом$
5	2
2	20



Решение: Представим активный двухполюсник как эквивалентный генератор с параметрами R_g, E_g .

Составим уравнение по второму закону Кирхгофа:
 $E_g = IR_g + U$. По условию задачи известно значение тока при двух разных значениях сопротивления нагрузки, следовательно, известно напряжение на резисторе для первого режима $U = IR = 10$, для второго режима $U = IR = 40$. Имеем уравнения:

$$\begin{cases} E_g = 5R_g + 10 & (1) \\ E_g = 2R_g + 40 & (2) \end{cases}$$

Решаем уравнения: (1)-(2) $0 = 3R_g - 30, R_g = 10$ Ом, подставим в (1)
 $E_g = 10 \cdot 5 + 10 = 60$ В.

Ваш ответ: 6 Ом, 60 В

Вопрос: Дано: $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = 2$ Ом, $R_3 = 3$ Ом, $E_1 = 40$ В, $J = 5$ А. Определить сопротивление генератора, эквивалентного заданному активному двухполюснику. (Вес: 1)

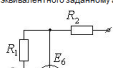


Рис. 3. Пример разбора ошибок, сделанных при выполнении тестовых заданий

Разработанный комплекс тестовых заданий показал свою результативность и эффективность в оценке усвоения изучаемой темы, большинство слушателей после нескольких попыток успешно справились с тестовыми заданиями. Очень востребованными оказались примеры решения тестовых заданий с подробным разбором типовых задач. Считаю полезным создание тестов для самопроверки, слушатели часто обращаются с просьбами обеспечения возможности самоконтроля.

V. ОТВЕТЫ НА КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И РАСЧЕТНЫЕ ЗАДАНИЯ

Для контроля усвоения теоретического материала студент должен подготовить ответы на контрольные вопросы в письменном виде, руководствуясь теоретическими материалами лекций и дополнительными материалами из списка литературы (рис. 4). Наличие такой формы контроля необходимо при изучении базовой дисциплины в дистанционной форме обучения. Блок контрольных вопросов по каждой изучаемой теме содержит 15-20 вопросов, но студент может выбрать 5-7 вопросов для ответа, предоставляемого в печатной или рукописной форме, при этом слушатели часто предоставляют ответы на все вопросы. Тьютор обязательно должен прочитать ответы слушателя и при необходимости их скорректировать, указать ошибки в

формулировках или используемой терминологии. Большинство слушателей внимательно и с благодарностью воспринимают все замечания. Конечно, есть случаи простого "копирования ответов из Интернета", но даже эта работа, проделанная слушателем, не является бесполезной, особенно если указать на неточности использования источников цитирования.

Слушатель Мошкин К.О. (ИД-0301-16)

Контрольные вопросы по теме "Переходные процессы в нелинейных цепях"

1. Изложите понятие устойчивости установившихся режимов в нелинейных цепях.
2. В чем особенности переходных процессов в нелинейных цепях?
3. Изложите принципы изображения переходных процессов в фазовой плоскости.
4. В чем отличие линейной и аналитической аппроксимации при расчете переходных процессов в нелинейных цепях?
5. Как движется изображающая точка по кривой на фазовой плоскости?
6. Зависит ли движение изображающей точки по кривой на фазовой плоскости от начальных условий?
7. Для чего используют фазовую плоскость? Что понимают под фазовым портретом?

Ответы

1. Устойчивый режим работы в нелинейных цепях – такой режим работы, при котором система, получив достаточно большое начальное отклонение, возвращается в исходное состояние после прекращения действия возмущения.
2. Переходные процессы в нелинейных электрических цепях описываются нелинейными дифференциальными уравнениями, общих методов интегрирования которых не существует. На нелинейные цепи не распространяется принцип суперпозиции, поэтому основанные на нем методы, в частности классический или с использованием интеграла Дюамеля, для расчета данных цепей не применимы. Анализ переходных режимов в электрических цепях требует использования динамических характеристик нелинейных элементов, которые, в свою очередь, зависят от происходящих в них динамических процессов и, следовательно, в общем случае наперед неизвестны. Указанное изначально обуславливает в той или иной степени приближенный характер расчета переходных процессов. Переходный процесс в нелинейной цепи может характеризоваться переменной скоростью его протекания в различные интервалы времени. Поэтому понятие постоянной

Рис. 4. Ответы на контрольные вопросы

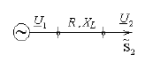
Расчетные задания представляют типовые задачи с выбором исходных данных по варианту. Для слушателей направления подготовки Электроэнергетика и электротехника в течение трех семестров выполняется 7 Расчетных заданий, включая специализированные задания по компенсации реактивной мощности, расчету поля двухпроводной линии над землей и поля коаксиального кабеля (рис. 5).

№2 Расчет однофазной цепи синусоидального тока. Компенсация реактивной мощности

Задание

Для линии электропередачи с заданными параметрами R, X_L определить ток на входе линии I_1 , напряжение на входе U_1 . Определить «падение напряжения», «потерю напряжения», «потерю мощности» при заданных $U_2, P_2, \cos \phi_2$.

Подобрать емкость конденсатора, чтобы после компенсации $\cos \phi_1 = 0,86$. Определить «падение напряжения», «потерю напряжения», «потерю мощности» после компенсации. Составить сравнительную таблицу.



Выбор числовых данных

$P_2 = 30 + 2n^2$ кВт, $\cos \phi_2 = 0,4 + 0,01n$.

Для $n = 1-10$ $U_2 = 380$ В, $R = 0,3 - 0,01n$ Ом, $X_L = 0,2 + 0,01n$ Ом;
 для $n = 11-25$ $U_2 = 10$ кВ, $R = 10 - 0,1n$ Ом, $X_L = 10 + 0,1n$ Ом.

Методические указания: См. Лекция №6 (Пример 20, Пример 21, Пример 22, Пример 23).

Рис. 5. Пример специализированного Расчетного задания.

В конце Расчетного задания необходимо дать ссылку на материал лекции и практического занятия по теме решаемой задачи. Расчетное задание по Электротехнике состоит из двух частей, включающих теоретическую справку и практическое задание. Работа оформляется на листах формата А4 в печатном или рукописном виде. Электронная версия должна иметь формат doc или pdf, для рукописной формы - скриншоты в формате png. Для проведения расчетов могут быть использованы любые математические программы. После проверки Расчетного задания ведомости ставится отметка о выполнении контрольного мероприятия или работа возвращается слушателю для исправления и доработки.

VI. ПРОМЕЖУТОЧНАЯ И ИТОГОВАЯ АТТЕСТАЦИЯ

Одна из основных задач тьютора - оценка уровня усвоения изучаемого материала. Промежуточная аттестация необходима для оценки выполнения текущих контрольных мероприятий (тестовых заданий, ответов на

контрольные вопросы, расчетных заданий). Выполнение тестовых заданий оценивается по пятибалльной системе, результирующая оценка выставляется по максимально набранному слушателем баллу. Остальные контрольные мероприятия (ответы на контрольные вопросы, выполнение Расчетных заданий) аттестуются как выполненные "+", выполненные частично "+-" или невыполненные "-". Тьютор заносит результаты аттестации в ведомость группы, информация дублируется системой в календарном плане слушателя (рис. 1). В итоговой аттестации учитываются результаты промежуточных аттестаций и активность слушателя во время учебного семестра. Очень полезна практика рассылки слушателям результатов итоговой аттестации с предложением о возможности улучшить результаты. Как показывает практика, многие слушатели готовы к дополнительной работе для улучшения итоговой оценки. На рис. 6 приведен пример ведомости слушателя с промежуточной и итоговой аттестацией.

Мероприятие	Контрольные вопросы №1 "Начальные сведения об электромагнитном поле"	Контрольные вопросы №2 "Основные понятия теории электрических и магнитных цепей"	Тест №1 "Линейные цепи постоянного тока. Закон Ома и законы Кирхгофа. Простейшие преобразования"	Контрольные вопросы №3 "Линейные цепи постоянного тока"	Тест №2 "Линейные цепи постоянного тока. Метод эквивалентного генератора"	Тест №3 "Синусоидальные токи и напряжения. Комплексный метод"	Контрольные вопросы №4 "Линейные цепи синусоидального тока"			
Невсетаев Сергей Андреевич (ИДз-02330-16)	+ 16.03.2018	+ 16.03.2018	3 16.11.2017	+ 16.03.2018	3 16.11.2017	5 16.11.2017	+ 16.03.2018			
Тест №5 "Трёхфазные цепи"	Тест №6 "Несинусоидальные токи и напряжения"	Тест №7 "Расчет однофазных линейных цепей в установившемся режиме"	Тема Курсовая работа (часть 1)	Тест №8 "Четырёхполюсники"	Тест №9 "Нелинейные цепи"	Тест №10 "Переходные процессы в линейных цепях"	Контрольные вопросы №6 "Переходные процессы в нелинейных цепях"	Курсовая работа (часть 2)	Курсовая работа (защита)	Экзамен
4 26.11.2017	3 16.11.2017	5 26.11.2017	+ 23.12.2017	4 26.11.2017	5 03.12.2017	4 03.12.2017	+ 16.03.2018	+ 23.12.2017	5 23.12.2017	4 23.12.2017

Рис. 6. Ведомость с промежуточной и итоговой аттестацией

VII. ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Инженерная подготовка предполагает также исследование различных электромагнитных процессов в физической лаборатории. При дистанционной форме обучения проведение эксперимента в физической лаборатории заменяется виртуальными экспериментами. Описание виртуальной лабораторной работы, методические указания к её проведению должны быть полными и подробными, так как дистанционная форма обучения предполагает самостоятельное проведение слушателем учебного процесса. Для разработки виртуальных инструментов электротехнической лаборатории была выбрана среда графического программирования LabVIEW (Laboratory Virtual

Instrument Engineering Workbench) представляющей собой инструментальные средства и язык графического программирования, а также все инструменты, необходимые для сбора данных, их анализа и представления [2]. В LabVIEW имеются разнообразные и достаточно гибкие средства графического представления данных. Для слушателей ИДДО проведение виртуального эксперимента максимально ориентировано на повторение физического эксперимента, для его проведения также необходима теоретическая подготовка и выполнение рабочего задания. Виртуальный стенд практически моделирует проведение физического эксперимента (возможность изменения параметров элементов, изменения топологии электрической цепи, работа с виртуальными приборами), при этом работа может быть

выполнена в удобное для слушателя время. Красочные динамические VI-программы позволяют "прочувствовать" физику процессов и более осознанно воспринять изучаемый материал. Особенно интересны иллюстрации процессов в линиях с потерями, формирования режима бегущих и стоячих волн. На рис. 7 представлен скриншот лицевой панели VI-стенда для исследования установившихся процессов в линиях без потерь с активной нагрузкой.

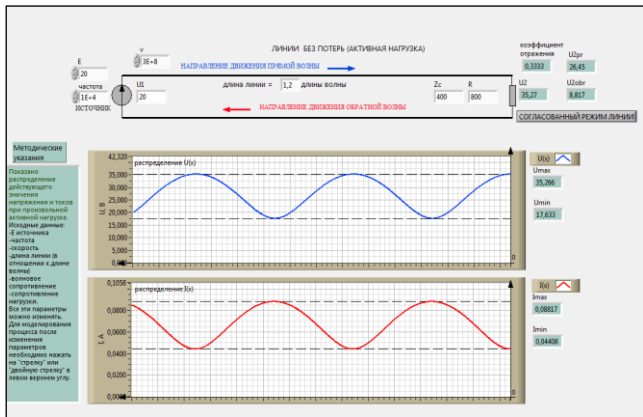


Рис. 7. Лицевая панель VI-стенда

На рис. 8 приведен бланк отчета виртуальной лабораторной работы, выполненный слушателем ИДДО группы ИД-03130-16.

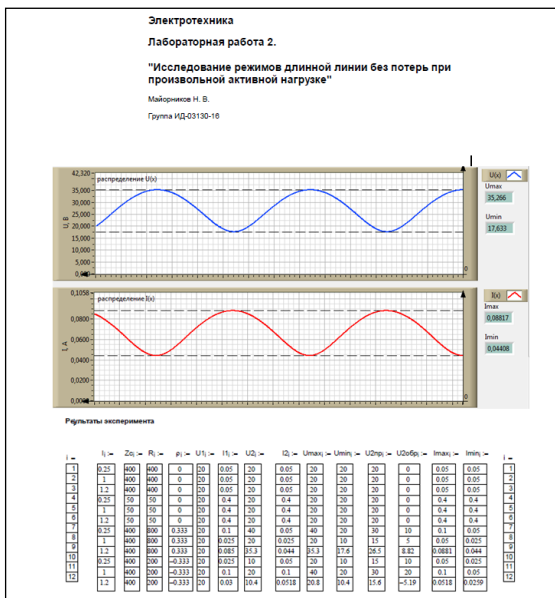


Рис. 8. Бланк отчета виртуальной лабораторной работы

Надо отметить, что предложенный вариант организации виртуальной лаборатории функционирует в ограниченном объеме. Создание современной и полноценной виртуальной лаборатории требует участия специалистов - разработчиков имитационного компьютерного моделирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современное инженерное образование - комплекс образовательных технологий, сочетающих многолетний опыт "традиционного" образования и возможности информационного обеспечения учебного процесса. Даже у студентов очной формы обучения дисциплины ТОЭ и Электротехника относятся к наиболее сложным, освоение теоретических положений и приобретение навыков расчета дается с большим трудом; приобретаемые знания кажутся далекими от практической реализации, не связанными напрямую с их будущей работой. У слушателей дистанционной формы обучения отношение к этим дисциплинам может быть другим, так как многие работают по специальности и сталкиваются с практическими задачами, эффективное решение которых основано на знании теоретических положений ТОЭ и Электротехники. Слушатели часто более мотивированы в получении конкретных знаний и достаточно активны; некоторые уже имеют непрофильное высшее образование, соответственно опыт обучения и применения полученных знаний. И в системе дистанционного обучения работа со слушателем включает элементы индивидуального подхода к обучаемому; кто-то более активен и постоянно участвует в интерактивном общении с тьютором, кого-то надо "подталкивать". Многие обращаются с просьбами изменить сроки выполнения календарного плана в связи с командировкой, загруженностью на работе. И очень благодарны за понимание и внимание тьютора.

Объективная информация об успеваемости слушателей ИДДО «НИУ «МЭИ» позволяет сделать вывод об эффективной организации учебного процесса. Более половины слушателей успешно выполнили весь календарный план и аттестованы по дисциплинам ТОЭ и Электротехника с оценкой "отлично" и "хорошо".

БЛАГОДАРНОСТИ

Процесс обучения слушателей в системе ДО "Прометей" - результат совместной работы тьюторов и сотрудников ИДДО «НИУ «МЭИ», обеспечивающих работу программного комплекса. Особую благодарность в организации обучения дисциплинам ТОЭ и Электротехника выражаю администраторам Скворцовой Татьяне Михайловне и Козлову Александру Васильевичу и всем сотрудникам отдела ресурсного обеспечения учебного процесса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Информатизация образования: направления, средства, технологии: Пособие для системы повышения квалификации / Под общ. ред. С.И. Маслова. М.: Издательство МЭИ, 2004. - 868 с.
- [2] М.П. Жохова, В.В. Краюшкин, Г.И. Лесников. Виртуализация учебной электротехнической лаборатории// Труды международной научно-методической конференции ИНФОРИНО 2012, 10-11 апреля 2012 г, Москва, Издательский дом МЭИ, С. 291-293

Компьютерное самотестирование студентов как элемент дистанционных образовательных технологий, повышающих интерес к изучению курса общей физики

Д.А. Иванов, И.В. Иванова

кафедра ОФиЯС

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Москва, Россия

ivanovda@mpei.ru

Аннотация — На кафедре Общей физики и ядерного синтеза НИУ «МЭИ» разработан комплект электронных тестов (всего – более 1000 вопросов) для текущего контроля знаний студентов по разделу «Электричество и магнетизм» курса общей физики с использованием системы дистанционного обучения «Прометей» четвертого поколения в Интернет. В рамках данного раздела предлагаемые тестовые задания разбиты на секции, соответствующие темам раздела. Эти задания включают в себя качественные вопросы, расчетные задачи, задания с выбором ответов (один из многих, многие из многих), задания с выбором области на рисунке, задания с развернутым ответом. Многообразие заданий позволяет преподавателю не только объективно оценить усвоенные студентом знания, но и развить его навыки решения задач, научить свободно владеть теоретическим материалом. Результаты тестирования, проводимого уже несколько лет, показывают высокую заинтересованность студентов в неоднократном самостоятельном выполнении заданий и хорошо коррелируют с результатами промежуточной аттестации (экзамен).

Ключевые слова — дистанционные образовательные технологии, система дистанционного обучения, компьютерное тестирование, самопроверка

I. ВВЕДЕНИЕ

Дистанционное обучение является важным направлением развития современного образования, позволяющим обеспечить учащимся широкий доступ к освоению профессиональных компетенций, получению необходимого набора знаний, умений и навыков. Дистанционное обучение уверенно заняло определенную нишу в образовательной сфере. Вместе с тем, использование Интернет-технологий в сочетании с методикой дистанционного обучения позволяет практически перейти к такой форме образовательного процесса, при которой учитываются индивидуальные

способности каждого студента, что способствует наиболее эффективному усвоению курса.

В современных условиях образование должно рассматриваться не только и не столько как овладение необходимым объемом учебной информацией, а как развитие у учащихся в процессе обучения потребностей и способностей к самостоятельному получению новых общих и профессиональных знаний и умений при использовании многообразных источников информации [1]. Кафедра Общей физики и ядерного синтеза Национального исследовательского университета «МЭИ» ведет преподавание курса Общей физики около 40 лет. За это время на кафедре сложилась устойчивая научно-методическая система преподавания дисциплины и накоплен большой опыт организации лекционных, практических и лабораторных занятий. Для методического сопровождения учебного процесса на кафедре разработан и успешно используется учебно-методический комплекс по курсу Общей физики для студентов, обучающихся по образовательным программам в области энергетики [2]. Основу комплекса составляют три учебных пособия, посвященные изучению теоретических основ дисциплины, выполнению лабораторного практикума и получению практических навыков по решению задач.

Помимо этого, в учебный комплекс входят расчетные задания, контрольные работы, варианты типового контроля по всем разделам курса, билеты к защита лабораторных работ, тестовые задания.

Интернет-технологии активно внедряются в учебный процесс на кафедре уже более 15 лет. Успешные результаты их применения с целью повышения эффективности образовательного процесса уже излагались авторами ранее (например, [3]). В настоящее время коллектив кафедры продолжает развивать и совершенствовать комплекс. Ведется активная работа по компьютерному моделированию лабораторных задач, подготовлены к изданию обновленные лабораторные

практикумы по всем разделам. Подготовлен курс лекций в электронном виде, который позволяет проводить занятия со студентами в режиме удаленного доступа по технологии дистанционного обучения [4].

Особое внимание при разработке учебно-методического комплекса его авторы уделяют использованию дистанционных технологий для активизации самостоятельной работы учащихся. В условиях низкой мотивации самоконтроль студентов – необходимое условие сохранения и поддержания качества и результативности учебного процесса. Наряду с письменными контрольными работами, которые обязательно проводятся в течение семестра, для студентов были разработаны тестовые задания с готовыми вариантами ответов по базовым разделам курса. Подобные задания дают возможность обучающимся проявить эрудицию и знание программного материала. Это не только развивает интеллектуальные способности учащихся в определенном направлении, но и создает мотивацию процесса образования, формируя интерес учащихся к получению знаний как необходимое условие для достижения дальнейших успехов в их последующей профессиональной деятельности. Тестовый контроль, как известно, является одним из инструментов объективной проверки не только знаний учащихся, но и уровня преподавания физики в данном учебном заведении.

Для реализации такой задачи коллективом авторов разработан комплект электронных тестов (всего – более 1000 вопросов) для контроля знаний студентов по всем разделам курса Общей физики с использованием системы дистанционного обучения «Прометей» четвертого поколения. Предварительные результаты использования компьютерного тестирования были изложены в [5]. К настоящему времени авторами накоплен опыт трехлетнего использования компьютерного самотестирования студентов. На основе имеющихся результатов можно утверждать, что использование подобного инструмента в образовательном процессе не только существенно повышает уровень обученности учащихся, но и повышает интерес к изучению дисциплины.

II. ОРГАНИЗАЦИЯ ДИСТАНЦИОННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

В пределах каждого раздела курса общей физики тестовые задания разбиты на секции, соответствующие темам раздела, и включают в себя:

- качественные вопросы,
- расчетные задачи,
- задания с выбором ответов (один из многих, многие из многих),
- задания с указанием области на рисунке.

Особенно важное внимание при организации и планировании учебного процесса всегда уделяется рассмотрению и подробному анализу так называемых “качественных” задач и вопросов. Их решение, как правило, не требует использования обширного расчетного материала, запоминания формул и выполнения сложных рисунков, а предполагает прежде всего умение выделять суть явления из многокомпонентной задачи на основе строгого логического мышления. Поэтому обучение

методам и подходам к решению задач подобного рода способствует развитию абстрактного мышления и формированию целостного мировосприятия. Каждый из предложенных тестов состоял из 20 вопросов, из которых 7-9 вопросов относились именно к этой категории. Поиск ответов на качественные вопросы направлен на выделение главных, фундаментальных основ физических явлений и законов, описывающих эти явления, и способствует наилучшему закреплению изученного материала и сохранению определенного запаса базовых знаний.

Фундаментальные законы, лежащие в основе физической науки, являются общими для описания всех наблюдаемых в природе и технике физических явлений, что создает основу для выработки одинаковых подходов к изучению различных разделов дисциплины. Как показывает практика, большие трудности в правильном усвоении многих разделов курса Общей физики возникают у студентов не из-за сложности в понимании дисциплины “физика” как таковой, а из-за неспособности самостоятельно анализировать изучаемые явления, исходя из их комплексного рассмотрения.

Многообразие заданий позволяет преподавателю не только объективно оценить усвоенные студентом знания, но и развить его навыки решения задач, научить свободно владеть теоретическим материалом. Задания с выбором ответов составляли не более 20-30% от общего количества заданий в каждом тесте. При выполнении расчетных заданий (20% от общего числа вопросов) студент для поиска правильного ответа должен был составить и решить необходимую систему уравнений.

Система дистанционного обучения «Прометей» имеет в своем составе дизайнер тестов – специальный инструмент, позволяющий создавать и редактировать тесты для самопроверки и экзаменационные тесты. Каждый тест состоит из секций (тематических разделов). Каждая секция содержит несколько вопросов. «Прометей» позволяет преподавателю создать несколько типов контрольных вопросов. Каждый из вопросов имеет тип, формулировку и необязательное описание правильного ответа (пояснение, которое студент увидит в отчете о попытке самотестирования или при нажатии на кнопку «Ответ» в режиме тренинга). В системе дистанционного обучения «Прометей» возможна генерация вопросов нескольких типов.

Для формулирования качественных вопросов использовались вопросы типа «несколько пропущенных слов» (студенту предлагается заполнить пропуски), «упорядочение» (студенту предлагается упорядочить элементы последовательности).

Для включения расчетных заданий в тесты использовались вопросы типа «поле ввода» (студенту предлагается поле ввода, в котором следует набрать ответ), «несколько полей ввода» (студенту предлагается набрать несколько значений), «соответствие» (студенту предлагается установить соответствие между парами значений).

Для формирования заданий с выбором ответа применялись вопросы типа «один из многих» (студенту предлагается выбрать один вариант ответа из предложенных), «многие из многих» (студент может выбрать несколько вариантов ответа из предложенных), «да/нет» (студенту предлагается дать положительный или отрицательный ответ на вопрос).

Задания с указанием области на рисунке или графике использовали вопросы типа «область на рисунке» (при этом студент должен выбрать в качестве ответа область на предложенном рисунке).

Эксперимент по введению дистанционного самотестирования студентов проводился в течение 3 лет среди студентов Института тепловой и атомной энергетики НИУ «МЭИ». Для проведения тестирования был выбран второй семестр изучения курса общей физики (раздел «Электричество и магнетизм»). Весь учебный материал семестра был разбит на определенные темы, сгруппированные в 10 блоков. По каждому блоку тем студенту предлагался тест для самопроверки. Ниже приводится перечень тестов:

- Тест №1 «Напряженность и потенциал»;
- Тест №2 «Связь напряженности и потенциала»;
- Тест №3 «Теорема Гаусса»;
- Тест №4 «Диэлектрики»;
- Тест №5 «Проводники»;
- Тест №6 «Конденсаторы и энергия электростатического поля»;
- Тест №7 «Методы расчета магнитной индукции»;
- Тест №8 «Сила Ампера, сила Лоренца, работа силы Ампера»;
- Тест №9 «Электромагнитная индукция»;
- Тест №10 «Индуктивность, энергия, магнитное поле в веществе».

Каждое тестовое задание содержит 20 вопросов, которые случайным образом выбираются системой тестирования «Прометей» из базы вопросов. Большое количество разработанных вопросов различных типов позволяет существенно уменьшить вероятность повторения вопросов в заданиях для разных студентов. Время на выполнение каждого теста – 60 минут.

Допуск для прохождения теста выдает лектор потока, о чем на лекции (и на сайте лектора) делается соответствующее объявление. Каждый тест доступен для студента в двух режимах: «самопроверка» и «экзамен». Студент самостоятельно принимал решение о выполнении тестирования и мог заходить в систему «Прометей» как со стационарного компьютера (в том числе домашнего), так и с мобильного устройства.

Режим «самопроверка» позволяет студенту неограниченное число раз в течение определенного времени (несколько дней) получать очередное тестовое задание после решения предыдущего. Неоднократное выполнение теста позволяет студенту повысить свой результат. При подведении итогов учитывался только наилучший результат из всех попыток. Такой режим способствует закреплению учебного материала, позволяет

студенту выявить недостатки в подготовке и помогает студенту повысить уровень знаний.

Режим «экзамен» доступен студенту только однократно. Студент, который желает повторно проверить свои знания, должен обратиться к лектору дисциплины за новым допуском. Таким образом, режим «экзамен» фиксирует достигнутый уровень обученности.

В начале семестра администратор системы регистрировал каждого студента в системе «Прометей», после чего лектор выдавал студентам индивидуальные пароли для доступа в систему. Расписание проведения тестов было составлено таким образом, что этап тестирования в режиме «самопроверка» был доступен в течение периода изучения соответствующих тем на лекционных и практических занятиях. Необходимо отметить, что расписание тестирования на все 18 учебных недель семестра было доведено до сведения студентов в начале семестра обучения.

После завершения изучения тем на занятиях студент мог пройти тестирование в режиме «экзамен». Доступ студентов для прохождения тестирования в режимах «самопроверка» и «экзамен» регулировался лектором.

При выполнении тестового задания в любом режиме студент может пропускать очередной вопрос, если затрудняется сразу найти ответ на него, и возвращаться к этому вопросу позже. После выполнения теста студент может увидеть, на какое количество вопросов он дал правильные ответы. Лектор потока, в отличие от студента, имеет возможность увидеть все ответы на заданные вопросы. Соответственно, лектор может оценить уровень знаний каждого студента и рассмотреть, вопросы по каким разделам приводят к наибольшему числу неправильных ответов. Кроме того, преподаватель может увидеть результаты всех попыток студента и оценить улучшение знаний студента по каждой теме.

Результаты выполнения текущих тестов обобщались в течение семестра три раза и доводились до сведения всех студентов на лекциях для повышения их мотивации к тестированию. При этом определялись студенты, наилучшим образом выполнившие тесты, а также прошедшие их наибольшее число раз. После завершения семестра теоретического обучения, когда студенты готовились к сдаче экзамена по дисциплине, лектор еще раз предоставлял возможность пройти все тесты в режиме «экзамен» для закрепления учебного материала.

Результат выполнения каждого теста система «Прометей» оценивает по 100-балльной шкале. Каждое из 20 тестовых заданий имеет свой вес в общем количестве баллов. Весовые коэффициенты задавались авторами тестов в зависимости от уровня сложности заданий, нестандартности формулировок вопросов и длительности времени, необходимого на получение ответа на задание. Для определения корреляции результатов тестирования с результатами промежуточной аттестации (экзамен) использовались диапазоны соответствия 100-балльной и 5-балльной шкал (таблица 1).

Таблица 1. СРАВНЕНИЕ ОЦЕНОК РАЗНЫХ ШКАЛ

100-балльная шкала	5-балльная шкала
90-100	5 (отлично)
75-90	4 (хорошо)
65-75	3 (удовлетворительно)
< 65	2 (неудовлетворительно)

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСТАНЦИОННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

В НИУ «МЭИ» широко используется компьютерное тестирование студентов как элемент обязательного контроля, в частности, при дистанционном обучении студентов. Проведение же тестирования в “добровольном” режиме применяется в практике преподавания дисциплин достаточно редко.

Следует особо отметить, что участие студентов ИТАЭ в дистанционном самотестировании было абсолютно добровольным, результаты выполнения тестов никак не учитывались при выполнении и оценивании контрольных работ или при проведении экзамена. Результаты тестирования, проводимого уже несколько лет, показывают высокую заинтересованность студентов в неоднократном самостоятельном выполнении заданий и хорошо коррелируют с результатами промежуточной аттестации (экзамен).

Тестирование, проведенное в осенних семестрах трех последних лет, показало следующие результаты (таблица 2).

Таблица 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ СТУДЕНТОВ В ОСЕННИХ СЕМЕСТРАХ 2015, 2016 и 2017 г.г.

Показатель	2015	2016	2017
Количество обучающихся студентов	119	143	106
Количество студентов, принимавших участие в тестировании	57	66	87
Количество студентов, получивших с первой попытки более 80 баллов хотя бы за один тест	28	46	54
Количество студентов, получивших на экзамене оценки 5 и 4	49	63	55
Средний балл выполнения тестов	66,1	78,3	82,6
Средний балл результатов экзамена	3,55	3,71	3,90

Отдельно следует отметить, что вопросы для самопроверки, предложенные студентам в тестах, на 70-80% совпадают с вопросами, которые обычно задаются студентам на экзамене в качестве дополнительных

вопросов. Однако студентам эта информация неизвестна, поэтому выполнение тестовых заданий не превращается в механическое заучивание студентом ответов на экзаменационные вопросы. Во-первых, подобная методика позволяет студенту с максимальной заинтересованностью многократно проводить самотестирование, а, во-вторых, позволяет преподавателю в течение семестра оценить готовность студента к экзамену.

Представленные результаты наглядно демонстрируют, что использование дистанционных образовательных технологий существенно повышают интерес студентов к самостоятельному освоению разделов дисциплины непосредственно в течение семестра, что однозначно приводит к повышению качества обучения. Индивидуальная работа студента с применением дистанционных технологий дает ему дополнительные возможности углубленного изучения материала и позволяет оперативно и тесно взаимодействовать с преподавателем.

Поскольку разработка и внедрение в учебный процесс учебно-методических материалов для организации самостоятельной работы студентов по изучению определенных разделов курса физики дали положительный результат, то подобные материалы были разработаны и по другим разделам дисциплины. Обсуждение полного набора тестовых заданий по всем разделам на методических семинарах кафедры помогло сформировать комплексный и логически непротиворечивый целостный подход к изложению курса физики на таком уровне подачи материала, который выделяет главные, фундаментальные основы физических явлений и законов, описывающих эти явления, и способствует наилучшему закреплению изученного материала

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] С.И. Маслов, “Информатизация как неотъемлемый компонент современного инженерного образования”. В кн. “Информатизация инженерного образования: труды международной научно-методической конференции Информ-2012. 10-11 апреля 2012 г.” НИУ МЭИ, Москва – М.: Издательский дом МЭИ, 2012, С. 79-82.
- [2] А.Н. Варва, М.К. Губкин, А.В. Дедов и др. “Учебно-методический комплекс по курсу общей физики для образовательных программ в области энергетики”. Сборник материалов учебно-методической конференции «Актуальные задачи и пути их решения в области кадрового обеспечения электро- и теплоэнергетики». Москва, 2016: Изд. дом МЭИ, С.90-91.
- [3] Иванов Д.А., Иванова И.В. “Использование ИНТЕРНЕТ для повышения эффективности дистанционного обучения по общему курсу физики в Московском энергетическом институте”, Материалы Всеросс. научн.-метод. конф. “Обучение физике в школе и вузе в условиях модернизации системы образования”, Н.Новгород, 22-23 апреля 2004.: Изд-во НГПУ, 2004, С.146-147
- [4] Белокопытов В.М., Губкин М.К., Иванов Д.А., Иванова И.В., Седов А.Н. “Учебно-методический комплекс «Общая физика»”. В кн.: “Информатизация инженерного образования. Электронные образовательные ресурсы МЭИ”. Под ред. С.И.Маслова.: М., Издательский дом МЭИ, 2008, С.15 – 18.
- [5] М.К. Губкин, Д.А. Иванов, И.В. Иванова, “Дистанционные образовательные технологии как средство повышения мотивации студентов в изучении курса общей физики”. Материалы Международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики», Москва, 9-11 октября 2017 г. Т2. М.: Изд. дом МЭИ, 2017, С. 39

Электронные образовательные ресурсы для заочной формы обучения с использованием дистанционных образовательных технологий

В.С. Коркин, Д.В. Меренков, С.В. Ширинский
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва, Россия

Аннотация — Этот доклад приводит пример использования электронных образовательных ресурсов для заочного обучения с применением дистанционных образовательных технологий. В докладе рассматривается курс «Администрирование информационных сетей и систем», реализованный в виде электронного образовательного ресурса удалённого доступа и размещённый на информационной платформе НИУ «МЭИ». Курс предназначен, прежде всего, для студентов заочной формы обучения, и может использоваться также в курсах повышения квалификации и дополнительного образования.

Ключевые слова — электронный образовательный ресурс; заочное обучение, дистанционное обучение, информационные технологии; электронная информационно-образовательная среда.

I. ВВЕДЕНИЕ

В Национальном исследовательском университете «МЭИ» (НИУ «МЭИ») с 2014 года открыта заочная форма обучения с применением дистанционных образовательных технологий. Для реализации этой формы обучения создан Институт дистанционного и дополнительного образования (ИДДО), основной задачей которого является развитие в НИУ «МЭИ» системы заочного основного и дополнительного образования с широким применением дистанционных образовательных технологий. Выполнение такой задачи потребовало целенаправленных действий профессорско-преподавательского состава и других сотрудников по созданию, модернизации и адаптации электронных образовательных ресурсов в рамках заочного обучения [1,2].

Основной особенностью заочного обучения с применением дистанционных образовательных технологий является географическая удалённость студентов от места проведения занятий и, одновременно, их непрерывная включённость в образовательный процесс посредством дистанционных технологий. Несмотря на все возможности современных средств массовых коммуникаций, наибольшая сложность при обучении возникает при реализации инженерных образовательных программ: лабораторные и практические занятия, традиционно

составляющие значительную их часть, крайне сложно перенести в дистанционную форму с сохранением содержательности, наглядности совместно с получением практических навыков и умений.

Рассматривая практические и лабораторные работы в контексте реализации качественного очного инженерного образования, можно отметить, что вместе с базовой технической составляющей учебных занятий (стенды и установки) не менее важными являются диалоговое взаимодействие студента и преподавателя, студентов в группе между собой. При заочном дистанционном обучении можно, несмотря на объективные препятствия, попытаться сохранить интерактивное общение за счёт использования современных информационных технологий, а при технической реализации лабораторных и практических занятий стремиться к созданию стендов и установок, одновременно отвечающих потребностям очного и заочного обучения в комплексе.

В НИУ «МЭИ» к моменту старта заочной формы обучения по инженерным и прикладным направлениям уже имелся опыт создания экспериментальных лабораторных установок удалённого доступа, работающих в режиме реального времени [3]. При этом, сложность создания, достаточно высокая стоимость и необходимость одновременного привлечения специалистов как в предметной области, так и в области информационных технологий ограничивает возможности университета по обеспечению такого рода установками всего заочного образовательного процесса.

Таким образом, наиболее доступным для первоначальной реализации с применением дистанционных образовательных технологий является построение учебного курса в виде электронного образовательного ресурса (ЭОР). В таком ЭОР практическая и лабораторная часть реализуется в виде математических моделей, достаточно полно отражающих процессы в реальных технических системах и представляемых посредством адаптивного интерактивного графического интерфейса, эмулирующего физическую установку.

Наиболее простыми, для реализации в виде ЭОР с возможностью удалённого доступа, в силу своей природы являются курсы в области информационных технологий. Из особенностей построения курсов в этой области можно выделить и меньшую стоимость проектирования, и более простую интеграцию в электронную информационно-образовательную среду университета. Кроме того, информационная система, как правило, представляет собой математическую алгоритмическую модель, реализованную в виде программного обеспечения, и в этом случае физический объект и его математическая модель являются фактически одной сущностью.

В 2017 году в НИУ «МЭИ» для использования в заочной форме обучения с применением дистанционных образовательных технологий был создан учебный курс «Администрирование информационных сетей и систем». Курс является примером реализации электронного образовательного ресурса для заочной формы обучения с использованием дистанционных образовательных технологий, демонстрирует возможности использования современных информационных технологий и достоинства использования этих технологий в современном инженерном образовании.

II. СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО РЕСУРСА

При создании структуры и содержания ЭОР по курсу «Администрирование информационных сетей и систем» учитывались особенности заочной формы обучения с применением дистанционных образовательных технологий и уровень подготовки студентов, обучающихся по направлению «Бизнес-информатика», в рамках которого создан курс.

Структура ЭОР по курсу имеет, в целом, классический характер и представляет собой несколько принципиальных разделов:

- Теоретическая часть.
- Практическая часть.
- Информационный раздел.
- Контрольная часть.

Особенность студентов заочной формы обучения в том, что большинство из них уже имеет диплом среднего профессионального образования по тому же направлению, что и получаемое сейчас высшее образование. Кроме того, многие студенты работают по направлению своего обучения, имеют развитые навыки работы с информационными системами и чтения технической документации. В связи с этим, основная теоретическая часть курса реализована в виде лекционных презентаций, где в максимально концентрированном виде, с использованием графики, изложены основные положения курса. Помимо лекционных презентаций, теоретическая часть дополнена ссылками на электронные книги для самостоятельного изучения и презентациями специалистов компании Microsoft по отдельным сложным темам. Базируясь на лекционных презентациях, студент дополняет полученные там знания чтением книг,

изучением дополнительных ЭОР и технической документации по исследуемым технологиям.

В целом, основная теоретическая часть строится на сочетании лекционных презентаций и электронных книг, содержащихся в Электронной научно-технической библиотеке НИУ «МЭИ» и других доступных для студентов компьютерных ресурсах. Список изначально предоставленных в курсе источников не является для студентов исчерпывающим, предполагая самостоятельное изучение дополнительных ресурсов по желанию, когда студенты отталкиваются от имеющихся у них разных квалификации и опыта и используют основные источники в качестве отправной точки.

Практическая часть курса представлена в виде описания лабораторных работ, разделённых на логически самостоятельные модули. Это ключевая часть курса, поскольку именно в ней реализуется получение практических навыков и умений в соответствии с федеральными образовательными стандартами. Каждый модуль содержит пошаговое описание для выполнения лабораторной работы и сведения о задействованных ресурсах; модули могут выполняться независимо друг от друга и в любой последовательности.

Для реализации практической части созданы три виртуальных машины на базе операционных систем фирмы Microsoft. Для исследования серверных систем используется операционная система Windows Server 2008R2, для исследования клиентских систем – Windows 7 Enterprise. В настоящее время это самые распространённые в мире операционные системы в корпоративном окружении, поэтому именно они применяются в обучении. В качестве методического ориентира и примера технического обеспечения использовался официальный учебный курс Microsoft [4]. Также курс построен на разработке авторов для Центра инноваций Майкрософт НИУ «МЭИ» в рамках программ повышения квалификации, адаптирован под инфраструктуру и процесс заочного обучения в НИУ «МЭИ».

Все виртуальные машины объединены в логические группы и подключены к виртуальному сетевому коммутатору, соединяющему их в локальную сеть (рис.1). Локальная сеть каждой группы изолирована от остальных виртуальных сетей и не имеет выхода в глобальную сеть Интернет по соображениям безопасности и простоты конфигурирования. В состав группы входят три виртуальные машины, находящиеся под управлением учебного домена:

- Контроллер домена (Windows Server 2008R2).
- Отдельный сервер (Windows Server 2008R2).
- Компьютер клиента (Windows 7 Enterprise).

Каждая из виртуальных машин содержит предустановленные настройки и файлы для выполнения работ, по каждому из модулей работа может выполняться независимо от другого модуля. После выполнения модуля состояние машин должно возвращаться к исходному.



Рис. 1. Состав лабораторного комплекса

Информационный раздел содержит инструкции по работе с курсом и по использованию электронной информационно-образовательной среды для выполнения лабораторных работ. Данных материалов достаточно для самостоятельной работы без участия преподавателей.

Контрольная часть курса содержит вопросы для самопроверки и итоговый тест для проверки теоретических знаний. Поскольку основной акцент в курсе делается на получение практических навыков и умений, то после выполнения лабораторных работ по каждому модулю студент формирует отчет с приложением скриншотов ключевых этапов работы и комментариями, и затем отправляет его на проверку преподавателю. Именно проверка и защита лабораторных работ является основой для определения оценки по курсу. Достоинством технологии виртуальных машин является тот факт, что преподаватель всегда может сам подключиться к той машине, где студент выполнял работу, и проверить результаты, не полагаясь только на отчет. Также, при желании, можно давать дополнительные задания и непосредственно после их выполнения видеть результат.

Всего по курсу предусмотрено выполнение четырех оцениваемых лабораторных модулей и прохождение итогового тестирования. Модули лабораторных работ по курсу выполняются студентами в соответствии с календарным планом. Строгий контроль подлинности выполнения работ на данном этапе развития дистанционного обучения в НИУ «МЭИ» неосуществим, но при этом возможно задавать студенту вопросы в режиме реального времени с помощью средств мгновенных сообщений (Skype, WhatsApp) и более точно выяснить понимание студентом выполненной работы. Кроме того, перекрестная проверка отчетов к лабораторным работам даёт некоторое представление об уникальности выполнения студентом этих работ. Сначала студенты выполняют типовое задание, после успешного завершения задания им добавляется индивидуальная часть в один из модулей. Для проверки понимания студентами изучаемой темы индивидуальные задания содержат

пункты, при точном выполнении которых результат не будет достигнут, и только ответ студента о невозможности корректного выполнения данного задания будет свидетельствовать о достаточном понимании предмета.

На существующей инфраструктуре с выделенными серверами возможно одновременное выполнение лабораторных работ для 16 студентов, при большем количестве студентов необходимо использовать очередность выполнения, что является одним из недостатков текущей реализации курса. В будущем планируется увеличить число одновременно работающих пользователей за счёт масштабирования на виртуальной инфраструктуре НИУ «МЭИ».

По завершении курса студент сдает письменный экзамен, получая индивидуальный экзаменационный билет и возвращая преподавателю ответ в пределах срока сдачи экзамена. Итоговая оценка определяется с учётом всех контрольных мероприятий, с приоритетом практической части курса.

III. РЕАЛИЗАЦИЯ ОБУЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРОННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ

Обучение в заочной форме с применением дистанционных образовательных технологий в НИУ «МЭИ» реализуется на платформе системы дистанционного обучения (СДО) «Прометей». Материалы курса размещаются в электронной библиотеке системы, к нему подключаются учебные группы студентов, изучающих курс в данном семестре. Итоговое тестирование использует автоматизированный модуль тестирования СДО «Прометей», пожалуй, самую сильную часть этой системы.

Реализация практической части потребовала создания отдельного от СДО «Прометей» решения, базирующегося на инфраструктуре Информационно-вычислительного центра (ИВЦ) НИУ «МЭИ». Решение должно было обеспечить доступ к выполнению лабораторных работ только авторизованным студентам, обучающимся по курсу, предоставить максимально простое и при этом универсальное подключение из сети Интернет с соблюдением регламентов НИУ «МЭИ» [5]. Общая схема подключения к лабораторному комплексу, обеспечивающая указанные требования, представлена на рис. 2.

На первом шаге участники курса, студенты и преподаватели, подключаются со стороны сети Интернет к VPN-серверу, предоставляя логин и пароль от своей учётной записи. Учётная запись предоставляется студентам и сотрудникам НИУ «МЭИ» от ИВЦ и обеспечивает единый доступ ко всем сервисам университета. После авторизации на VPN-сервере пользователи получают доступ к локальной сети.

На втором шаге участники используют программное обеспечение для доступа к виртуальной среде VMware View. Эта среда используется, в контексте прохождения практической части курса, для дополнительного контроля доступа и ограничения нагрузки. В качестве клиента доступа применяется VMware Horizon Client.



Рис. 2. Схема подключения к лабораторному комплексу

Клиент удалённого подключения выпущен для всех ведущих настольных и мобильных платформ: Windows, Mac, iOS, Android, – что позволяет обеспечить доступ всем участникам образовательного процесса при любых сценариях работы (дом, дорога, командировка). После подключения в среде VMware View запускается специально назначенная виртуальная машина, единственная задача которой – предоставить графический инструмент управления виртуальными машинами для проведения лабораторных работ.

Виртуальные лабораторные машины запускаются в среде виртуализации Microsoft Hyper-V на базе Windows Server 2012. В качестве аппаратной платформы для запуска используется выделенный сервер, имеющих в своём составе два 4-х ядерных процессора Xeon и 32 Гбайт оперативной памяти каждый. Такой конфигурации достаточно, чтобы разместить на сервере 8 групп виртуальных машин, по 3 машины в группе. В качестве удалённого инструмента управления виртуальными машинами используется программа Probus-IT Hyper-V Manager (HVM).

На третьем шаге пользователи используют утилиту HVM, установленную на виртуальной машине в среде VMware View, и с её помощью запускают группу виртуальных машин для выполнения лабораторных работ (рис. 3). Использование удалённого запуска, по отношению к прямому входу на выделенный сервер, позволяет снизить нагрузку на сервер со стороны пользователей и обеспечить более простое управление, не прибегая к использованию терминальных сервисов Windows Server. Запущенные виртуальные машины работают в фоне, и к ним всегда можно подключиться и отключиться, не теряя полученных результатов, что позволяет делать произвольные перерывы в лабораторных работах и потом возвращаться, занимаясь согласно своему гибкому индивидуальному графику. Вопрос очередности доступа пока решается в индивидуальном порядке при согласовании с преподавателем.

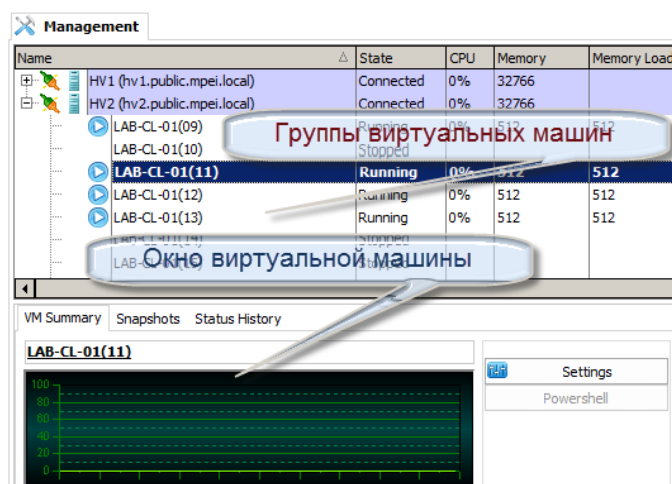


Рис. 3. Работа с лабораторным комплексом

По завершении работы виртуальные машины останавливаются, и участники последовательно завершают все авторизованные сеансы подключений в порядке, обратном началу работы (HVM, виртуальная машина VMware View, VPN). Результаты прохождения курса фиксируются преподавателем в СДО «Прометей» как компоненте единой электронной информационно-образовательной среды НИУ «МЭИ».

IV. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Созданная в рамках курса «Администрирование информационных сетей и систем» инфраструктура для проведения лабораторных работ успешно работает и позволяет студентам заочной формы обучения самостоятельно выполнять лабораторные работы в удобное для них время. Тем не менее, данную инфраструктуру стоит рассматривать как минимально достаточную, и для дальнейшего развития ЭОР определить ряд направлений.

Во-первых, желательно дополнить технологии удалённого доступа к виртуальным машинам средствами аудио-конференций и мгновенных текстовых сообщений для интерактивного взаимодействия студентов и преподавателей при выполнении лабораторных работ в режиме реального времени. В первом приближении, это может быть общение через университетские системы коммуникаций, с доступом по единой учётной записи от сервисов МЭИ, и последовательным переключением окна виртуальной машины от одного участника к другому (как это переключение происходит сейчас). Во втором приближении, все участники смогут одновременно видеть окно виртуальной машины и работать совместно в режиме реального времени: для этого на лабораторные виртуальные машины необходимо установить модуль, обеспечивающий удалённый доступ к рабочему столу одновременно нескольким участникам.

Во-вторых, перспективной идеей является размещение лабораторных виртуальных машин в облачной инфраструктуре (например, VMware) и запуск необходимого числа виртуальных машин по требованию. Такое решение позволит исключить выделенный сервер,

при этом потребуется большее количество аппаратных ресурсов с поддержкой виртуализации и особые настройки виртуальной сети для организации взаимодействия группы машин; также вероятно снижение производительности.

В-третьих, это более тесная интеграция среды выполнения лабораторных работ со средой дистанционного обучения. В новой версии СДО «Прометей» 5.0 уже появились функциональные возможности, выгодно отличающие её от используемой сейчас версии 4.7 с точки зрения интеграции в единую образовательную среду. Разработчик СДО «Прометей» ООО «Виртуальные технологии в образовании» постоянно сотрудничает с университетом в плане создания особого функционала и адаптации системы под потребности заочного образования. В версии, которая была разработана совместно с учётом пожеланий НИУ «МЭИ», реализована особая роль «Методист», дающая новые возможности анализировать работу студентов и преподавателей в процессе заочного обучения, а именно:

- вывод результатов по курсу с фильтром по учебной группе;
- вывод результатов для конкретного студента с фильтром по курсу и по преподавателю;
- вывод результатов для конкретного преподавателя с фильтром по курсу и учебной группе.

Модернизация роли «Методист» в контексте использования в данном курсе «Администрирование информационных сетей и систем» предполагает:

- автоматическое формирование подгрупп для выполнения лабораторных работ в заданные сроки;
- автоматическая корректировка состава лабораторных подгрупп в зависимости от прогресса выполнения лабораторных модулей (например, при получении оценки выше порогового уровня студент переходит в категорию «выполнивших работу», при оценке ниже студент попадает в категорию «повторное выполнение работы», а при повторном неуспехе переходит в категорию «требуется индивидуальная работа»);
- автоматическая генерация и рассылка индивидуальных тестовых заданий в зависимости от достигнутых ранее результатов.

Полезной возможностью будет использование системы файлового хранения СДО «Прометей» как базы автоматического анализа отчётов студентов на предмет заимствований в сторонних источниках и перекрестной проверки с помощью системы «Антиплагиат.ВУЗ», официально используемой в НИУ «МЭИ».

На следующем этапе совершенствования системы планируется реализовать возможности, улучшающие работу студенческих групп с лабораторными модулями и практическими заданиями (рис. 4):

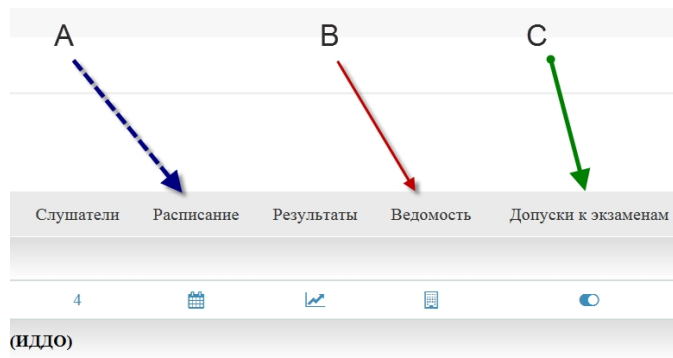


Рис. 4. Интерфейс СДО «Прометей» 5.0 для учебных групп

- А. Подключение студентов из конкретных учебных групп к лабораторным работам по расписанию, для предотвращения внутренней конкуренции.
- В. Возможность выставления оценок по лабораторным работам в ведомости только после задокументированного доступа студента к блоку лабораторных работ через СДО.
- С. Создание индивидуальных допусков к заданиям на виртуальной машине, открывающим доступ отдельному студенту или группе в определённый срок к конкретным машинам.

В целом, перспективы развития заключаются в глобальной интеграции курсов в единую информационно-образовательную среду университета.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность заведующему кафедрой ПБИ НИУ «МЭИ» Крепкову И.М. и заместителю директора ИВЦ НИУ «МЭИ» Хорькову С.Н. за консультации и помощь в развёртывании электронного образовательного ресурса на платформе ИВЦ НИУ «МЭИ».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Маслов С.И., Тихонов А.И. Массовые и частные онлайн-курсы в инженерном образовании. Труды Международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования» – ИНФОРИНО-2016 (Москва, 12-13 апреля 2016 г.). – М.: Издательский дом МЭИ, 2016.
- [2] Маслов С.И., Тихонов А.И. Смешанное и дистанционное обучение в МЭИ. Труды Международной научно-методической конференции «Информатизация инженерного образования – ИНФОРИНО-2014» (Москва, 15-16 апреля 2014 г.). – М.: Издательский дом МЭИ, 2014.
- [3] Новый подход к инженерному образованию: теория и практика открытого доступа к информационным и техническим ресурсам / Ю.В. Арбузов, В.Н. Леньшин, С.И. Маслов и др. – М.: Центр-Пресс, 2000.
- [4] Развертывание и настройка Windows Server 2008. Учебный курс Microsoft. – М.: Русская редакция, 2008. – 640 с.
- [5] Положение об информационно-вычислительном центре (ИВЦ НИУ «МЭИ»). ПСП 14400-13. [Электронный ресурс]. URL: <http://mpei.ru/Structure/uchchast/icc/Documents/ICCposition.pdf>.

Информационные технологии в дисциплине Электротехника и электроника

Кузнецов Эдуард Васильевич, Киселев Василий Игоревич, Куликова Екатерина Александровна
Институт Автоматики и вычислительной техники, кафедра Электротехники и и интроскопии
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
Москва, Россия

Аннотация — В НИУ «МЭИ» на кафедре Электротехники и интроскопии (ЭИ) в течение ряда лет проводится целенаправленная работа по созданию комплекса электронных образовательных ресурсов (ЭОР) к дисциплине Электротехника и электроника. ЭОР направлены на интенсификацию учебного процесса, повышение его эффективности и качества при подготовке бакалавров по неэлектротехническим направлениям в 23 группах (примерно 450 студентов). Разработанные ЭОР объединены в учебно-методическом комплексе (УМК), содержащем три части дисциплины (Электрические и магнитные цепи, Электромагнитные устройства и электрические машины, Основы электроники и электрические измерения): электронный учебник (ЭУ), в котором объединены учебник и задачник; виртуальные лабораторные работы (ВЛР); практические занятия (ПЗ); индивидуальные задания (ИЗ); тестовая система проверки знаний (ЭТ) по всем темам дисциплины и встроенные средства верификации результатов работы студента в ЭУ, ВЛР, ПЗ, ИЗ. Представлены некоторые примеры ЭОР, подготовленных в форматах HTML, в приложениях MathCAD, MatLAB Simulink, авторские программы на языках Java2, VB6, C++. В опыте, полученном в применениях ЭОР были выявлены достоинства новых технологий, позволяющие дать студентам дополнительные возможности в изучении дисциплины.

Ключевые слова — электронные образовательные ресурсы, дисциплина Электротехника и электроника, Учебно-методический комплекс, электронный учебник, лекции, практические занятия, виртуальная лаборатория, интерфейсы студента, компьютерные модели, электрические цепи, электрические машины, основы электроники, индивидуализация заданий, самоконтроль, тестирование, программное обеспечение, электронные отчеты и вычисления.

I. ВВЕДЕНИЕ

Авторы занимаются разработкой электронных образовательных ресурсов (ЭОР) для компьютеризации инженерно-технического образования с момента появления в МЭИ ПЭВМ. В начале (1994 г.) это были отдельные программы для сопровождения лабораторных работ (представление заданий, верификация результатов

опытов, фиксация протокольных данных), проверка расчетных заданий, электронные тесты. С накоплением опыта использования на занятиях ЭОР появилась уверенность в больших возможностях, которые открываются с разработкой и внедрением комплекса ЭОР для всех видов занятий. В докладе представлено современное состояние компьютеризации дисциплины с помощью электронного УМК, разработанного на кафедре ЭИ НИУ МЭИ. Более подробные описания различных частей УМК представлены в докладах конференций Инфорно в 2012, 2014 и 2016 г.г. и в учебнике [1,2,3] Дисциплина Электротехника и электроника без преувеличения является массовой для неэлектротехнических направлений бакалавриата и специалитета. Поэтому есть много разработок ЭОР для нее (например, [4-6]). Отличительной особенностью наших разработок является комплексный подход к дисциплине Электротехника и электроника с использованием авторских ЭОР, а также широко известных расчетных и моделирующих программ.

II. ЭОР В ЛЕКЦИОННЫХ ЗАНЯТИЯХ

Лекции читаются в аудитории с компьютером и проектором. Лектор использует конспекты (форматы HTML, Word, PowerPoint, PDF), в которых помещены авторский текст, фрагменты из учебника, а также лекционные демонстрации (ЛД), подготовленные с помощью авторских программ и программ схемотехнического и структурного моделирования. Конспект лекции выставляется лектором на сайте дисциплины до чтения лекции и доступен студенту вплоть до экзамена. Таким образом, студент получает на лекции информацию в большем объеме и лучшего качества, чем в традиционной лекции. ЛД позволяют представить материал в наглядной динамической форме (рис.1). Лектор может оперативно корректировать материал лекций соответственно конкретным требованиям текущего цикла занятий.

III. ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНИК

При самостоятельной работе студенты могут дополнительно к лекциям использовать электронный учебник (ЭУ) на сайте дисциплины в формате HTML. ЭУ содержит полнотекстовое описание с примерами и заданиями. Есть контроль результатов, полученных студентом. В локальной версии учебник представляет выход на электронные практические занятия и виртуальные лабораторные работы...

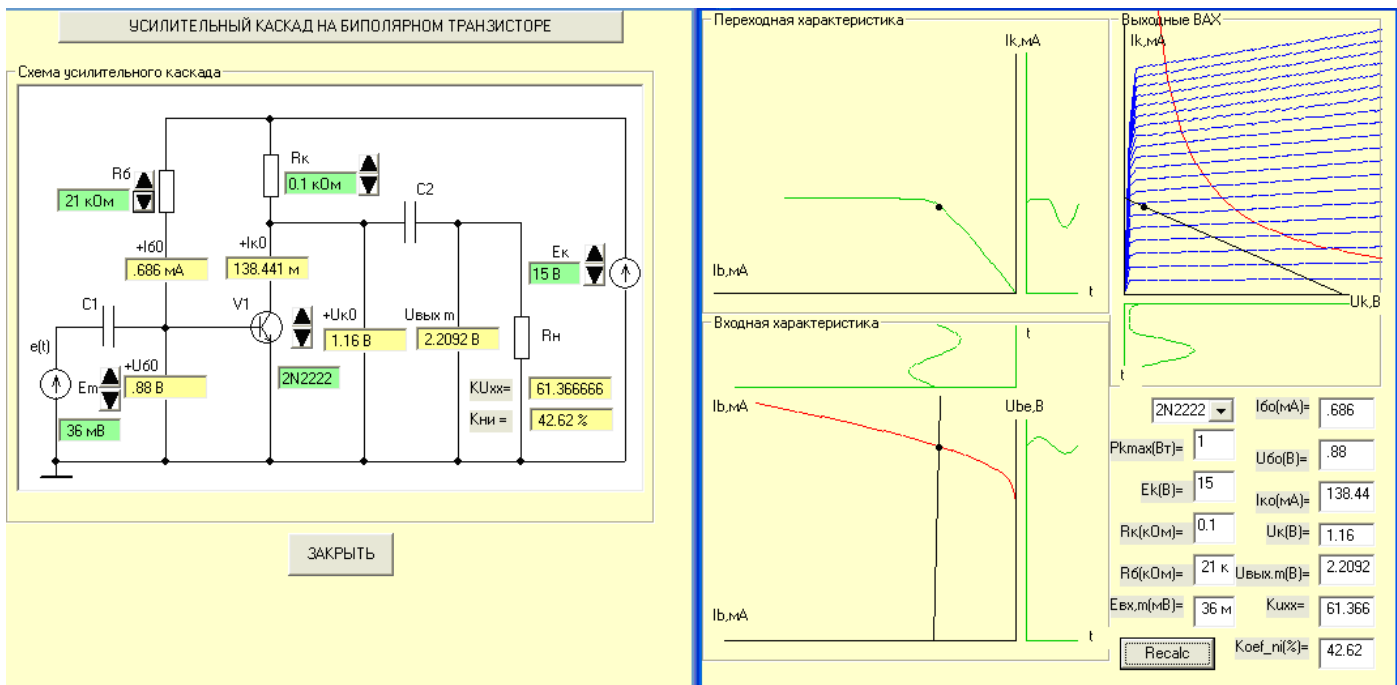


Рис.1. Пример динамической демонстрации влияния амплитуды сигнала и выбора рабочей точки на усиление и нелинейные искажения (VB6)

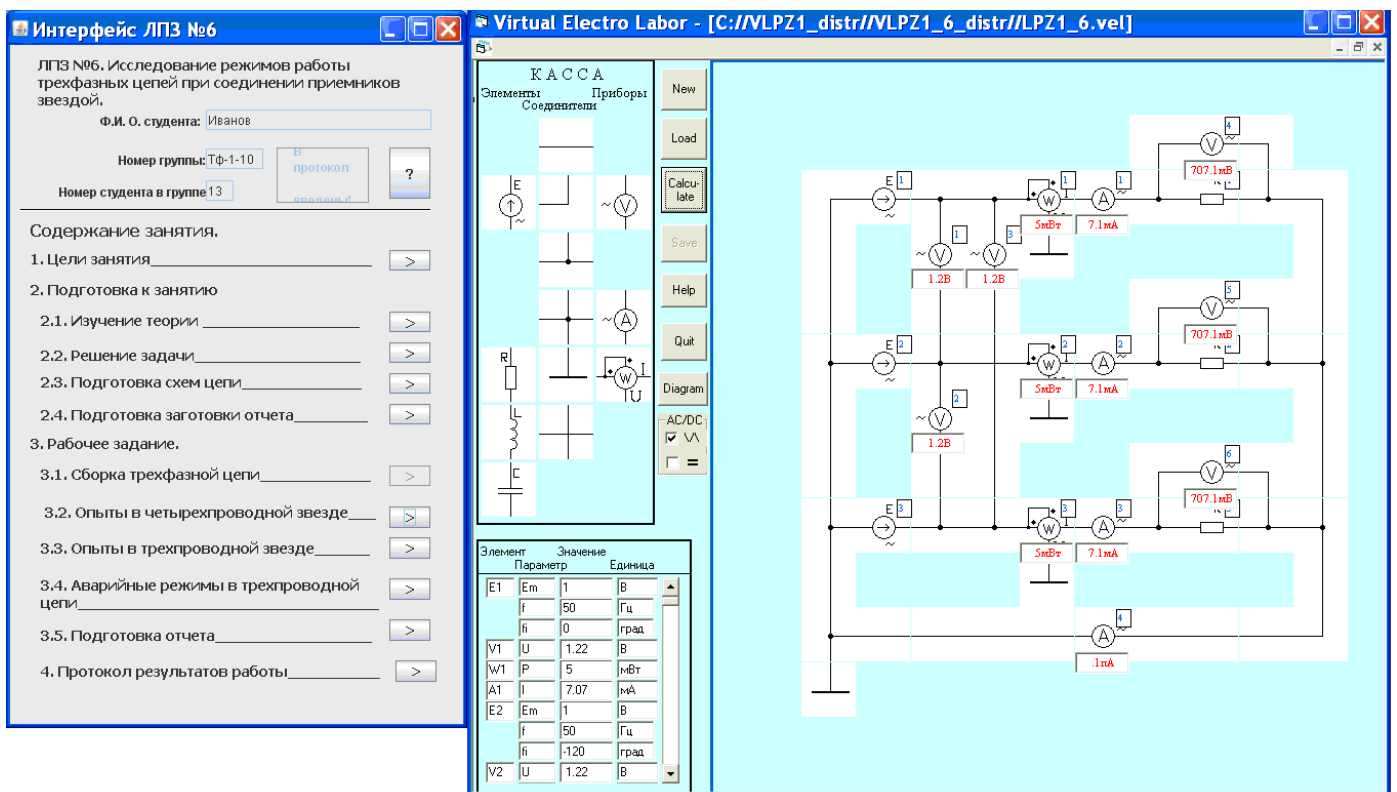


Рис.2. Фрагмент виртуальной лабораторной работы по трехфазным цепям. Слева – головной интерфейс лабораторной работы №6 (Java 2), справа – интерфейс программы для моделирования электрических цепей с загруженной схемы соединения приемников четырехпроводной звездой» (VB6).

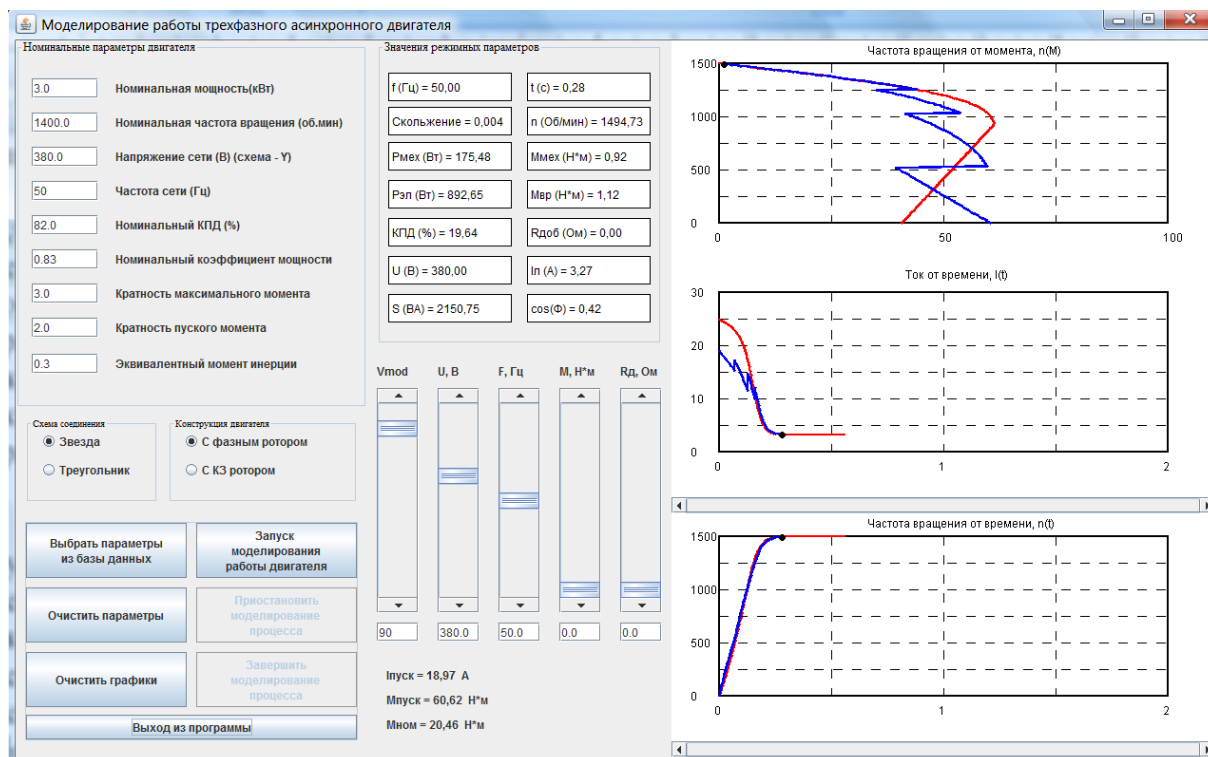


Рис.3. Пример виртуальной лабораторной работы по изучению эксплуатационных свойств ТАД (Java2). Показаны зависимости, полученные в процессах прямого пуска и с пусковым реостатом.

IV. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (ПЗ)

ПЗ проходят в компьютерном классе с проектором. Студенты используют документы MathCAD, содержащие текстовые вставки и рисунки с заданиями, закрытые области (ЗО) с решениями задач, объекты ввода ответов студентами, ЗО для сравнения решений с ответами, введенными студентом, объекты вывода комментариев по результатам сравнений. Для построения различных графиков используются средства MathCAD. Студент получает на свой flash-носитель файл документа в формате HTML для домашней работы. ПЗ с ПК позволяют формировать индивидуальные значения исходных данных для каждого студента, создавать атмосферу соревнования и повышать таким образом мотивацию в работе студентов, предоставлять средства для громоздких вычислений с комплексными числами.

V. ВИРТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ (ВЛР)

Подготовлены три виртуальные лаборатории: электрические цепи (стационарные режимы), электрические машины, основы электроники. Они имеют разное программное обеспечение (ПО), соответствующее разным объектам исследования. Каждая лаборатория имеет два вида ПО: интерфейс лабораторной работы (ИЛР) и интерфейс моделирующей программы (ИМП).

A. Виртуальная лаборатория электрических цепей

Для раздела электрических цепей ИЛР подготовлен в виде приложения Java2 (рис.2). После регистрации (фамилия, номер группы, номер в списке группы) студент вводит по запросу результаты расчетов, полученные на стадии домашней подготовки и проверяет их значения.

По результату проверки выводится комментарий (ДА/НЕТ). Результаты проверки вносятся в таблицу, которую студент может открыть для просмотра. В этой таблице выводятся количество ошибок и результирующий балл. Далее студент переходит к опытам, соответствующим заданиям. Для этого вызывается ИМП (авторская схемотехническая программа (рис.2)) подготовленный на VB6. Студент визуальным программированием создает графический образ заданной схемы, используя условные графические символы компонентов цепи (источники ЭДС и тока, резисторы, индуктивные катушки, конденсаторы, амперметры, вольтметры, ваттметры), или загружает готовое приложение со схемой. В последнем случае параметры элементов не публикуются, так как их значения являются целями опытов. После задания параметров всех элементов схемы и старта модели студент получает показания приборов на модели, как в реальной лаборатории. По запросу в интерфейсе лабораторной работе можно произвести обработку результатов и ввести полученные значения для проверки. Для получения графиков в ИМП имеется таблица для сбора всех данных. Студент проводит серию опытов при изменении параметра компонента

схемы в ИМП. В таблице можно выбрать столбцы, присвоив им соответственно имена “Y” и “X”. После выбора в отдельном окне ИМП появится график Y(X) с автоматическим масштабированием.

В. Виртуальная лаборатория электрических машин

Для раздела электрических машин подготовлены три виртуальные лабораторные работы: двигатель постоянного тока (ДПТ), трехфазный асинхронный двигатель (ТАД) и синхронный двигатель (СД). ИЛР сделан в виде приложения MathCAD. После регистрации в ИЛР студент получает тип двигателя, рассчитывает и вводит для проверки значения режимных параметров. Далее студент вызывает ИМП, который представляет собой одно графическое окно, разделенное на «зоны»: зона задания исходных данных, зона регулировки режимных параметров, зона управления, зона отображения текущих значений основных режимных параметров, зона отображения графических зависимостей (рис.3). Студент выполняет на модели опыты, параметры которых задаются в ИЛР. В процессе моделирования студент визуально наблюдает, как изменяются параметры двигателя (рис.3). Далее он переносит требуемые значения параметров из ИМП в ИЛР. Средства проверки введенных значений в ИЛР (аналогично п. А) оценивают качество опыта. Электронный отчет готовится студентом из документа ИЛР в форме HTML – файла. Авторский ИМП для ДПТ подготовлен на VB6, для ТАД – на Java2, для СД на C++.

Подготовлены и испытаны модели для виртуальных лабораторных работ в среде Matlab Simulink. Эти ИЛР дают наглядные представления схем опытов с измерительными и регулирующими устройствами и возможность оперативного изменения структуры моделей электрических машин.

С. Виртуальная лаборатория основ электроники

Для раздела основ электроники подготовлены четыре виртуальные лабораторные работы: неуправляемые выпрямители (НВ), усилительный каскад на биполярном транзисторе (УК), применение операционного усилителя (ОУ), логические устройства (ЛУ). В виртуальной лаборатории электроники ИЛР выполнен, как и в п. А. Для ИМП использована программа схемотехнического моделирования Electronics Workbench 3.0. Выбор определен ввиду простоты интерфейса при полной достаточности свойств ИМП.

Виртуальные лабораторные работы позволяют:

- преодолеть проблемы, связанные с физическим и моральным старением лабораторного оборудования;
- задать для каждого студента индивидуальные значения исходных данных;
- расширить круг исследовательских задач;
- провести эксперименты, которые невозможны в лаборатории (например, аварийные режимы, быстрые динамические процессы);
- ускорить и уточнить проверку результатов работы студентов;

- предоставить средства для автоматизации рутинных вычислений; получить высокое качество отчетов;
- повысить объективность оценки качества работы студента.

VI. РАСЧЕТНЫЕ ЗАДАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Информационные технологии позволяют существенно упростить процедуры подготовки, регулярного обновления и контроля выполнения серии расчетных заданий по всем разделам дисциплины. Для вычислений студенты могут использовать MathCAD или инженерные калькуляторы, что позволяет существенно упростить расчеты с комплексными числами.

Для начального контроля подготовлены тесты. Тесты конструируются преподавателем в MS Access 2003. Для тестирования подготовлен интерфейс на VBA6. База тестов содержит около 1000 вопросов и задач. Тестирование позволяет сориентировать студентов в круге типовых задач.

VII. САЙТ ДИСЦИПЛИНЫ

Большое значение для организации учебных дел имеет сайт дисциплины www.get-eti.ru, на котором выставляются лектором все методические материалы:

- учебные программы,
- графики занятий и консультаций по группам и потокам,
- расчетные задания,
- описания лабораторных работ,
- таблицы детальных и промежуточных результатов контроля студентов для бальной рейтинговой системы (БАРС).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Электротехника и электроника. В 3т. Т.1. Электрические и магнитные цепи: учебник и практикум для академического бакалавриата./ Э.В. Кузнецов; под общ. ред. В.П. Лунина. - 2-е изд., перераб. и доп.-М.:Издательство Юрайт, 2016.-255с
- [2] Электротехника и электроника. В 3т. Т.2. Электромагнитные устройства и электрические машины: учебник и практикум для академического бакалавриата./ В.И. Киселев, Э.В. Кузнецов, А.И. Копылов; под общ. ред. В.П. Лунина.- 2-е изд. перераб. и доп.-М.:Издательство Юрайт, 2016.-186с.
- [3] Электротехника и электроника. В 3т. Т.3. Основы электроники и электрические измерения: учебник и практикум для академического бакалавриата./ Э.В. Кузнецов, Е.А. Куликова, П.С. Культиасов, В.П. Лунин; под общ. ред. В.П. Лунина.- 2-е изд. перераб. и доп.-М.:Издательство Юрайт, 2017.-235с.
- [4] К.С.Степанов, Н.Г.Панкова Применение информационных технологий при обучении электротехническим дисциплинам. Электронная публикация. 8с. [http://www/allbast.ru..](http://www.allbast.ru..)
- [5] Информационные технологии обучения в электротехнике. Аннотированный библиографический указатель./ Костырев М.Л., Миницер Е.Д. ГОУВПО Самарский государственный технический университет, 2006.с.131
- [6] Оптимизация лабораторного практикума по электротехнике с применением системы MatLabSimulink. К.С. Степанов, Н.Г. Панкова/ Инженерный вестник Дона, №4 (2014), ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2628.c.8

DriveConstructor: онлайн-курс для обучения по системам электропривода

Алексей В. Матвеев
DriveConstructor
Trondheim, Norway
alexey.matveev@driveconstructor.com

Кадри А. Оладипо, В.В. Плыткевич,
В.А. Кузьмичев, С.В. Ширинский
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва, Россия
shirinskiisv@mpei.ru

Аннотация — В статье описывается опыт внедрения в учебный процесс онлайн-курса DriveConstructor. Данный курс (учебный комплекс) создан в помощь студентам и университетским преподавателям. Тематика курса охватывает несколько дисциплин, в том числе электрические машины, электропривод и электромеханические системы. Курс включает в себя программное обеспечение, учебник и задачник. Курс может использоваться как для самообучения, так и для работы с преподавателем в рамках лекций или семинаров.

Ключевые слова — онлайн обучение; электропривод; электрические машины; электромеханические системы.

I. ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе технологического развития и глобализации одним из главных конкурентных преимуществ становятся умение приобретать новые навыки. Миссия проекта по разработке и внедрению курса формулируется разработчиками как «Более быстрое получение знаний». Здесь имеется в виду сравнение с традиционным процессом обучения в университете. Программное обеспечение позволяет слушателю быстро создавать сложные системы электропривода, собирая их из стандартных компонентов, но также и рассматривать различные варианты таких систем и проводить их сравнительный анализ.

Онлайн курс DriveConstructor создан А.В. Матвеевым и А.А. Гавриловым. Он находится в свободном доступе по адресу <https://driveconstructor.com/>. Программа основана на сведениях о реальном выпускаемом оборудовании, тщательно подобранного авторами для решения определенного круга задач. При этом программа не предусматривает добавление пользователем своих собственных моделей в общую базу компонентов. Считается, что использование достаточно большой библиотеки стандартных компонентов для построения электромеханических систем позволяет слушателям вырабатывать те же навыки, что и работа с собственными настраиваемыми моделями новых компонентов.

Весь курс создан на английском языке, что не только увеличивает зону охвата использующих его слушателей, но и способствует выработке профессиональных практических навыков работы в англоязычной среде для

тех студентов, которые учатся в основном на других языках. Поэтому дополнительным бонусом для слушателей становится увеличение степени владения английским языком.

Очевидный тренд последних лет – появление в сети все большего числа образовательных услуг, как платных, так и бесплатных, позволяющих широкому кругу слушателей самостоятельно получать новые знания в необходимых областях. Некоторые курсы используются в качестве расширения традиционного учебного процесса, некоторые - существуют независимо. Набирающее силу онлайн образование приводит к появлению целых онлайн университетов [1]. Рассматриваемый здесь курс вполне укладывается в эти тенденции. Он пока существует в виде самостоятельного продукта для свободного использования любыми слушателями. Одновременно происходит его апробация в ряде традиционных университетов, результатом чего и является данная статья.

II. СОСТАВ ОНЛАЙН КУРСА

Онлайн-курс содержит прежде всего программу подбора компонентов для составления электропривода, а также электронный учебник и задачник.

A. DriveConstructor

Программа является основной частью онлайн курса. Она позволяет собирать вместе компоненты для получения оптимальных систем для конкретных применений, изменять топологию системы и настраивать отдельные компоненты, проводить бенчмаркинг и оптимизацию системы. При этом программа использует достаточно простую логику при сборке компонентов в единую систему. Например, выходной ток преобразователя частоты должен превышать номинальный ток приводного двигателя, мощность двигателя должна превышать мощность, потребляемую приводным механизмом во всем рабочем диапазоне скоростей.

В основу программы положены реальные каталоги производителей оборудования, на базе которых были сформированы усредненные каталоги возможных компонентов. Важно, что каталоги содержат не только техническую информацию, но и сведения о стоимости

компонентов. Это позволяет программе проводить стоимостной анализ проектируемых систем для последующего выбора оптимального варианта.

Другой особенностью программы является учет коэффициентов полезного действия компонентов при частичных нагрузках и проведение на их основе анализа эффективности всей системы для различных рабочих циклов нагрузки.

Для удобного сравнения различных вариантов проектируемой системы программа использует инструменты бенчмаркинга. Она позволяет в табличном и графическом виде сравнивать отдельные показатели различных вариантов проектируемой системы. Обычно сравнение проходит по таким показателям, как КПД при нагрузке 100%, 75%, 50% и 25%, общий объем системы, занимаемая площадь, вес и полная стоимость.

В. Рассматриваемые системы

Поставщики компонентов часто называют задачи «применениями» (applications). DriveConstructor дает возможность проектирования систем для четырех применений: насос, конвейер, лебедка (или намоточное устройство) и ветряная (или приливная) энергетическая установка. Эти применения характеризуются отличными друг от друга нагрузочными характеристиками и режимами работы (рис. 1).

Создаваемая для этих применений электромеханическая система, расположенная между механизмом и электрической сетью, может включать различные компоненты: как электрические, такие как преобразователь частоты или трансформатор, так и механические, такие как редуктор, а также собственно электромеханический преобразователь – электрическую машину, работающую в режиме двигателя или генератора.

Компоненты, соединенные вместе, образуют систему преобразования энергии или, говоря иначе, систему электропривода.

Насос характеризуется глубиной (высотой) подъема жидкости, расходом жидкости, частотой вращения и КПД, также можно задать момент трогания. Тип жидкости определяется ее плотностью. Все топологии насосных систем предполагают использование преобразователя частоты для регулирования расхода и защиты насосного оборудования. Также возможно использование трансформатора и редуктора.

Конвейер характеризуется номинальным моментом, максимальной и минимальной скоростью и рабочим циклом. Можно также задавать однократную или периодическую перегрузку. Топология также может включать трансформатор и редуктор.

Ветряная или приливная энергетическая установка характеризуется номинальной частотой вращения лопастей, номинальным моментом и коэффициентом превышения частоты вращения.

Лебедка характеризуется диаметрами пустого барабана и барабана с полностью намотанным тросом, номинальным усилием на тросе и номинальной скоростью движения троса. Также можно задать рабочий цикл и различную перегрузку.

После выбора «применения» и задания параметров нагрузки программа предлагает выбрать из наиболее подходящих вариантов все компоненты выбранной системы. Однако у пользователя остается полная свобода выбора внутренних параметров системы – напряжения питания внутренних компонентов (с помощью трансформатора), частоты вращения (с помощью редуктора), а также типа преобразователя частоты и электрической машины.

Программа позволяет выбирать только вращающиеся электрические машины переменного тока с внутренним ротором. Доступны следующие типы машин: асинхронная машина с короткозамкнутым ротором, синхронная реактивная машина и синхронная машина с постоянными магнитами. Как и положено, любая электрическая машина обратима и может использоваться в качестве двигателя или генератора в зависимости от «применения».

Все преобразователи частоты используют инвертор напряжения с блоком конденсаторов в звене постоянного тока. Преобразователь частоты может быть однонаправленным или обратимым, но в каждом случае доступно несколько вариантов топологии самого преобразователя.

Трансформатор в большинстве систем является необходимым компонентом, обеспечивающим кроме правильного уровня напряжения гальваническую развязку и подавление гармоник преобразователя частоты для защиты сети. Программа позволяет выбрать двух- или трехобмоточный трансформатор, сухой или масляный, отдельный или интегрированный в систему, с воздушным

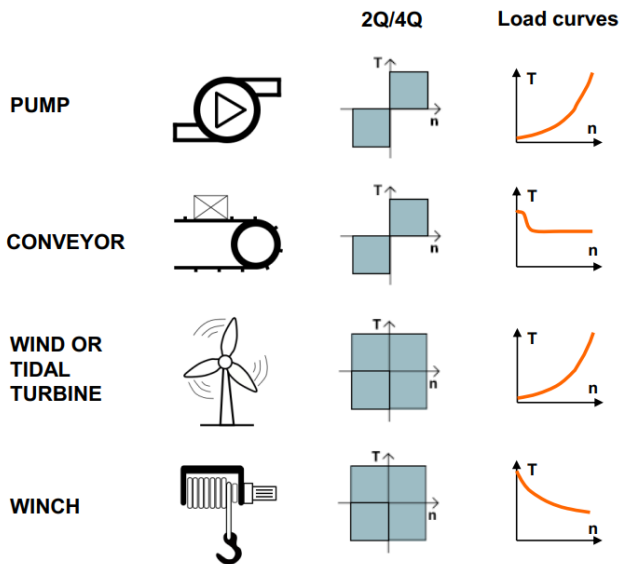


Рис. 1. Возможные «применения», их режимы работы и нагрузочные характеристики.

или жидкостным охлаждением, а также с требуемым классом защиты.

Редукторы также могут быть выбраны разного типа: винтовой, конический, планетарный или червячный, могут иметь до трех ступеней с задаваемым передаточным отношением и разными типами передачи каждой ступени.

Даже соединительные кабели могут влиять на окончательный выбор оптимальной системы. Для этого пользователь может задавать: необходимую длину кабеля (которая может быть весьма существенной при офшорном размещении приливных или ветряных турбин); материал (медный или алюминиевый проводник); сечение проводников и число элементарных проводников. Разумеется, большая часть таких параметров выбирается программой автоматически, но у пользователя остается возможность исследовать влияние этих параметров на всю систему.

С. Электронный учебник

Учебник расположен на том же сетевом ресурсе. Он создан с помощью GitBook [2] и содержит основную информацию об электромеханических системах и их компонентах. Это не инструкция пользователя, но именно небольшой учебник.

Прежде всего в учебнике рассматриваются четыре «применения» из данного курса: насосы, конвейеры, турбины и лебедки. Рассмотрены их типичные нагрузочные характеристики и параметры, задаваемые при проектировании системы. Учебник также поясняет ограничения, заложенные в программе, касательно проектируемых систем и их параметров.

Более подробно в учебнике рассмотрены те компоненты, из которых строятся системы для указанных применений. Прежде всего, это электрические машины и силовые преобразователи. Вместо детального описания конструкций, принципов действия и характеристик различных электрических машин учебник описывает их с точки зрения потребителя: типичный ряд мощностей, напряжений, синхронных скоростей, классы энергоэффективности, способы охлаждения, исполнения по способу монтажа и классы нагревостойкости изоляции. Для силовых преобразователей после рассмотрения основных топологий и областей их применения описывается ряд мощностей и напряжений; приводятся параметры, определяющие перегрузку по току; описываются способы охлаждения, монтажа преобразователей и используемых совместно с ними фильтров.

После описания трансформаторов, редукторов и силовых кабелей рассматривается тема ограничения мощности электрических машин и силовых преобразователей по мере увеличения высоты над уровнем моря. Этот вопрос часто ускользает от внимания студентов, но на практике оказывается очень важен. С ростом высоты падает атмосферное давление и ухудшается охлаждение электрических компонентов системы. Разные производители оборудования дают

несколько различающиеся рекомендации по снижению мощности и номинального напряжения электрических машин и преобразователей с ростом высоты над уровнем моря. Учебник содержит общие рекомендации, сведенные в удобные таблицы. То же относится и к температуре окружающей среды или температуре хладагента в случае жидкостного охлаждения – удобные таблицы позволяют быстро выбрать степень уменьшения (или увеличения) номинальной мощности электрических машин, преобразователей и трансформаторов в зависимости от температуры окружающей среды.

Последний раздел учебника, посвященный общим вопросам проектирования электромеханических систем, рассматривает основные принципы выбора отдельных компонентов системы и их влияние на работу всей системы. Подробно рассмотрены преимущества приводов с переменной частотой вращения, показаны примеры экономии электроэнергии на примере регулируемых и нерегулируемых насосов в гидравлической системе.

Отдельный параграф посвящен вопросам выбора оптимальной системы. Рассматриваются критерии эффективности, количественные и качественные способы оценки, операционные затраты и понятие стоимости жизненного цикла.

Особое внимание уделено в учебнике вопросам взаимодействия компонентов системы, в частности, влиянию силового преобразователя на работу электрической машины, с одной стороны, и на электрическую сеть, с другой. Приводятся основные сведения по источникам высших гармонических тока и напряжения, создаваемых силовыми преобразователями, негативным эффектам и способам оценки степени влияния гармоник. С точки зрения электрических машин взаимодействие с преобразователями рассматривается с позиций перенапряжений, волновых эффектов и подшипниковых токов, возникающих под действием синфазного напряжения при использовании широтно-импульсной модуляции выходного напряжения.

D. Задачник

Задачник в настоящее время содержит описание 43 задач, которые предлагается решить студенту. Все они независимы, но сгруппированы по образовательным целям. Первые 22 задачи посвящены основным компонентам системы (электрическим машинам и силовым преобразователям) и характеристикам системы в целом, а остальные разбиты на группы по четырем применениям (насосы, конвейеры, ветряные/приливные энергетические установки, лебедки), позволяя сосредоточиться на оптимизации конкретной системы. Все задачи носят весьма конкретный характер. В них присутствует не только постановка задачи, но и конкретные условия работы того или иного применения, включая величину механической нагрузки, режим работы и рабочий цикл механизма.

Читая учебник и решая задачи из Задачника, можно освоить процесс задания параметров механизмов и компонентов системы для четырех предложенных

применений и получить практические навыки оптимизации систем. Одна из задач курса – научить студента искать и находить "рабочие" топологии для разных задач. Студенту предлагаются те же альтернативы, с которыми сталкиваются проектировщики в реальной жизни, например:

- выбрать тип электрической машины;
- перейти от низкого напряжения к высокому;
- использовать механический редуктор или нет.

В задачи включено сравнение систем по ключевым показателям качества, оптимизация систем по цене, весу, КПД, занимаемому пространству. Кроме того, даются знания об основных компонентах систем: электрических машинах, механических редукторах, преобразователях частоты и трансформаторах.

III. ПРИМЕРЫ ЗАДАЧ

В данном разделе приведены примеры решения задач онлайн курса студентами кафедры электромеханики, электрических и электронных аппаратов НИУ «МЭИ». Отчет по каждой задаче может быть весьма объемным. Здесь приведены основные результаты, демонстрирующие возможности онлайн курса.

A. Исследование влияния выбора номинального напряжения на размер и стоимость машины

Для электромеханической системы, содержащей электрическую машину (ЭМ) и преобразователь частоты, требуется оценить влияние выбора номинального напряжения на размер и стоимость машины. Исследование проводится для насосной системы, обеспечивающей подъем воды на высоту 200 м с КПД 85%, номинальной частотой вращения 2950 об/мин и расходом 85, 105, 145 и 200 л/с.

В качестве приводного двигателя насоса выбран асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, метод охлаждения IC411, класс эффективности IE4, исполнение по степени защиты IP21. Система получает питание от сети переменного тока. Рассматриваются варианты исполнения системы с номинальным напряжением ЭМ и преобразователя 400 В, 690 В, 3000 В и 6000 В. Для всех вариантов сохраняется тип машины, метод охлаждения, класс эффективности и т.д.

Для решения данной задачи в разделе «насосы» выбрана схема «Привод с переменной частотой вращения», которая обеспечивает непосредственное соединение двигателя с валом насоса, а преобразователя частоты – с сетью питания. На рис. 2 показана схема привода насоса, содержащая собственно насос, электрический двигатель, соединительный кабель, преобразователь частоты, автоматический выключатель и сеть переменного тока.

Режим работы выбранной системы можно установить с помощью параметров насоса и сети, взятых из задания.

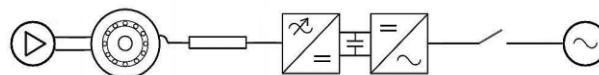


Рис. 2. Схема привода насоса с переменной частотой вращения.

Для заданных параметров насоса и сети программа предложит подходящие компоненты из каталогов. Пользователь может уточнить выбор каждого компонента (тип двигателя и преобразователя), чтобы окончательно сформировать систему электропривода.

После выбора всех компонентов программа строит механические характеристики насоса и двигателя на основе имеющихся данных из встроенных каталогов (рис. 3), по которым можно оценить правильность выбора компонентов, а также представляет подробную информацию по каждому из выбранных компонентов.

На основании полученных данных построены зависимости стоимости и массы выбранного электродвигателя от номинального напряжения (рис. 4), а также зависимости наружного диаметра и осевой длины двигателя (характеризуют габариты машины) от номинального напряжения (рис. 5).

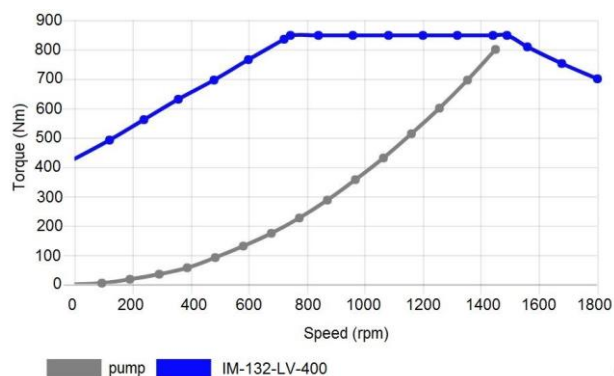


Рис.3. Механические характеристики насоса и электрического двигателя.

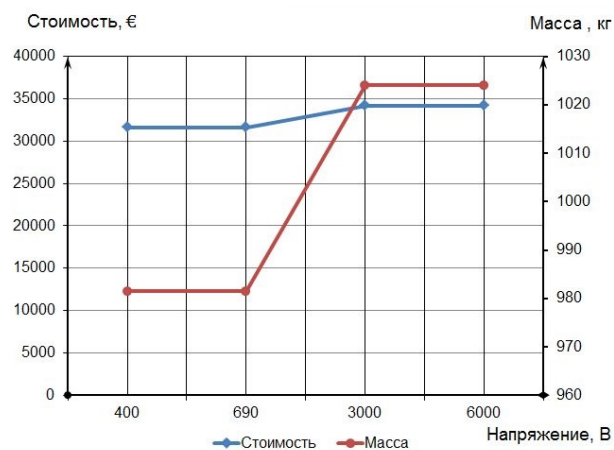


Рис.4. Зависимость стоимости и массы двигателя от уровня напряжения.

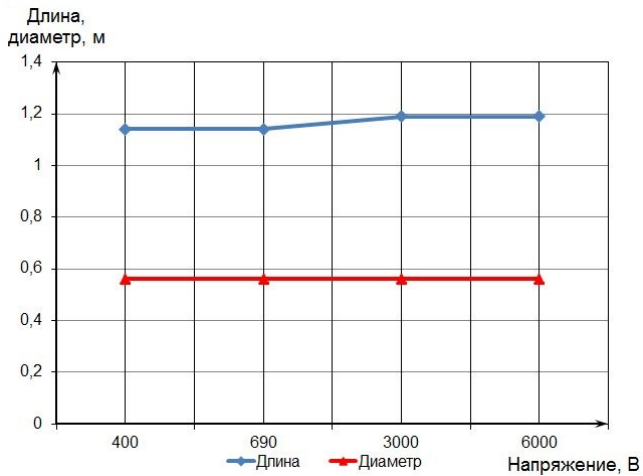


Рис. 5. Зависимость наружного диаметра и осевой длины двигателя от уровня напряжения.

На основании полученных зависимостей можно сделать вывод о том, что выбор более высокого номинального напряжения электродвигателя приводит к увеличению его стоимости, массы машины и осевой длины. В целом, массогабаритные показатели двигателя ухудшаются, что связано с увеличением толщины изоляции в машинах, рассчитанных на высокое напряжение, и соответствующее удорожание.

В. Исследование влияния номинальной частоты вращения на массогабаритные показатели двигателя

Для привода конвейера с моментом нагрузки 9 000 Нм и максимальной частотой вращения барабана 230 об/мин необходимо построить систему прямого привода и сравнить ее приводами, использующими редуктор с передаточными отношениями 4, 6 и 12. В качестве приводного двигателя используются синхронные двигатели с постоянными магнитами, имеющие разную номинальную частоту вращения. В качестве редукторов выбираем из каталога одноступенчатый редуктор (передаточные отношения 4 и 6) или двухступенчатый (передаточное отношение 12). Соответствующие схемы электропривода показаны на рис. 6 (вариант 1 и 2).

В случае прямого привода используется двигатель с синхронной частотой вращения 300 об/мин. Его вес составляет 4625 кг, стоимость 120995 Евро. При этом общий вес системы составляет 4965 кг, а общая стоимость – 144978 Евро.

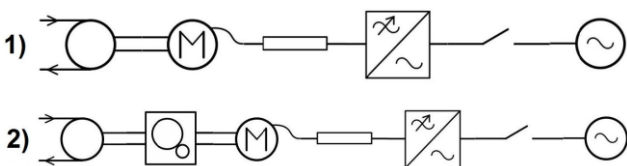


Рис. 6. Схема привода: 1 – прямой привод; 2 – редукторный.

Во втором варианте системы при выборе редуктора с передаточным отношением 4 используется двигатель с

частотой вращения 1500 об/мин. Его вес составляет 1691 кг, стоимость – 45481 Евро. Налицо существенное снижение веса и стоимости двигателя. Однако, система содержит теперь редуктор. Поэтому общий вес системы составляет 2623 кг, общая стоимость – 96447 Евро. Как видим, и общий вес и стоимость системы с редуктором снизились по сравнению с прямым приводом.

Результаты рассмотрения всех четырех вариантов представлены на рис. 7-8. На них вариант 1 соответствует прямому приводу, вариант 2 – редукторный привод с передаточным отношением 4, вариант 3 соответствует передаточному отношению 6, вариант 4 – передаточному соотношению 12.

Увеличение частоты вращения электродвигателя настолько существенно снижает его габариты, вес и стоимость, даже добавление в систему все более сложного редуктора не отражается на общем радикальном снижении цены и веса всей системы. Только в случае использования двухступенчатого редуктора общая стоимость начинает расти за счет высокой стоимости такого редуктора (его стоимость почти вдвое выше стоимости одноступенчатого редуктора).

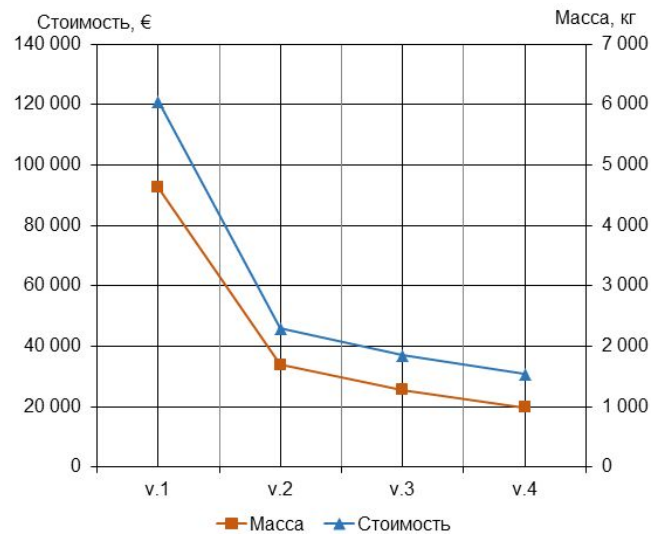


Рис. 7. Стоимость и вес привоного двигателя.

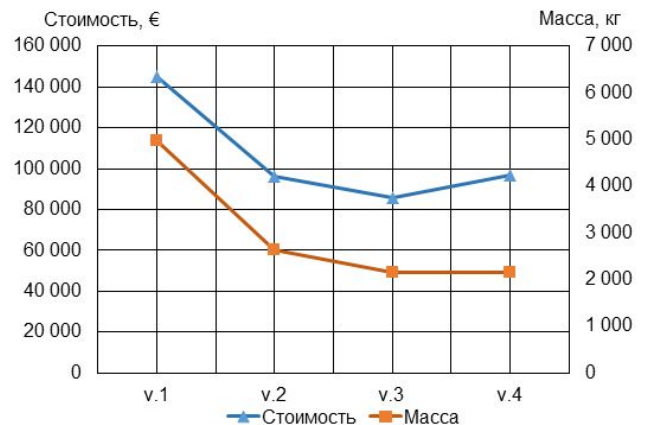


Рис. 8. Стоимость и вес всей системы электропривода.

Поскольку параметры конвейера остаются неизменными, вариант прямого привода представляется наименее привлекательным. Использование редуктора явно предпочтительно, а из всех вариантов привода с редуктором целесообразно выбрать третий вариант – с передаточным отношением, равным 6. Этот вариант обеспечивает малый вес и самую низкую стоимость системы электропривода.

С. Исследование влияния класса эффективности электродвигателя на стоимость жизненного цикла

Задачей исследования является оценка перспективности замены старого электродвигателя в приводе насоса на новый с повышенным классом эффективности IE3 или IE4. В качестве критерия используется расчет стоимости жизненного цикла всей системы за срок 5 или 10 лет при фиксированной стоимости электроэнергии 0,07 или 0,20 Евро/кВтч. При этом сам насос и его нагрузка остаются неизменными. Поскольку 70% времени насос работает при нагрузке 25% от номинальной и только 30% времени – при полной нагрузке, необходимо учитывать в расчете стоимости жизненного цикла КПД и потери при частичных нагрузках.

Стоимость жизненного цикла электромеханической системы включает в себя капитальные затраты (отсутствуют в случае использования старого двигателя) и операционные расходы, в которых здесь учитывается стоимость потребленной электроэнергии. Предполагая, что мощность и режим работы насоса неизменны, можно рассчитать стоимость потребленной электроэнергии на основании данных о КПД спроектированной системы при частичных нагрузках. Здесь вариант 1 предполагает использование старого двигателя с классом эффективности IE2, вариант 2 отличается установкой нового двигателя с классом эффективности IE3, а вариант 3 – двигателя с классом эффективности IE4 (наиболее дорогой двигатель).

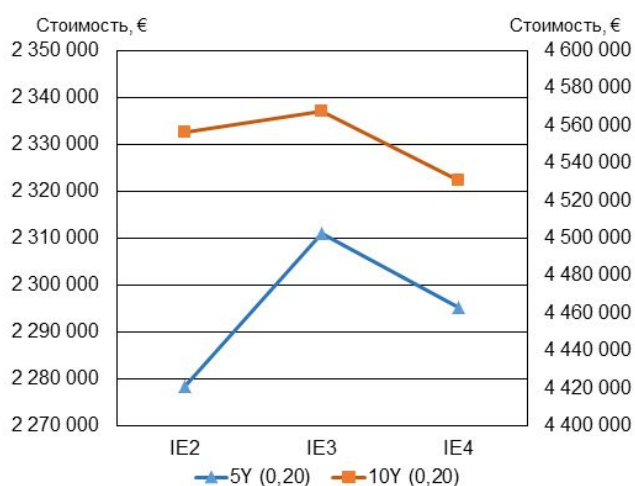


Рис. 9. Стоимость жизненного цикла за 5 и 10 лет при цене электроэнергии 0,20 Евро/кВтч.

Несмотря на то, что при низкой цене электроэнергии целесообразно сохранить старый, неэффективный двигатель, рис. 9 показывает, что при цене 0,20 Евро/кВтч энергоэффективный двигатель быстро окупается.

IV. ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ В НИУ «МЭИ»

В настоящее время в НИУ «МЭИ» на кафедре Электромеханики идет тестирование представленного в данной статье онлайн курса. В нем участвуют студенты кафедры, выполняющие НИР в рамках магистерской подготовки. Результаты тестирования показывают высокий научный и технический уровень подготовленного курса; его ориентированность на самостоятельную работу студентов с обширной базой данных; явный интерес, проявляемый студентами к материалу курса. Также надо отметить системность подхода: все студенты ощутили потребность в дополнительном изучении материалов по смежным специальностям с целью получения хорошо сбалансированной системы электропривода.

Анализ результатов самостоятельной работы ряда студентов с этим курсом выявил потребность в проведении дополнительных занятий по вопросам соответствия технических терминов на разных языках.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Преимуществами данного онлайн курса являются его доступность, наличие необходимых теоретических сведений в удобном электронном учебнике и его готовность к применению для обучения благодаря большому числу разнообразных заданий в задачнике.

Наличие четырех «применений» позволяет ознакомиться с электроприводом, используемым для выполнения поставленных задач, а также почувствовать особенности выбора электропривода, удовлетворяющего отличиям друг от друга нагрузочным характеристикам и режимам работы нагрузочных механизмов.

Разнообразие топологий схем электропривода, а также режимов работы (генераторы в ветряных и приливных энергетических установках) помогает студентам понять принцип их построения, а также оценить влияние каждого компонента схемы на выходные параметры.

Представленный онлайн курс наглядно иллюстрирует принцип действия и функции электропривода, а также упрощает выбор необходимых компонентов. Дальнейшее внедрение курса в образовательную программу позволит студентам технических направлений расширять теоретические знания и практические навыки в исследуемом направлении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Innovative engineering college “42 SILICON VALLEY” [электронный ресурс]: офиц.сайт. URL: <https://www.42.us.org/> (дата обращения 25.03.2018).
- [2] GitBook – a modern and simple solution to documentation, digital writing and publishing [электронный ресурс]: офиц.сайт. URL: <https://www.gitbook.com/> (дата обращения 25.03.2018).

Таблицы EXCEL как простой интерфейс комплексных авторских информационных систем массовой поддержки преподавания и изучения языковых дисциплин.

На примере WORD, GIFT, СДО MOODLE и тренажеров QUIZLET

Посвящается памяти С.Л.Эльсгольца.

П.Г.Матухин
Филологический факультет, РУДН
Москва, Россия
О.А.Грачева,
ФРЯиОД, РУДН
Москва, Россия
Е.А.Провоторова,
Филологический факультет, РУДН
Москва, Россия

Н.В.Комиссарова
Юридический факультет
МГУУ
Москва, Россия

О.В.Салтыкова
ООО СП «Содружество»
Дубна, Россия

Аннотация — Рассмотрена общая схема информационной системы преподавателя языковых дисциплин. Схема включает редактор WORD, корпоративную СДО MOODLE и специализированный языковой тренажер QUIZLET. В качестве интерфейса выбран табличный процессор EXCEL. Приведены элементы технологии подготовки тестов по русскому языку физической науки как иностранному путем трансформации исходного списка в GIFT файл и импорта в БАНК MOODLE и языковой модуль QUIZLET.

Ключевые слова — инженерные направления, иностранные слушатели, русский язык физики как иностранный, тестирование, MOODLE, QUIZLET, WORD, EXCEL, GIFT, информационная система преподавателя.

I. ВВЕДЕНИЕ

Вследствие массового распространения мобильных средств и технологий доступа в интернет преподавателю языковых дисциплин для слушателей инженерных направлений подготовительного отделения сегодня необходимо ориентироваться на программы, допускающие их использование как на стационарных компьютерах, так и на мобильных устройствах. Авторские продукты преподавателя являются мощным дополнением корпоративных систем управления обучением общего назначения типа СДО MOODLE и специализированных сред языкового тренинга типа QUIZLET. Не существует единого стандарта обмена данными между обучающими

программами. Необходимо создавать специальные технологии, позволяющие унифицировать учебные материалы так, чтобы избежать лишних затрат в ходе операций ввода образовательного контента в системы. В настоящей статье представлены некоторые результаты изучения проблем формирования авторских информационных систем преподавателей языковых дисциплин. В первую очередь это задачи подготовки тренинговых компонент курса и инструментов контроля уровня освоения контента образования - тестов. Рассмотрено использование таблиц EXCEL как базовой формы интерфейса. Предложена унифицированная схема и сквозная технология подготовки таблиц для импорта наборов тестовых вопросов в среду QUIZLET и для подготовки файлов для импорта в банк вопросов MOODLE в формате GIFT.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Развитие традиционных связей Российской Федерации с иностранными государствами, включение в сферу этих отношений множества новых государств, новые направления политики РФ в секторе укрепления позиций русского языка в мире приводят к увеличению числа иностранных граждан, прибывающих в российские вузы для получения высшего образования. Также интенсивно формируется и растет контингент иностранцев, изучающих русский язык по месту пребывания на базе образовательных учреждений, Центров российской науки и культуры или дистанционно. В соответствии с законами

РФ все они должны перед началом обучения в вузе, в ходе обучения, или начиная развивать свой бизнес в России, приобрести начальные языковые компетенции по русскому языку как иностранному (РКИ) [1,2]. В России реализуется комплекс мер, направленных на поддержку изучения русского языка как иностранного в стране и за рубежом [3,4]. Для подтверждения уровня владения языком, иностранные граждане разных категорий должны пройти Государственную аттестацию по РКИ [5].

Кроме курса РКИ, иностранные слушатели подготовительных отделений и первых курсов инженерных и других направлений также изучают другие языки. В первую очередь английский. Он выступает в качестве языка международного общения, языка науки и современных информационных технологий. Для юридических и медицинских направлений это латинский язык. И другие языки мира – испанский, французский, португальский, китайский, и проч.

Особенностью обучения на подготовительном факультете и первых курсах бакалавриата состоит в том, что формирование и начальная интериоризация языковых компетенций реализуется в сжатые сроки. Это два или три семестра (триместра). В аналогичной ситуации находятся и российские студенты первых курсов инженерных и других направлений университета, реализующего профильные программы обучения, куда входит расширенная языковая подготовка будущих специалистов. Как правило, обучение языкам проходит в смешанных группах. В них встречаются обучающиеся, имеющие разный уровень подготовки как по изучаемому языку, так и по государственному языку образования в РФ – русскому. Такая ситуация приводит к необходимости предоставить студентам всех уровней возможность пройти подготовку в необходимых объемах. Это значит, что они должны быть обеспечены спектром пособий, реализующих уровневую схему подготовки. Ранее для этого использовались возможности компьютерных программ общего назначения – текстового редактора WORD, табличного процессора EXCEL, некоторых других [6]. Они разрабатывались на основе специальных учебных пособий [7,8]. Появление облачных хранилищ обеспечило полный доступ к авторским материалам преподавателя в любое время и из любой точки на базе современных мобильных устройств, систем телекоммуникации и информационных технологий класса BYOD (Bring Your Own Device) [9, 10]. В таком режиме широко используется система MOODLE, которая имеет развитую подсистему контроля активности обучающихся [11]. Но ее инструменты далеко не превосходят возможности специальных программ. Например, среда языкового тренинга QUIZLET, учитывает последние достижения методической науки, педагогических технологий, которые позволяют расширить спектр инструментов преподавателя [12].

Очевидно, что совместное использование корпоративных и специализированных интернет-ресурсов должно позволить получить синергетический эффект в смысле усиления поддержки образовательной активности обучающихся и повышения эффективности использования учебных ресурсов, что и является главной целью наших

исследований. В частности, это касается оптимизации распределения учебного времени за счет более рационального его планирования самими обучающимися. Осознание данного факта ставит выявляет необходимость решить ряд чисто практических проблем. В первую очередь это задачи рационального проектирования авторского информационного комплекса и технологического процесса обработки информационных компонент системы обучения языку. В данный перечень входят такие задачи, как

- Разработка общей структуры авторского комплекса поддержки обучения языку
- Изучение требований к составу и организации информационных компонент
- Определение возможностей совместного использования основной системы контроля обучения и дополнительных приложений
- Выбор компонент дополнения
- Разработка схемы и форматов передачи информационных компонент в системе
- Подготовка и настройка вспомогательных утилит автоматизации преобразования и передачи информационных компонент в системе
- Разработка методики и технологии применения авторской системы в обучении языку
- Проведение методических занятий и внедрение системы в практику преподавания.

Особенностью описываемого подхода является требование обеспечить массовость производства и преобразования информационных компонент. Это обусловлено необходимостью широкого варьирования данных продуктов. Отсюда также вытекает требование гибкости технологии трансформации массивов информации на всех этапах обработки. Отметим, что мы не ставим задачу полной автоматизации всей технологии. Предполагается как использование встроенных функций ресурсов, так и некоторый объем ручных операций. В частности, это обусловлено необходимостью контроля промежуточных результатов, который невозможно реализовать простыми средствами, а разработка специальных программ требует слишком больших затрат. Мы предлагаем путь оптимального сочетания средств автоматизации и работы оператора. Следует заметить, что в роли оператора выступает именно преподаватель, который разрабатывает и в последующем применяет собственную систему.

Ввиду ограниченности объема настоящей работы мы сконцентрируемся на этапе подготовки исходных данных для авторской системы. Это массивы кортежей тестовых вопросов для тренажеров и подсистемы контроля обученности. Задача состоит в подготовке технологии трансформации исходного массива тестовых вопросов в файлы, пригодные для загрузки в основную и дополнительную системы с минимальным числом операций. Технология должна быть эффективной и достаточно простой для понимания и освоения преподавателем языковых дисциплин. Последние, как правило, не являются профессионалами в области программирования, но обладают квалификацией на уровне

пользователя компьютера продвинутого уровня. Технология должна позволять формировать наборы тестовых комплектов для обучающихся с разным уровнем подготовки на базе одного исходного набора. Исходный набор может быть подготовлен в формате таблицы документа Word или EXCEL, с которыми преподаватели, прошедшие подготовку на курсах повышения квалификации, достаточно хорошо знакомы.

III. МЕТОДИКА

Методической основой разработки являются классические принципы конструирования информационных систем образовательного назначения [13]. Общая структура авторского комплекса определяется двумя факторами. Во-первых, это необходимость использования корпоративной университетской системы контроля учебного процесса. Во-вторых – недостаточная оснащенность данной системы специализированными инструментами поддержки обучения языкам. В качестве основной системы мы рассматриваем СДО MOODLE, которая прекрасно зарекомендовала себя в этом качестве и широко распространена в среде учреждений высшего образования. Примером дополнительного компонента в нашем случае выступает облачная среда языкового тренинга QUIZLET. Предполагается, что в дальнейшем число дополнительных компонент будет увеличено, поскольку на рынке продуктов образовательного назначения наблюдается взрывной рост.

СДО MOODLE имеет развитую подсистему тестирования. Стандартно исходные данные, которыми являются наборы вопросов и ответов для теста, формируются при помощи ручного ввода через интерфейс встроенного конструктора. Это требует довольно больших затрат ручного труда и времени. MOODLE имеет большой набор инструментов импорта-экспорта, она позволяет автоматически загружать целые курсы или отдельные модули в спецификациях SCORM, BLACKBOARD и т.п. В то же время линейка этих опций не охватывает всего разнообразия форматов, используемых для представления информации в ряде частных случаев. Также для их применения требуется специальное программное обеспечение и профессиональная подготовка операторов, что не доступно для рядовых преподавателей гуманитарных направлений, обладающих в лучшем случае базовыми навыками пользователей прикладных программ общего назначения – редактора WORD, процессора EXCEL. Для них требуется разработка простых технологий, позволяющих загружать имеющиеся массивы тестов при минимальных затратах труда и отсутствии профессиональной квалификации программиста.

В такой ситуации выход состоит в том, что система MOODLE позволяет импортировать данные тестовых материалов, подготовленные в определенном формате в виде обычного текстового файла. Одним из таких форматов является GIFT – General Import Format Template. Он представляет собой специальный язык разметки тестовых материалов, ориентированный на wiki-технологии для MOODLE. Исходная версия языка была

разработана в 2003 году. Разработчик – Paul Shew [14]. GIFT удобен ввиду его простоты и универсальности.

Первым достоинством GIFT является то, что для предварительной подготовки набора тестовых вопросов достаточно оформить их в виде таблиц. Строками таблиц являются кортежи вопросов. Кортеж состоит из номера вопроса, формулировки и набора вариантов ответов [11]. Оговоримся, что в данной работе мы рассматриваем лишь вопросы типа «Викторина». Это вопросы, предполагающие выбор одного верного варианта из набора предложенных. Для формирования кортежей могут быть использованы таблицы WORD или сразу таблицы EXCEL. Как правило, такие наборы на данный момент уже имеются практически у каждого преподавателя [15,16]. Значит, их подготовка не требует дополнительных затрат времени и сил. Если же вопросы сформированы в виде списков документа Word, то их можно достаточно просто преобразовать в таблицы при помощи программы Таблица. Она находится в группе меню Вставка. Запускается командой «Преобразовать → Текст в таблицу».

Вторым аргументом в пользу GIFT является простота процесса разметки. Основной операцией является вставка дополнительных колонок в таблицу кортежей вопросов и заполнение их символами разметки. Данная операция может быть легко проделана как вручную, так и при помощи простых макросов или небольшой программы на языке VBA-Excel. Вставка столбцов и копирование символов разметки даже в ручном варианте технологии делаются механически. Поэтому затраты времени на эти операции практически не зависят от количества вопросов в наборе. Именно данный факт является аргументом в пользу эффективности применения такого рода простых технологий для формирования массовых тестов.

Массовые тесты отличаются большим числом вопросов, их в наборе может быть десятки или сотни. Данный аспект особенно важен для языковых дисциплин. В первую очередь на этапе освоения лексики. Требования ГОСТ системы Тестирования по русскому языку как иностранному (ТРКИ) устанавливают конкретные объемы лексического минимума для каждого уровня владения русским языком как иностранным (см. Таблицу) [18].

Таблица 1. ЛЕКСИЧЕСКИЕ МИНИМУМЫ ГОСТ ТРКИ

№	Уровни ГОСТ ТРКИ и лексические минимумы		
	Уровни ТРКИ	Лексический мин.	
		Общий	Актив.
1	ТЭУ/А1/Элементарный	780	
2	ТБУМ/А1/Базовый для мигрантов	850	
3	ТБУ/А2/Базовый	1300	
4	ТРКИ-I/В1/ I сертификационный	2300	
5	ТРКИ-II/В2/ II сертификационный	10000	6000
6	ТРКИ-III/С1 III сертификационный	12000	7000
7	ТРКИ-IV/С2/VI сертификационный	20000	8000

Как видно из таблицы, для уровней А1, А2 и В1, освоение которых является целью подготовки иностранных граждан для обучения по инженерным и другим направлениям, объемы лексики составляют от нескольких сотен до более 2000 единиц. Именно четкое определение количественных показателей ГОСТ придает

нам оптимизма в плане использования компьютерных технологий в сфере преподавания таких сложных дисциплин как РКИ [19]. Относительно других языков мы наблюдаем аналогичную ситуацию. Практически в каждой стране имеется система уровней, аналогичная российской системе ГОСТ РКИ.

Конечно, в ходе аудиторных занятий охватить весь этот, пусть даже ограниченный, объем практически невозможно. Поэтому преподаватель должен обладать техникой создания информационных продуктов поддержки самостоятельной работы студентов над вокабуляром в автоматизированном режиме удаленно. Большие массивы типовых вопросов, подготовленные в компьютерной форме, позволяют охватить практически весь объем лексического материала. В этом главное преимущество авторских электронных продуктов над печатными. Последние, имея высокий уровень методической проработки, все же ограничены в объемах и содержат в основном примеры тестовых наборов [20].

Реализация контрольно-измерительных инструментов в интерактивных формах, которыми оснащены системы MOODLE и QUIZLET предназначены для тренинга, самоподготовки и для формирования контрольных тестов путем случайной выборки заданного количества из основного набора. Такие функции имеются в составе опций этих систем. Каждая из них предъявляет свои требования к исходным данным. При унификации формы представления исходных массивов кортежей можно обеспечить значительное сокращение времени и сил на подготовку тренажеров и экземпляров различных тестов в этих системах. Имея подготовленные соответствующим образом исходные таблицы наборов вопросов и GIFT-файлы, мы можем далее применить инструменты QUIZLET и MOODLE для импорта их в эти системы.

Отметим, что решение таких задач вполне под силу преподавателю языковых дисциплин, обладающему навыками продвинутого пользователя. В ряде случаев ему требуется поддержка специалистов по информационным технологиям. Представленные здесь результаты получены как результаты межпредметных проектов преподавателей языковых и компьютерных дисциплин [21,22, 23].

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследования и практическая отработка вопросов, перечисленных выше, позволили разработать общую схему авторской информационной системы преподавателя языковых дисциплин. В ее состав входят корпоративная СДО и специализированные приложения (см. Рис.1). Выше было отмечено, что мы не предполагаем полную автоматизацию всех операций. Практика показала, что оптимальным решением является рациональное сочетание возможностей ресурсов и ряда ручных операций. Ключевым моментом выступает эффективное использование труда преподавателя-разработчика. В основе схемы лежит принцип универсальности формы представления данных системы. Форма представления данных выполняет роль интерфейса, общего для всех компонент авторского комплекса. В определенном смысле

это аналог протокола передачи данных в любой компьютерной системе. У нас такой протокол представляет собой таблицу кортежей вопросов. Важно, что табличная форма обеспечивает повышенную безопасность информации. Контент информационного компонента защищен от случайных ошибок. При любых трансформациях таблицы исключено возникновение опечаток, удаление или внесение посторонних символов.

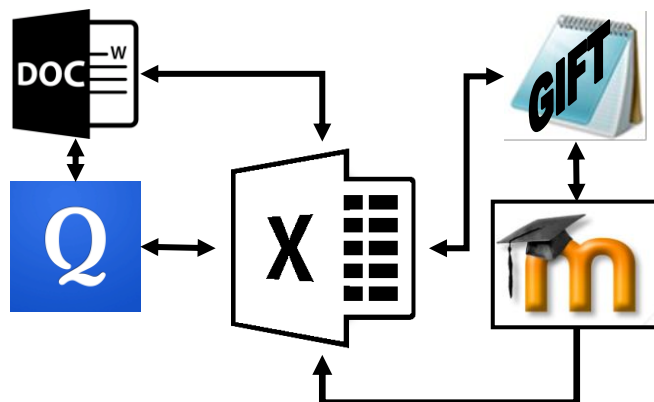


Рис. 1. Информационные потоки комплексной информационной системы преподавателя языковых дисциплин.

Опираясь на стандарт GIFT, мы принимаем соответствующую структуру заготовки кортежа вопроса. Кортеж заготовки это последовательность, включающая

1. Заголовок вопроса
2. Формулировка вопроса
3. Правильный ответ
4. Набор неверных вариантов ответа.

В качестве заголовка вопроса может выступать краткий комментарий. Рекомендуется длиною одно-два слова. Мы использовали нумерацию вопросов. Можно упорядочить набор вопросов, отсортировать. Формулировка вопроса может быть произвольной. Удобно сделать формулировку максимально стандартизированной. Это дает возможность конструировать вопросы путем конкатенации стандартной и вариативной частей и облегчает тестируемым чтение вопроса. Они сосредотачиваются на реме формулировки, если тема общая. Это также экономит время и усилия при освоении лексики. Верный вариант ответа должен занимать первое место в списке. Общее число вариантов мы обычно принимаем равным 4, следуя общепринятой практике. Особенность языковых дисциплин состоит в том, что типично исключение из этого правила. Например, при изучении форм неправильных английских глаголов возможны всего 3 варианта. В РКИ изучаются падежи существительных, число которых равно 6. Следствием является то, что мы предпочли отказаться от создания универсального программного интерфейса и сохранили ручные операции в общей технологической цепи. Неверные варианты ответов кортежа располагаются за верным произвольно. Они рандомизируются конструктором тестов MOODLE автоматически.

Описанная схема табличного интерфейса не требует каких-либо дополнительных трансформаций для импорта в QUIZLET. Импорт в эту среду проводится при помощи

встроенной опции. Достаточно скопировать колонки Вопрос и Верный ответ таблицы EXCEL и вставить их в приемное окно конструктора модуля QUIZLET. Все тренажеры программа готовит автоматически. Преподаватель должен порекомендовать студентам правильный порядок самостоятельной работы с ними или организовать работу в аудитории.

Импорт набора вопросов в среду MOODLE требует нескольких дополнительных действий. Первым из них является разметка кортежа специальными символами:

1. Заголовок ограничивается двойными двоеточиями «::» с двух сторон.
2. Подкортеж ответов заключается в фигурные скобки «{.....}».
3. Верный ответ помечается знаком «=>», который ставится перед ним.
4. Перед неверными ответами ставится знак «~»

Пример фрагмента готового модуля GIFT показан на рисунке. Он представляет текстовый файл, в который скопирован результат трансформации размеченного при помощи управляющих символов массива таблицы вопросов. Для его формирования применяется команда конкатенации текстовых строк EXCEL СЦЕПИТЬ(). В таком виде GIFT файл готов к вводу в среду MOODLE при помощи команды ИМПОРТ из набора БАНК.

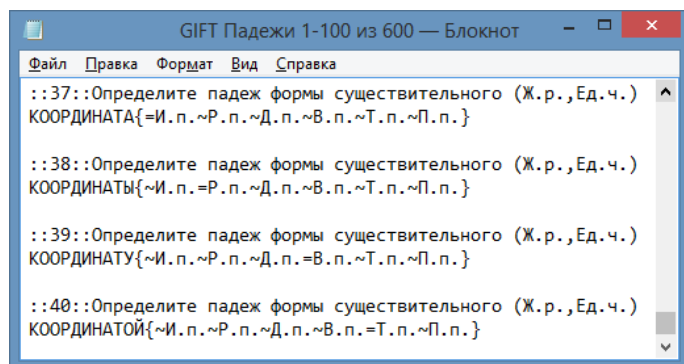


Рис. 2. Фрагмент GIFT файла теста по Русскому языку физики.

Общий алгоритм, реализующий описанную схему:

1. Подготовка исходного набора вопросов и ответов викторины при помощи редактора WORD.
2. Преобразование набора вопросов в таблицу при помощи опции ТАБЛИЦА.
3. Экспорт таблицы на рабочий лист EXCEL.
4. Копирование пары столбцов Вопрос-Верный ответ и импорт в приемник модуля QUIZLET.
5. При необходимости – формирование колонок неверных ответов в таблице EXCEL.
6. Вставка колонок для символов разметки GIFT.
7. Заполнение колонок символами GIFT.
8. Конкатенация ячеек кортежа.
9. Вставка пустых строк между строками кортежей.
10. Копирование кортежей в текстовый файл.
11. Сохранение текстового файла в кодировке UTF-8.

Пункты 1-3 используются, если исходный материал готовится в редакторе WORD. Если он вводится сразу в таблицу EXCEL, их можно пропустить. Пункт 5 выполняется, если в исходном наборе нет заранее подготовленных вариантов неверных ответов. Например, если их можно сформировать путем подстановки ответов из соседних строк. Для этого можно записать простой макрос. Он выполняет такую работу за несколько секунд. Пункт 11 обязательно использовать, если в вопросах употребляется язык, отличный от английского.

Описанная технология используется для подготовки исходных файлов тренажеров QUIZLET и наборов тестов MOODLE. Помимо простоты и гибкости она привлекательна еще и тем, что с ее помощью мы можем достаточно просто конструировать самые разнообразные интерактивные средства поддержки обучения языкам. Так, например, она эффективна при последовательном изучении РКИ по схеме нескольких уровней. В соответствии с данной схемой обучающиеся в первом триместре осваивают основы языка на уровне А1, во втором на уровне А2, в третьем на уровне В1. Для обучения на уровне А2 и В1 преподаватель может создавать наборы путем дополнения готовых модулей кортежей предыдущего уровня новыми вопросами. Таким образом, в частности, реализуется принцип наследования в обучении. Без использования возможностей компьютерных технологий проконтролировать, насколько усвоенное на предыдущем уровне зафиксировано в активном словаре обучающихся было затруднительно. Интеграция же ранее пройденного в новые модули позволяет одновременно пройти повторение всего материала, но уже на новом уровне

V. ВЫВОДЫ

Представленный в настоящей работе подход к формированию авторских обучающих систем преподавателей иностранных языков позволяет говорить о том, что обладающий навыками опытного пользователя компьютера разработчик имеет возможность значительно расширить перечень своих программных инструментов. Необходимость совместного использования корпоративных и дополнительных приложений актуализирует задачу конструирования таких форм представления учебной информации, которые были бы максимально универсальны с точки зрения их пригодности для использования всеми приложениями. Поскольку разработка универсальной программы требует значительных затрат, то вполне разумно обратить внимание на частичное применение ручных операций формирования наборов данных. Применение в качестве интерфейса авторских информационных систем образовательного назначения таблиц, содержащих кортежи вопросов, позволяет эффективно оперировать учебным материалом. Одновременно табличная форма гарантирует безопасность информации, образующей контент тестового массива, поскольку при трансформации таблиц как цельных информационных объектов исключаются операции ручного копирования отдельных вопросов или их частей, которые зачастую приводят к

появлению ошибок, потерь фрагментов текста и т.п. В результате освоения и применения описанной здесь технологии преподаватель, не являющийся профессионалом в области программирования, имеет возможность в большей мере сосредоточить свои усилия на творческой компоненте процесса разработки образовательного контента языковой дисциплины.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы посвящают настоящую работу памяти нашей коллеги Светланы Львовны Эльсгольц, доц. Каф. Физики ФРЯиОД РУДН. С.Л. Эльсгольц была инициатором и активным участником исследований по разработке и применению авторских информационных систем преподавателей для обучения иностранных слушателей подготовительного факультета инженерных и других направлений. Под ее руководством и в соответствии с ее идеями выполнен ряд исследований, результаты которых использованы в преподавании физики, информатики, русского языка физической науки как иностранного и др.

Представленная разработка была поддержана рядом коллег и организаций. Авторы выражают признательность руководству и сотрудникам компании ВЕРКОНТ (Ген. директор А.И.Рубан) и ООО СП СОДРУЖЕСТВО (Директор Е.М.Ермошкина) за возможность участия в проекте по РКИ ФЦП ««Русский язык 2016-2020»», финансовую, организационно-логистическую поддержку и оперативные публикации. Особая благодарность руководству Институтов повышения квалификации преподавателей городов Ростов-на-Дону, Тамбов, Воронеж и РЦНК г. Ереван и слушателям курсов за теплый прием, внимание и конструктивное обсуждение. Отдельно благодарим директора Американского центра (Москва) К.Глисон за содействие в представлении материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Закон РФ «Об образовании в РФ» №. 273-ФЗ от 29.12.2012
- [2] Закон РФ «О статусе русского языка» №. 53-ФЗ от 01.06.2005
- [3] Концепция Государственной поддержки и продвижения Русского языка за рубежом (Одобр. Президентом РФ 03.11.2015 №Пр-2283).
- [4] Постановление Правительства РФ от 20.12.2014 №. 2647-р «О принятии концепции ФЦП ««Русский язык 2016-2020»»
- [5] Комиссарова Н.В., Матухин П.Г., Грачева О.А., Салтыкова О.В. Комплект пособий для подготовки к ТРКИ. Ч.1. Нормативно-правовые основы обучения и тестирования иностранных граждан по РКИ на базе РЦНК за рубежом.// Хроники ОФЭНИО, - 2017, №9(100). – М.: ИНИМ РАО.
- [6] Matukhin P. G., Elsgolts S. L., Pevnitskaya E. V., Gracheva O. A., Provotorova E. A. Multimedia Tutorial In Physics For Foreign Students Of the Engineering Faculty Preparatory Department// Mechanics, Materials Science & Engineering – V.2, October 2015.
- [7] Грачёва О.А. и др. Лексико-грамматический минимум в системе упражнений. Классификация. Измерение. Процесс. (Научный стиль речи, технический профиль): Учебное пособие по русскому языку для студентов-иностранцев. – 2-е изд, перераб. и доп. – М., 2015.
- [8] Грачёва О.А. и др. Русские глаголы в физике: Справочник для студентов-иностранцев подготовительных факультетов вузов. – 2-е изд., испр. – М.: РУДН, 2013.
- [9] Matukhin P.G., Elsgolts S.L., Gracheva O.A., Pevnitskaya E.V. MS SkyDrive as a Platform for On-line Multimedia Manual for Pre-University Training of Foreign Students with Elements of Smart Technologies// Proc. of the Int. Sci. Conf "IT for Engineering

- Education" (Moscow, MPEI, April 15-16,2014). - М.: MPEI Publishing, 2014. - pp. 393-397.
- [10] Эльсгольц С.Л., Провоторова Е.А., Матухин П.Г., Грачева О.А., Певницкая Е.В. Перспективы использования BYOD-технологий в WIKI-проектах для образовательной, языковой, предметной и ИТ-адаптации иностранных студентов. // Международный научно-практический семинар "Преподавание общеобразовательных предметов на русском языке в иноязычной аудитории". Сборник материалов. ИРЯиК МГУ им. М.В.Ломоносова, 22 мая 2014 г. - М.: Ред.-изд. совет ИРЯиК МГУ, 2014. - С.148-157.
 - [11] Грачёва О.А., Матухин П.Г. Инновационные элементы в обучении иностранных слушателей базовому языку физики на основе облачного ресурса ONEDRIVE и СДО MOODLE в мобильном режиме// Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные вопросы реализации образовательных программ на подготовительных факультетах для иностранных граждан» (ИРЯиК МГУ, 16–18 мая 2016 г., г. Москва): Сборник статей / Отв. ред.: М.Н. Русецкая, Е.В. Колтакова. – М., 2016. – 584 с.: ил
 - [12] Kh.E.Ismailova, K.Gleason, P.G.Matukhin, E.A.Provotorova. The Use of Online Quizlet.com Resource Tools to Support Native English Speaking Students of Engineering and Medical Departments in Accelerated RFL Teaching and Learning. // Mechanics, Materials Science & Engineering – V.7, December 2016.
 - [13] Башмаков А.И., Башмаков И.А. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем. – М.: Информационно-издательский дом «ФИЛИНЪ», 2003. – 616 с.
 - [14] [https://en.wikipedia.org/wiki/GIFT_\(file_format\)](https://en.wikipedia.org/wiki/GIFT_(file_format))
 - [15] Грачева О.А., Эльсгольц С.Л., Матухин П.Г., Певницкая Е.В., Матяш Г.А. База вопросов, тренажеры, генератор тестов и комплект вариантов по русскому языку как иностранному для иностранных студентов-физиков: [Электронный информационно-образовательный ресурс]. – М.: ИНИМ РАО, 2013 г. HTTP://www.ofernio.ru/rto_files_ofernio/19358.doc.
 - [16] Герасимова А.В., Грачева О.А., Завадская О.А., Кузнецова Ю.В., Матухин П.Г., Певницкая Е.В., Ткаченко Д.И. Эльсгольц С.Л. Введение в курс физики. База тестов по русскому языку как иностранному (научный язык физики): электронный информационно-образовательный ресурс. – М.: ИНИМ РАО, 2013 г. HTTP://www.ofernio.ru/rto_files_ofernio/19355.doc
 - [17] Матухин П.Г., Грачева О.А., Эльсгольц С.Л., Певницкая Е.В. Табличная организация образовательного контента как основа BYOD комплекса поддержки и контроля обучения иностранных студентов физике и русскому языку физики на базе облачного ресурса MS OneDrive// Труды Международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования» ИНФОРИНО-2016. – М.: МЭИ, 1916 г.
 - [18] Владимиров Т.Е. и др. ГОСТ ТРКИ. Элементарный уровень владения РКИ. 2-е изд., - М., СПб: Златоуст, 28 с.
 - [19] Лексический минимум по РКИ (русский сертификатный уровень. Общее владение, 9-е изд., – СПб.: Златоуст, 2017.
 - [20] Типовые тесты по РКИ. Элементарный уровень. Общее владение. – СПб.: Златоуст, - 2016 г.
 - [21] Грачёва О.А., Матухин П.Г., Эльсгольц С.Л. Междисциплинарные ИТ-проекты в разработке УМП по русскому языку для физиков// Информатизация образования - М.: РУДН, – 2013. – №4. – С. 27–39
 - [22] Провоторова Е.А., Титова Е.П., П.Г.Матухин, Н.Н.Сарычева. Кооперированные ИТ-проекты как технология лингвокомпьютерного моделирования языкового профиля специалиста.//Сборник научных трудов «Современные технологии и тактики в преподавании профессионально-ориентированного иностранного языка». Вып. 1., М.: РУДН, 2013, стр.124 – 129.
 - [23] Титова Е.П., Провоторова Е.А., Матухин П.Г. Совместные предметно-языковые ИТ-проекты как элемент непрерывного развития ИКТ-компетентности преподавателей.// Мат. XXIII Межд. конференции-выставки «Информационные технологии в образовании», 2013 г., Ч. III, стр.26-28, Изд-во ф-та ВМК МГУ.
 - [24] Комиссарова Н.В. Обучение английскому языку через ИТ технологии и профессиональную коммуникацию // Сб. статей 21 межд. научно-практической конференции "Inspire and Aspire: Towards New Teaching Horizons". Екатеринбург: УГПУ, 2015

Многоуровневая подготовка химиков-технологов в междисциплинарной системе обучения с использованием дистанционных образовательных технологий

Савицкая Т.В., Егоров А.Ф., Михайлова П.Г., Дементенко А.В.
Кафедра компьютерно-интегрированных систем в химической технологии
Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева
Москва, Россия

Аннотация — Рассмотрена организация обучения химиков-технологов теоретическим знаниям, практическим умениям и навыкам решения типовых задач моделирования, проектирования, оптимизации и управления химико-технологическими процессами, системами и производством в междисциплинарной системе обучения с использованием дистанционных образовательных технологий, разработанной на кафедре компьютерно-интегрированных систем в химической технологии РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Ключевые слова — междисциплинарная система обучения, Moodle, подготовка химиков-технологов

I. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в учебный процесс вузов массово внедряются электронные образовательные ресурсы (ЭОР), электронные учебно-методические комплексы (ЭУМК) и дистанционные образовательные технологии (ДОТ) при подготовке студентов различных форм обучения. Этому способствует совершенствование нормативной базы и реализация приоритетных проектов Минобрнауки РФ, таких как «Современная цифровая образовательная среда в Российской Федерации» и государственная программа РФ «Развитие образования».

Основными тенденциями развития высшего образования, сформулированными в указанных выше документах, являются: повышение академической мобильности обучаемых и индивидуальных траекторий обучения; поэтапный переход к смешанному и сетевым формам обучения; создание благоприятных условий для обучения лиц с ограниченными возможностями; сокращение аудиторной нагрузки студентов и увеличение часов, отводимых на самостоятельную работу и др.

Эти тенденции обуславливают необходимость вовлечения все большего числа преподавателей вузов в деятельность, связанную с разработкой и использованием

в учебном процессе ЭОР, ЭУМК и ДОТ. Вместе с тем, практически повсеместное покрытие сети Интернет дает возможность использования ЭОР на различных мобильных устройствах и платформах в любое удобное студенту время. ЭОР и ЭУМК в инженерной подготовке выпускников, а фактически в многоуровневой подготовке бакалавриат-магистратура имеет свою предметную и профессиональную специфику, особенно при подготовке студентов технических и технологических специальностей.

Проведенный обзор информационно-образовательных ресурсов, представленных на открытых образовательных порталах и сайтах, таких как Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов (<http://www.fcior.edu.ru>), Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» (<http://window.edu.ru>), Автоматизированные лабораторные практикумы с удаленным доступом по общетехническому и специальным дисциплинам инженерного образования (<http://www.alpud.ru>) (МГТУ им.Н.Э.Баумана и МЭИ (ТУ)), центр дистанционного образования на базе Научного Парка МГУ им.М.В.Ломоносова (<http://de.msu.ru/>) и др. показал, что электронные образовательные ресурсы по химии и химической технологии представлены существенно в меньшем объеме, чем ЭОР по другим дисциплинам естественнонаучного и инженерного профиля: физика, инженерная графика, прикладная механика, электротехника и электроника и др. [1].

Так, все электронные образовательные ресурсы по химии для общего и среднего профессионального образования [<http://www.fcior.edu.ru/>] разработаны в Марийском государственном техническом университете. Все ЭОР разделены на информационные, практические и контрольные. Большинство ресурсов предоставляются бесплатно, для воспроизведения требуют установки на

компьютер проигрывателя ресурсов под Windows или Linux. ЭОР по химии и химической технологии для профессиональной подготовки студентов вузов на данном сайте не представлены.

В информационной системе «Единое окно доступа к информационно-образовательным ресурсам» (<http://window.edu.ru>) предоставляются доступы к электронным каталогам 192 библиотек вузов и нескольким десяткам сводных электронных каталогов библиотек регионов России. Для высшего профессионального образования по химической технологии и химической промышленности представлены 562 ресурса. Это: учебные пособия, методические указания к выполнению лабораторных работ, статьи в высоко рейтинговых отечественных и зарубежных изданиях. Данная система полезна для преподавателей вузов, однако использование отдельных ЭОР студентами требует адаптации под конкретные виды занятий и, особенно под лабораторные практикумы.

На сервере автоматизированных лабораторных практикумов с удаленным доступом (<http://www.alpud.ru>) имеется 2 практикума по машинам и аппаратам химических производств (разработчик – Пензенский государственный университет) и изучению процессов сульфирования на примере сульфирования мочевины (разработчик – Тамбовский государственный технический университет). Комплексные практикумы, включающие этапы математического моделирования процессов химической технологии на данном сайте не представлены. На сервере Центра дистанционного парка МГУ им. М. В. Ломоносова имеются демоверсии дистанционных подготовительных курсов для абитуриентов по химии, но для студентов материалы химического факультета не представлены.

Аналогичная картина крайне малой представительности образовательных ресурсов в виде онлайн-курсов по химии, химической технологии, а также компьютерного моделирования сложных химико-технологических процессов наблюдается и на международных платформах открытого образования: Курсера [www.coursera.org], Степик [www.stepik.org.ru] и др. На российской платформе открытого образования. Универсариум [www.universarium.org] имеется только один популярный курс «Химия полезная и бесполезная», разработанный МГУ им.М.В. Ломоносова. На платформе Ассоциации «Национальная платформа открытого образования» [www.openedu.ru] только 3 онлайн-курса имеют непосредственное отношение к химии. Это курсы по двум разделам физической химии и неорганической химии. Таким образом, подготовка бакалавров и магистрантов химиков-технологов с использованием ЭОР и ЭУМК, находящимся в открытом доступе на различных информационно-образовательных порталах, сайтах и платформах, существенно отстает от аналогов в других областях знаний.

Еще одной проблемой является то, что в условиях фактического сокращения практик, проводимых непосредственно на промышленных предприятиях, у

выпускников-бакалавров остро стоит проблема отсутствия навыков решения конкретных технологических задач. Ключевыми инженерными (проектными) задачами подготовки химиков-технологов остаются обучение теоретическим знаниям, практическим умениям и навыкам решения типовых задач моделирования, проектирования, оптимизации и управления химико-технологическими процессами, системами и производством на примерах технологических регламентов производств.

Широкое развитие во многих Российских и зарубежных вузах для компьютерного моделирования и оптимизации химико-технологических процессов нашли программные комплексы ChemCAD, HYSYS, UniSim и др. [2 – 4]. Однако данные программные комплексы требуют глубокого и всестороннего изучения и не могут быть массово использованы при проведении лабораторных практикумов и выполнении курсовых проектов при подготовке бакалавров. Имеются единичные успешные примеры их использования при выполнении курсовых проектов по процессам и аппаратам химической технологии в РХТУ им.Д.И.Менделеева. Кроме того для учебно-методической поддержки требуется разработка адаптированных под учебный процесс учебных пособий и лабораторных практикумов. Полезными учебными пособиями являются разработки Казанского государственного национально-исследовательского технологического университета [2] и Чувашского университета [3]. Широкое использование данные программные комплексы нашли в магистерских программах, при проведении научных исследований магистрантами и аспирантами, а также при проведении проектных и предпроектных расчетов химических, нефтехимических производств с использованием средств компьютерного моделирования [5 – 7].

Однако электронные образовательные ресурсы и электронные учебно-методические комплексы по использованию зарубежных средств компьютерного моделирования и оптимизации по процессам химической технологии практически отсутствуют. Ограничением размещения ЭОР, использующих зарубежное лицензионное программное обеспечение в системах открытого образования, является возможное нарушение прав третьих лиц. Это же подтверждает имеющийся у авторов практический опыт использования зарубежных программных средств, в частности программного комплекса FLACS фирмы GexCon (www.gexcon.com), для моделирования последствий химических аварий [8]. Данный опыт является очень полезным, но непродолжительным в виду ряда факторов: ограниченный срок действия предоставленной версии программы, высокая стоимость программного обеспечения, необходимость адаптации под учебный процесс.

В этой связи актуальным является разработка недорогого конкурентоспособного отечественного программного обеспечения для подготовки бакалавров и обучения их практическим навыкам выполнения лабораторных и курсовых работ на примерах исследования технологических процессов установок

химических производств.

Овладение студентами перечисленным выше комплексом решения задач предполагает изучение нескольких взаимосвязанных учебных дисциплин, каждая из которых включает изучение теоретического материала, отработку навыков решения практических задач на семинарских занятиях и при выполнении лабораторных, курсовых и научно-исследовательских работ, эффективную организацию самостоятельной подготовки.

II. ПОДГОТОВКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ В МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЙ СИСТЕМЕ ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДОТ

Более 15 лет в РХТУ им. Д.И. Менделеева на кафедре компьютерно-интегрированных систем в химической технологии (КИС ХТ) разрабатывается и внедряется в учебный процесс междисциплинарная автоматизированная система обучения химиков-технологов [9], которая в процессе своего становления и развития прошла 4 информационно-технологические модернизации на различных платформах [<http://cisserver.muctr.edu.ru/alk>, <http://cisserver.muctr.edu.ru/alkmw>], последние две реализованы в модульной среде дистанционного обучения Moodle [<http://cisserver.muctr.edu.ru/alkmoodle>] и несколько функциональных модификаций. В настоящее время – это междисциплинарная система обучения для подготовки химиков-технологов с использованием дистанционных образовательных технологий, реализованная на выделенном сервере в среде Moodle [<http://cis.muctr.ru/alk>], включающая более 25 дисциплин.

Большинство лабораторных работ предполагает компьютерное моделирование и исследование изучаемых объектов с использованием универсального и специализированного программного обеспечения (ПО). Причем при выполнении лабораторных работ используется как специализированное ПО компаний-разработчиков [10 – 12], так и собственные разработки, на которые получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Каждая лабораторная работа представлена теоретическими положениями и примерами типовых решений, требованиями к отчету, вариантами заданий, моделирующими программами и руководством по работе с ними, справочной информацией. По некоторым лабораторным практикумам подготовлены видеуроки. Далее приведены некоторые из наиболее интересных примеров подготовки, реализации и организации выполнения лабораторных работ в междисциплинарной системе в среде Moodle.

A. Лабораторный практикум по дисциплине *«Математическое моделирование и методы синтеза гибких химических производств»*

Данная дисциплина преподается на кафедре КИС ХТ 25 лет и в процессе модернизации образовательных стандартов, информационного и программного

обеспечения за эти годы претерпела множество качественных изменений.

Цель курса – научить студентов теоретическим основам составления математических моделей гибких химических производств как сложных иерархических систем с использованием методов декомпозиции на отдельные подсистемы, блоки, модули и практическим навыкам использования математических моделей химико-технологических процессов и систем для исследования поведения объекта в различных условиях ведения процессов и функционирования гибких автоматизированных производственных систем с использованием средств компьютерной техники.

Объектами изучения данной дисциплины являются индивидуальные, совмещенные и гибкие многоассортиментные химико-технологические системы мало- и среднетоннажной химической и смежных отраслей промышленности: химико-фармацевтической, производства изделий из пластических масс, производства вяжущих и новых функциональных материалов на их основе и др. Ведущими зарубежными учеными в указанной области являются Grossmann I.E., Reklailis G.V., Karimi I.A. и др. [13 – 16]. В России данное направление подготовки выпускников более 30 лет развивается в Российском химико-технологическом университете им. Д.И. Менделеева (профессора Макаров В.В., Егоров А.Ф.), Казанском национальном исследовательском технологическом университете (профессор Зиятдинов Н.Н.), Тамбовском государственном техническом университете (профессора Дворецкий С.И., Краснянский М.Н., Малыгин Е.Н.) и ряде других вузов. Примером плодотворного российско-американского сотрудничества в указанной области стало проведение в 2016 году российско-американской научной школы по моделированию и оптимизации химико-технологических процессов и систем [17]. Актуальность изучаемой дисциплины возросла в связи с реализацией плана мероприятий («дорожной карты») по развитию производства по малотоннажной химии в РФ на период до 2030 г.

С использованием специализированного программного обеспечения, разработанного на кафедре КИС ХТ («Программное обеспечение для выбора оборудования периодического действия и расчета длительностей технологических операций Duration») и «Программное обеспечение для синтеза гибких химико-технологических систем «SoF CES» (SoF CES – Synthesis of Flexible Chemical Engineering System)) [18] модернизирован комплекс лабораторных работ по курсу «Математическое моделирование и методы синтеза гибких химических производств», размещенный в междисциплинарной системе обучения (<http://cis.muctr.ru/alk>). В отличие от зарубежных программных комплексов, упомянутых ранее Chemcad, Hysis и др., в программное обеспечение «Duration» и «SoF CES» заложены дискретные и дискретно-непрерывные модели и алгоритмы направленного эвристического моделирования и синтеза индивидуальных, совмещенных и гибких химико-технологических процессов и систем. Лабораторный

практикум включает 4 взаимосвязанные работы:

- Работа 1. Моделирование одностадийного химико-технологического процесса (ХТП) в аппаратурном модуле периодического действия с использованием программного комплекса «Duration»;
- Работа 2. Синтез индивидуальной химико-технологической системы (ХТС) периодического и полунепрерывного действия;
- Работа 3. Синтез совмещенной или гибкой ХТС;
- Работа 4. Размещение продуктов дополнительного ассортимента на оборудовании совмещенной или гибкой ХТС.

В настоящей статье более подробно рассмотрим исследовательские задачи, заложенные в программном комплексе «Duration», и организацию их выполнения с использованием электронных образовательных ресурсов системы. Спецификой решения задач выбора основного и вспомогательного оборудования – аппаратов периодического действия в составе аппаратурных модулей, предназначенных для реализации одностадийных ХТП, с точки зрения постановки задач математического моделирования являются условия

дискретности и целочисленности, определяющие ограничения на количество и размеры оборудования, а также коэффициенты заполнения аппаратов, которые, в свою очередь, обусловлены технологическими особенностями реализации процессов.

При решении задач моделирования студентам для выбора оборудования рекомендуется использовать каталоги типового отечественного и зарубежного оборудования химической и смежных отраслей промышленности. Для чего на сайте междисциплинарной системы в разделе «Дополнительная справочная информация» обеспечен доступ к наиболее актуальным каталогам и сайтам предприятий – изготовителей оборудования. На рис. 1 представлена схема информационных взаимодействий в системе при выполнении лабораторных работ с использованием программных комплексов «Duration» (внизу справа) и «SoF CES» (внизу слева). В процессе подготовки к выполнению лабораторных работ студенту предлагается ознакомиться с руководством пользователя по работе с программой (рис.1) и, ознакомившись с каталогами оборудования, подобрать принципиально подходящие аппараты по принципу их действия, техническим характеристиками и т.п.

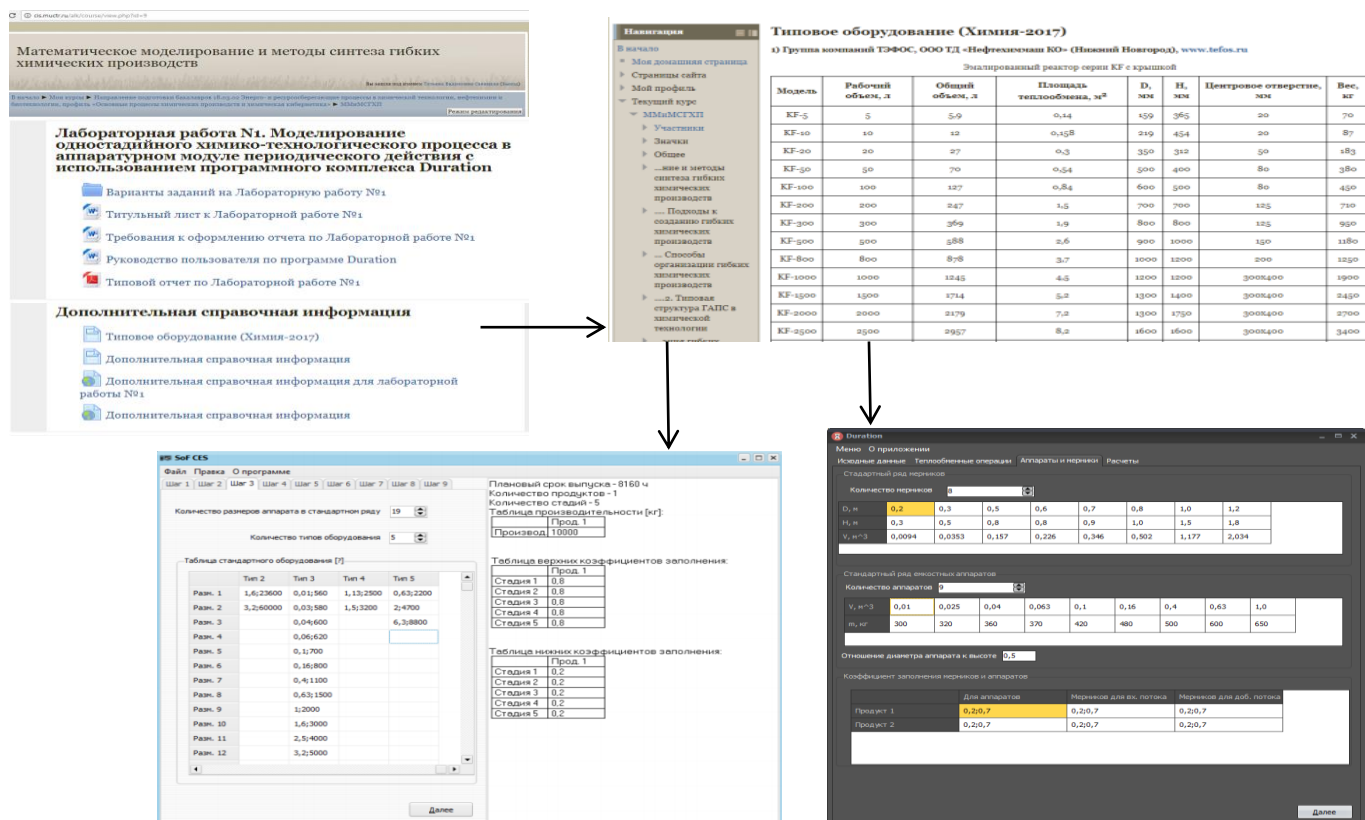


Рис. 1. Схема информационных взаимодействий при выполнении лабораторных работ

С использованием программы для подбора оборудования в составе аппаратурного модуля и расчета длительностей технологических операций – «Duration» требуется определить:

- допустимые размеры емкостного аппарата и

мерников и допустимые размеры партий двух или более продуктов. Поиск ведется от заданных минимальных размеров партий (по увеличению и уменьшению) и от заданных максимальных размеров партий (по уменьшению и увеличению). Полученные результаты расчетов сохраняются в

протоколы и на их основе формируются таблицы;

- длительности технологических операций загрузки, выгрузки, охлаждения и длительности технологических циклов работы аппаратного модуля для каждого продукта. Основные результаты заносятся в таблицы;
- по заданию преподавателя производится проверка ручным расчетом некоторых значений машинного расчета по выбору оборудования и расчету длительностей технологических циклов;
- производится сравнение полученных результатов машинных и ручных расчетов, делаются выводы по работе.

Полученные результаты решения задач моделирования одностадийных ХТП в аппаратурных модулях периодического действия используются при выполнении лабораторных работ по моделированию и синтезу ХТС в программном комплексе «SoF CES».

Приобретенные навыки решения задач моделирования и синтеза ХТС с использованием специализированного программного обеспечения студенты используют в последующем в дисциплине «Методы синтеза многоассортиментных экологически чистых химических производств» при изучении особенностей синтеза гибких схем очистки стоков промышленных предприятий и при выполнении курсовых научно-исследовательских и выпускных квалификационных работ бакалавров, а также при изучении дисциплин в магистратуре «Компьютерно-интегрированные ресурсосберегающие системы управления химическими предприятиями» и «Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами».

Успешное и своевременное выполнение студентами-бакалаврами рассмотренного выше лабораторного практикума при сокращении аудиторных часов на лекционные и практические занятия возможно только при подготовке и реализации качественных ЭОР: примеров типовых отчетов, типовых решений, ссылок на достоверные информационные ресурсы, руководства по работе с моделирующими программами, размещаемых в междисциплинарной системе обучения с использованием дистанционных образовательных технологий.

В. Лабораторный практикум по дисциплине «Методы искусственного интеллекта в управлении химическими производствами» для магистрантов

Цель курса – научить магистрантов теоретическим знаниям и практическим умениям и навыкам использования систем искусственного интеллекта для решения задач прогнозирования, классификации, оптимизации и управления химико-технологическими процессами, системами и предприятиями в целом в условиях неопределенности исходной информации.

Практикум включает четыре работы:

- Работа 1. Решение задач прогнозирования и

распознавания образов с использованием современных программных средств нейросетевого моделирования (Deductor Studio Academic) [12];

- Работа 2. Разработка и моделирование с использованием пакета прикладных программ MATLAB (модулей Neural Network Toolbox и Simulink) систем автоматического регулирования с использованием нейронных сетей прямого распространения;
- Работа 3. Синтез и моделирование систем автоматического регулирования химико-технологических процессов на основе нечётких регуляторов с использованием пакета прикладных программ MATLAB (модулей Fuzzy Logic Toolbox и Simulink);
- Работа 4. Использование оболочки экспертной системы «Эксперт» для разработки производственных моделей представления знаний по управлению технологическим процессом.

Для выполнения работы 1 требуется по данным из режимных листов установок нефтеперерабатывающих производств сформировать выборку для обучения искусственной нейронной сети (ИНС) для прогнозирования одних технологических параметров процессов в зависимости от изменения других. С использованием программы Deductor Studio Academic необходимо обучить нейронную сеть, варьируя параметры: структуру (число нейронов в скрытом слое); скорость обучения. С помощью обученной нейронной сети провести расчет технологических параметров и сравнить их с данными из режимных листов (не вошедших в обучающую и тестовую выборки). Построить графики зависимостей точности прогнозирования. Сделать выводы о влиянии параметров обучения на точность прогнозирования и определить оптимальную структуру и параметры настройки ИНС.

В работе 2 для объекта управления, рассмотренного в лабораторной работе №1, необходимо разработать и провести имитационное моделирование в MATLAB (модулях Neural Network Toolbox и Simulink) следующие системы автоматического регулирования (САР):

- одноконтурные САР по каждому из каналов управления с ПИД-регулятором и моделью объекта управления на основе нейронной сети;
- САР с двумя управляющими воздействиями, ПИД-регуляторами и моделью объекта управления на основе нейронной сети;
- одноконтурные САР по каждому из каналов управления с регулятором на основе нейронной сети и моделью объекта управления в виде передаточной функции;
- САР с двумя управляющими воздействиями, ПИД-регуляторами и моделью объекта управления в виде передаточных функций.

Провести сравнительный анализ качества

регулирования технологических параметров процесса по значениям динамической, статической ошибок и времени регулирования. Выбрать САР, обеспечивающую наилучшее качество регулирования.

Цель работы 3 – для технологического процесса производства формалина в соответствии с вариантом задания синтезировать систему управления заданными показателями качества с нечетким регулятором. Реализовать разработанную САР с использованием модуля Fuzzy Logic Toolbox пакета прикладных программ MATLAB/Simulink. Получить результаты моделирования при варьировании параметров системы (вида функций принадлежности, методов дефазификации), провести сравнительный анализ результатов и определить САР, обеспечивающую наилучшее качество регулирования.

При выполнении работ 2 и 3 студенты используют навыки работы с MATLAB/Simulink, полученные в ходе лабораторного практикума по курсу «Системы управления химико-технологическими процессами» [19].

Работа 4 направлена на разработку производственных правил по способам локализации и ликвидации аварийных ситуаций на установках нефтеперерабатывающих производств, управлению процессами производства лекарственных препаратов (по данным технологических регламентов и планам локализации и ликвидации аварийных ситуаций) и их реализации в базе знаний оболочки экспертной системы «Эксперт».

В междисциплинарной системе обучения с использованием дистанционных образовательных технологий кафедры КИС ХТ для данной дисциплины подготовлены и размещены варианты заданий на выполнение лабораторных работ, ссылки на используемое программное обеспечение, требования к отчетам. Организована выдача заданий и прием отчетов на проверку, а также консультации через обмен сообщениями.

Таким образом, подготовленные практикумы в междисциплинарной системе обучения среде Moodle позволяют студентам при уменьшении аудиторной нагрузки освоить и приобрести знания, умения и навыки, необходимые будущим специалистам в области использования информационных технологий для моделирования, проектирования и управления технологическими процессами и системами, а также качеством продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

[1] Труды Международной научно-методической конференции «Информатизация инженерного образования» — ИНФОРИНО-2014 (Москва, 15–16 апреля 2014 г.). – М.: Издательство МЭИ, 2014. – 604 с.

[2] Зиятдинов Н.Н., Лаптева Т.В., Рыжов Д.А. Математическое моделирование химико-технологических систем с использованием программы ChemCad : учебно-методическое пособие Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Казанский гос. технологический ун-т". – Казань : КГТУ, 2008 (Казань : Офсет. лаб. Казан. гос. технол. ун-та). –

159 с.

[3] Савельев Н.И. Балансовые расчеты химико-технологических процессов : учебное пособие. – Чебоксары : Изд-во Чувашского ун-та, 2014. – 135 с.

[4] Зиятдинов Н.Н. Компьютерное моделирование и оптимизация в химической технологии // Теоретические основы химической технологии. – 2014. – Т.48. – №5. – С. 483 – 485.

[5] Gartman T.N., Sovetin F.S., Proskuro E.A., Shvets V.F., Kozlovskiy R.A., Suchkov Yu.P., Sapunov V.N., Loktev A.S., Dedov A.G. Computational algorithm for autothermal heterogeneous catalytic processes in a thin catalyst bed // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2014. – Vol. 48. – № 3. – PP. 273 – 279.

[6] Советин Ф.С., Гордиевская Ю.И., Гартман Т.Н., Новикова Д.К. Аналитический обзор подходов к моделированию процессов инициированного крекинга // Химическая промышленность сегодня. – 2017. – № 1. – С. 3 – 15.

[7] Sovetin F.S., Gartman T.N. Cracking of heavy oil residues in a continuous flow reactor, initiated by atmospheric oxygen // Chemical Engineering Journal. – 2017. – Vol. 329. – PP. 275 – 282.

[8] Савицкая Т.В., Егоров А.Ф., Мищенко Е.В. Моделирование последствий аварий с использованием программного комплекса FLACS // Безопасность труда в промышленности. – 2015. – №11. – С. 69 – 74.

[9] Егоров А.Ф., Савицкая Т.В., Запасная Л.А. Междисциплинарная автоматизированная система обучения на основе сетевых технологий для многоуровневой подготовки химиков-технологов // Открытое образование. – 2012. – № 6. – С. 20 – 33.

[10] SCADA TRACE MODE. Российская SCADA-система для АСУ ТП // AdAstra research Group, Ltd [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.adastra.ru/> (дата обращения: 04.04.2018).

[11] Продукты и сервисы. Продукты MATLAB. Продукты Simulink // MATLAB и Simulink центр компетенций компании MathWorks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://matlab.ru/products/> (дата обращения: 04.04.2018).

[12] Deductor Academic – бесплатная образовательная версия // BaseGroup Labs. Технологии анализа данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://basegroup.ru/deductor/download> (дата обращения: 04.04.2018).

[13] Pistikopoulos E.N., Grossmann I.E. Optimal retrofit design for improving process flexibility in linear systems // Computers & Chemical Engineering. – 1988. – Vol. 12. – № 7. – PP. 719 – 731.

[14] Lee B., Reklaitis G.V. Optimal scheduling of cyclic batch processes for heat integration—I. Basic formulation // Computers & Chemical Engineering. – 1995. – Vol. 19. – № 8. – PP. 883 – 905.

[15] Naresh Susarla, Karimi I.A. Integrated supply chain planning for multinational pharmaceutical enterprises // Computers & Chemical Engineering. – 2012. – Vol. 42. – PP. 168 – 177.

[16] Ruppen D., Bonvin D., Rippin D.W.T. Implementation of adaptive optimal operation for a semi-batch reaction system // Computers & Chemical Engineering. – 1998. – Vol. 22. – № 1–2. – PP. 185 – 199.

[17] Российско-американская научная школа-конференция «Моделирование и оптимизация химико-технологических процессов и систем РАШХИ-2016» : сборник тезисов докладов (23-25 мая 2016 г.); М-во образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2016. – 276 с.

[18] Сальников Е.Д., Савицкая Т.В. Программный модуль для решения задач синтеза многоассортиментных химико-технологических систем // Труды Международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования» – ИНФОРИНО-2016. – М. : Издательский дом МЭИ, 2016. – С. 429 – 432.

[19] Михайлова П.Г., Шергольд И.Б., Савицкая Т.В., Егоров А.Ф. Моделирующее программное обеспечение в лабораторных практикумах для подготовки химиков-технологов // Труды Международной научно-методической конференции «Информатизация инженерного образования» – ИНФОРИНО-2012. – М. : Издательский дом МЭИ, 2012. – С. 311 – 312.

Планирование и учет учебной работы профессорско-преподавательского состава при реализации образовательных программ с применением дистанционных образовательных технологий

Свириденко Олеся Вячеславовна, Кузнецова Виктория Юрьевна, Балужева Юлия Анатольевна, Комерзан Евгений Владиславович

Институт дистанционного и дополнительного образования
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

Аннотация — В статье рассмотрены особенности процесса планирования учебной работы профессорско-преподавательского состава НИУ «МЭИ», осуществляемой при реализации образовательных программ в дистанционной форме. Выявлены отдельные виды учебной работы преподавателей и установлены нормы времени на их выполнение.

Ключевые слова — учебный процесс; дистанционное обучение; дистанционные образовательные технологии; планирование учебной работы преподавателя; нормирование учебной работы преподавателя

I. ВВЕДЕНИЕ

Результатом информационной революции является переход общества на качественно новый уровень развития. На сегодняшний день функционирование информационных процессов стало одной из важнейших составляющих жизнедеятельности человека и социума. В связи с этим вполне обоснованно можно полагать, что цели, содержание и технологии в существующей образовательной практике должны быть ориентированы на обеспечение своевременной и адекватной подготовки студента к современным условиям.

Сегодня дистанционные технологии не являются редким явлением, однако общепринятой практики планирования и учета работы преподавателей при реализации образовательных программ еще не выработано.

Рассматривая вопрос организации работы преподавателей, задействованных в образовательном процессе с использованием дистанционных образовательных технологий, следует учитывать специфику новых требований к квалификации и опираться на традиционные способы учета отработанной нагрузки, применяемые в России.

II. ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ НИУ «МЭИ» ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ В ДИСТАНЦИОННОЙ ФОРМЕ

В ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» организация образовательного процесса с применением дистанционных технологий осуществляется на базе Института дистанционного и дополнительного образования в соответствии с учебными планами основных профессиональных образовательных программ (ОПОП). Учебный процесс основан на применении современных информационно-телекоммуникационных технологий и образовательных ресурсов сети Интернет. Он предусматривает эффективное использование преподавателем разработанного контента для дистанционного обучения при систематическом проведении занятий в соответствии с календарным графиком, являющимся неотъемлемой частью учебного плана.

Организация учебного процесса предусматривает этап планирования работы профессорско-преподавательского состава, осуществляемой при реализации ОПОП в дистанционной форме. Важной задачей данного этапа является выявление отдельных видов работ преподавателя, отличающихся от аудиторных и их нормирование.

Выделены следующие виды учебной работы профессорско-преподавательского состава, выполняемой с использованием дистанционных образовательных технологий (ДОТ):

- Разработка онлайн-курса, включая все учебно-методические и аттестационные материалы.
- Проведение лекционных занятий и практических работ с использованием ДОТ.
- Обработка результатов тестирования при проведении итоговой или промежуточной аттестации.

- Проверка контрольных работ.
- Руководство курсовыми работами и проектами.
- Руководство экспериментально-исследовательской и научно-исследовательской работой студентов.
- Руководство учебной, производственной и преддипломной практикой.
- Руководство выпускной квалификационной работой студентов.
- Руководство основной профессиональной образовательной программой.

III. НОРМИРОВАНИЕ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО СОСТАВА, ОСУЩЕСТВЛЯЕМОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОТ

Для учета специфики работы профессорско-преподавательского состава при реализации образовательных программ в 2018 году сотрудниками ИДДО разработаны нормы времени, регламентирующие процесс осуществления выделенных видов учебной работы профессорско-преподавательского состава, осуществляемой в дистанционной форме. Нормирование выполнено с целью планирования учебной нагрузки на предстоящий год, определения штатной численности преподавателей и составления ведомостей на оплату выполненной работы.

Учебный курс с использованием ДОТ включает: руководство по самостоятельному изучению учебного материала, календарный график проведения различных мероприятий, лекционный материал, практикум (практические, творческие задания, проблемные вопросы, кейсы и т.д.), примеры выполненных заданий, контрольно-измерительные материалы, задания для самоконтроля, дополнительные электронные учебные материалы (справочники, словари и т.д.), списки рекомендуемой литературы, включая список ссылок на Интернет-ресурсы. Использование современных информационных технологий позволяет разрабатывать видеолекции, интерактивные мультимедиа-лекции и аудиолекции, что способствует эффективному усваиванию учебного материала [1,2,3].

Нормирование проведено на основе анализа опыта финансовых отношений с разработчиками учебных курсов с использованием обратного метода расчета экономических показателей. За основу нормирования брались финансовые ожидания преподавателей МЭИ и рыночно-установленная стоимость вознаграждения. Затем приводился расчет средней стоимости единицы времени, необходимой на работу, а также рассчитывался числовой показатель нагрузки.

На разработку нового онлайн-курса дисциплины, включающего перечень всех необходимых учебно-методических и аттестационных материалов, требуется 10-40 часов, в зависимости от сложности курса. На проведение 1 часа лекционных, практических и семинарских занятий с использованием ДОТ требуется время для работы с группой и время индивидуальной

контактной работы, которое разделяется примерно на пополам.

Использование дистанционной формы обучения основывается на самостоятельной познавательной деятельности студентов при изучении учебного материала. Следовательно, одной из важных задач является контроль качества его усвоения. Также в связи с отсутствием непосредственного контакта преподавателя и студента в системе дистанционного обучения особое значение приобретает контроль процесса формирования теоретических знаний, практических умений и навыков. К системе контроля качества при использовании дистанционной формы обучения предъявляют повышенные требования в связи с тем, что она позволяет выполнять не только проверочную функцию, но также осуществлять организаторскую, воспитательную и обучающую.

С целью обеспечения эффективности системы контроля и оценки знаний студентов, определены этапы и формы контроля, выполнен тщательный отбор средств его осуществления. В учебном процессе предусмотрены текущий, промежуточный и итоговый контроль. Данные формы контроля реализованы в виде контрольных работ, зачетов, экзаменов, защит курсовых работ и проектов и выпускной квалификационной работы.

Использование информационных технологий позволяет проводить тестовый контроль, являющийся простым и универсальным средством проверки знаний. Поскольку процесс тестирования автоматизирован, снижаются трудозатраты на формирование тестов, осуществление самого процесса контроля и проверку заданий. Такой подход позволяет проводить опрос быстро и оперативно, столь часто, как это требуется со стороны студента или преподавателя, обеспечивая хорошую обратную взаимосвязь. Исходя из особенностей автоматизированного процесса тестирования, на проверку одного теста одного студента отведено 0,3 часа, которые учитывают и трудозатраты на переработку тестовых материалов с учётом специфики групп.

Важным видом учебной работы преподавателя является руководство курсовыми работами и проектами, направленными на более глубокое изучение основ дисциплин, понимание их практической значимости и развитие умения анализировать теоретические проблемы. Руководство курсовыми работами и проектами предусматривает со стороны преподавателя согласование тем, консультирование, контроль процесса написания и оценку проделанной работы. На руководство одной курсовой работой одного студента отведено 1,5 часа. Курсовое проектирование является более сложным видом учебной работы студентов, дополнительно включающим графическую и расчетную часть. Также данный вид работы может содержать материальную часть в виде макетов и моделей или экономическую часть, отражающую анализ эффекта от реализации разрабатываемого проекта. Сложность данного вида учебной работы определяет увеличение нормы времени до 2 часов на руководство одним проектом одного студента.

Консультирование по ВКР не отличается от работы со студентами в традиционной форме и составляет 15 часов на 1 бакалавра или 25 часов на 1 магистра.

На современном этапе развития высшей школы важной задачей является организация и развитие научно-исследовательской работы студентов, являющейся эффективной формой подготовки высококвалифицированных специалистов [4, 5, 6]. В соответствии с новыми стандартами, исследовательской деятельностью должны уметь заниматься как бакалавры, так и магистры. В процессе руководства научно-исследовательской работой студентов преподаватель организует свою деятельность таким образом, чтобы расширять познания теоретических основ изучаемых дисциплин, развивать практические навыки самостоятельной научной работы, творческого и аналитического мышления, грамотного изложения результатов собственных исследований, аргументированного обоснования полученных результатов. Благодаря такой организации научно-исследовательской работы студенты за весь период обучения осваивают комплекс различных видов творческой деятельности, который позволит им вносить элементы научного подхода при осуществлении профессиональной деятельности и выработать стремление к постоянной познавательной активности. Тематика научно-исследовательских работ в большинстве случаев связана с основными научными направлениями выпускающей кафедры. Возможным является выполнение работ в содружестве с другими кафедрами, что укрепляет межкафедральные и межфакультетские связи, создает условия для их постоянного взаимодействия. Привлечение студентов к кафедральной научной работе является эффективным способом формирования интереса к данному виду деятельности.

Руководство научно-исследовательской работой предусматривает со стороны преподавателя определение и согласование со студентом темы работы, консультирование, контроль процесса и оценку полученного результата. В данном процессе участвует научный руководитель, осуществляющий консультирование студентов в определенной научной области, и преподаватель-тьютор, курирующий вопросы оформления и проверки отчета о проделанной работе. На консультирование научным руководителем одного студента в семестр отведено 2 часа. Время на проверку одного отчета по проделанной научно-исследовательской работе студента преподавателем-тьютором составляет 0,3 часа.

Одной из форм научной работы студентов является экспериментально-исследовательская работа. Ее основная задача заключается в развитии способностей самостоятельно обосновывать результаты опытов, экспериментально их подтверждать и формулировать выводы. В процессе выполнения экспериментальных работ в наибольшей степени повышается уровень усвоения теоретического материала. На консультирование студентов по вопросам выполнения научно-экспериментальной работы научному руководителю

отведен 1 час. На проверку одного отчета преподавателем-тьютором установлена норма времени равная 0,3 часа.

В соответствии с ОПОП важной составной частью учебного процесса, основанного на использовании ДОТ, является практика. Цели, задачи, трудоемкость практики полностью соответствуют федеральным государственным образовательным стандартам по направлениям подготовки. Периоды прохождения всех видов практик определены утвержденным календарным графиком учебного процесса. Предусмотрены следующие виды практик:

- Учебная практика, направленная на получение первичных профессиональных умений и навыков.
- Производственная практика, способствующая приобретению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности.
- Производственная преддипломная практика, ориентированная на подготовку материалов к написанию выпускной квалификационной работы, закрепление знаний, умений и навыков, приобретенных в процессе всего курса обучения, возможностей самостоятельной работы в условиях конкретного производства.

В качестве баз для прохождения практик определены организации независимо от форм собственности, деятельность которых соответствует профессиональным компетенциям, осваиваемым в рамках ОПОП. Организация проведения практик осуществляется на основании заключенных договоров с организациями. Для руководства практикой студента назначается руководитель, относящийся к профессорско-преподавательскому составу «НИУ «МЭИ», и руководитель из числа работников профильной организации.

Руководство практиками предполагает составление рабочего графика их проведения, групповое консультирование студентов по возникающим вопросам, контроль процесса прохождения, проверку итоговых отчетов по выполненной работе и их оценку. По всем видам практик формой промежуточной аттестации является дифференцированный зачет, заключающийся в проведении защиты отчетов студентами в сроки, установленные календарным графиком. Данный процесс предусматривает:

- Размещение студентами в личном кабинете системы дистанционного обучения «Прометей» отчета по практике.
- Проверку отчета руководителем практики.
- Формулирование уточняющих вопросов по вопросам выполненного задания и их размещение в личном кабинете студента.
- Ответы студентов на заданные вопросы.

- Оценку руководителем практики полученных ответов и выставление оценок по итогам прохождения практики.

Основными формами дистанционного обучения в данном случае являются консультации и контроль. На проведение групповой консультации студентов руководителю практики отведено 2 часа. Для осуществления проверки одного отчета студента по учебной и производственной практике по получению первичных профессиональных умений и навыков установлено 0,3 часа. На проверку отчета по производственной преддипломной практике отведено больше времени, поскольку его содержание, определяемое темой выпускной квалификационной работы, может содержать результаты проведенных исследований, испытаний, решения творческих задач по специальности, разработки технологических процессов и т.д. Установленная норма времени на проверку одного отчета по производственной преддипломной практике равна 1 часу.

Руководство общими профессиональными образовательными программами, основанными на использовании дистанционных образовательных технологий, осуществляют руководители, компетентные в вопросах профориентации, организации процесса образования, оценки качества обучения, содействия трудоустройству и профессиональному становлению выпускников. Опыт и квалификация руководителей ОПОП позволяют выполнять все функции, необходимые для управления программой, представляющей собой сложную научно-практическую задачу, требующую анализа имеющихся и разработки новых технологий управления. Руководитель ОПОП координирует работу по обеспечению качества учебно-методического сопровождения учебного процесса, фондов оценочных средств, осуществляет мониторинг успеваемости студентов, повышает эффективность процесса образования, оптимизируя учебную нагрузку преподавателей и студентов. Исходя из трудоемкости осуществляемых видов работ, руководителю ОПОП отведено 2 часа на одного студента выпускного курса в год и 1 час на студента не выпускного курса.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненной работы установлены нормы времени на все виды учебной деятельности, осуществляемые профессорско-преподавательским составом с использованием ДОТ. С целью систематизации и структурирования полученные результаты нормирования учебной работы представлены в таблице (см. таблицу 1).

Таким образом, в процессе проделанной работы определена специфика организации учебного процесса с использованием ДОТ, выделены виды учебной работы профессорско-преподавательского состава, характерные для дистанционной формы обучения, установлены нормы времени на их выполнение. Определено, что при использовании данной формы организации учебного процесса происходит сокращение нагрузки преподавателя.

Таблица 1. НОРМЫ ВРЕМЕНИ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО СОСТАВА В ПРОЦЕССЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОТ

№	Наименование видов учебной работы преподавателя, осуществляемой с использованием ДОТ	Нормы времени в часах
1	Проведение лекционных занятий, практических работ	0,5 часа за один академический час
2	Обработка результатов тестирования	0,3 часа за проверку одной работы или теста одного студента
3	Руководство курсовыми проектами	2 часа за консультирование и проверку одной работы одного студента
4	Руководство курсовыми работами	1,5 часа за консультирование и проверку одной работы одного студента
5	Руководство экспериментально-исследовательской работой (ЭИР) и научно-исследовательской работой (НИР)	Для научного руководителя ЭИР: 1 час за консультирование одного студента в семестр Для научного руководителя НИР: 2 часа за консультирование одного студента в семестр Для преподавателя-тьютора: 0,3 часа за проверку одного отчета одного студента
6	Руководство учебной и производственной практикой	2 часа за проведение групповых консультаций 0,3 часа за проверку одного отчета одного студента
7	Руководство преддипломной практикой	2 часа за проведение групповых консультаций 1 час за проверку одного отчета одного студента
8	Разработка онлайн-курса	10 – 40 часов за разработку одного нового онлайн-курса
9	Руководство образовательной программой	Для студента выпускного курса: 2 часа на одного студента в год Для студента не выпускного курса: 1 час на одного студента в год

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Федеральный закон от 29.12.2012 N 273-ФЗ (ред. от 01.05.2017, с изм. от 05.07.2017) "Об образовании в Российской Федерации".
- [2] Письмо Минобрнауки РФ № 14-55-784 ин/15 от 26.06.2003.
- [3] Приказ Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации (Минздравсоцразвития России) от 26 августа 2010 г. N 761н г. Москва "Об утверждении Единого квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и служащих".
- [4] Ямщикова Т.Н., Журавлева Т.А., Скоблякова И.В. К вопросу о нормах времени учебной и иной нагрузки преподавателя высшей школы в российских вузах -Менеджмент и бизнес-администрирование. 2017. № 4. С. 170-184.
- [5] Аверьянова М.И. Особенности определения продолжительности рабочего времени педагогических работников общеобразовательных организаций Российский ежегодник трудового права. 2014. № 9. С. 426-437.
- [6] Григораш О.В. О необходимости изменения норм времени педагогической работы профессорско-преподавательского Составы Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 119. С. 1180-1199.

Интерактивные мультимедиа образовательные ресурсы для обучения студентов архитектурно-строительного университета работе с геодезическим оборудованием

О.В. Солнышкова
Кафедра инженерной геодезии
НГАСУ (Сибстрин)
Новосибирск, Россия
o_sonen@mail.ru

Е.В. Дудышева
Кафедра математики, физики, информатики
АГГПУ им. В.М. Шукшина
Бийск, Россия
dudysheva@yandex.ru

Аннотация — В подготовке выпускников архитектурно-строительных вузов нередко наблюдается отставание результатов практического обучения от отраслевых требований. Статья рассматривает проблему массовой разработки интерактивных мультимедиа образовательных ресурсов для начального обучения студентов работе с геодезическим оборудованием. Возможным решением является разработка мультимедиа образовательных ресурсов, моделирующих работу оборудования и имитирующих производственные операции, с высокими степенями интерактивности. Применение подобных образовательных ресурсов способно привести к сокращению сроков начального освоения оборудования и, как следствие, к повышению качества практической подготовки выпускников в инженерном образовании. Привлечение к разработке студентов под руководством преподавателей инженерных дисциплин может частично решить поставленную проблему. Способом привлечения может быть организация творческих мастерских для активных студентов при университетских кафедрах и подразделениях.

Ключевые слова — инженерное образование; интерактивные мультимедиа образовательные ресурсы; обучение работе с геодезическим оборудованием

I. ВВЕДЕНИЕ

Современные производственные процессы в архитектуре и строительстве предполагают использование высокотехнологичного оборудования на всех этапах от производства строительных материалов и расчета конструкций до монтажа сложных архитектурных элементов. В строительной индустрии ежегодно появляются новые виды конструкций строительных объектов, усложняются технологии конструирования современных сооружений. Этот процесс требует от преподавателей инженерных дисциплин в архитектурно-строительных вузах освещения не только традиционных, но и новейших технологий и способов строительного производства с применением различного оборудования. Между тем, нередко в практической подготовке выпускников инженерных вузов наблюдается отставание

результатов обучения от отраслевых требований. Одна из возможных причин заключается в недостаточно эффективной подготовке студентов при работе с современным профессиональным оборудованием. Работники инженерных компаний во время производственной практики, как правило, также не всегда обеспечивают полноценный практический опыт для всех студентов. Представление практических приложений студентам в аудитории для компенсации отсутствия практического опыта возможно с применением мультимедиа образовательных ресурсов, моделирующих работу оборудования и имитирующих производственные операции. Данная статья поднимает вопросы разработки интерактивных мультимедиа образовательных ресурсов преподавателями инженерных дисциплин с привлечением студентов, а также эффективности применения таких ресурсов в образовательном процессе.

II. ИНТЕРАКТИВНОСТЬ МУЛЬТИМЕДИА СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ ПО РАБОТЕ С ИНЖЕНЕРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Специалисты архитектурно-строительной индустрии должны владеть навыками по применению современного оборудования и компьютерной техники. В настоящее время документация по строительству инженерных сооружений, начиная с результатов измерений, проектирования и заканчивая строительными работами и передачей объекта эксплуатирующей организации, не может быть составлена и передана в только в бумажном варианте. Например, топографо-геодезические материалы часто принимаются на цифровых носителях. Поэтому возрастает роль новейших геодезических приборов, ориентированных на накопление и обработку цифровых данных. Лазерные нивелиры, электронные тахеометры, GPS-станции, наземные лазерные сканеры и другое оборудование требует не только навыков работы с ними, но и понимания значения и способов применения полученных данных во всей цепочке трудовой операции. При начальном ознакомлении с приборами студенты нередко приводят в негодность целиком прибор или их части. Геодезические инструменты имеют высокую

стоимость, поэтому поломка даже части оборудования нарушает полноценное плановое изучение предмета всеми студентами. Многие современные приборы, активно используемые в архитектурно-строительных работах, приобретаются вузами в небольших количествах из-за необходимости постоянного обновления и высокой стоимости. Ознакомление с такими приборами обычно происходит только на лекциях или на тематических выставках, студент при этом получает информацию в очень малом объеме. Поэтому применение разнообразных мультимедиа ресурсов становится разумным дополнением к начальным этапам работы с оборудованием.

Требование интерактивности мультимедиа ресурсов, моделирующих работу оборудования и имитирующих производственные операции, является, по нашему мнению, одной из ключевых идей в инженерном образовании. Интерактивность электронного средства обучения предполагает наличие обратной связи и возможность поддержания инициативности студента в выборе образовательного контента, способах работы с ним, способствует погружению в моделируемые профессиональные ситуации благодаря демонстрации практических процессов, активному обучению [1]. Статья [2] содержит результаты исследования, проведенного с помощью метода репрезентативного мета-анализа, которое показало, что по результатам выявленных 40 научных публикаций в области компьютерного обучения студенты, получающие компьютерную поддержку в рамках интерактивных обучающих программ, в среднем по показателям успеваемости превосходят студентов, получающих компьютерную поддержку с обычными дидактическими целями.

Потенциальный характер действий студента, степень контроля над образовательной средой позволяют определить таксономии уровней интерактивности средств обучения. Они отличаются возможностями выбора объема содержания, порядка и методов работы с контентом. Для мультимедиа образовательных ресурсов, применяемых в высшей школе, степень интерактивности может также определяться видом: например, не интерактивная визуализация, анимация, симуляция и обогащенная интерактивная визуализация (дополненная возможностью манипуляции переменными) [3]. Сравнительный анализ ориентированных на пользователя таксономий уровней интерактивности электронных средств обучения позволяет определить обобщенные градации интерактивности: низкую, среднюю и высокую [4]. Необходимо отметить, что потенциально высокие градации или степени интерактивности электронного средства обучения не всегда означает высокий уровень понимания содержания [4], в частности, если средство обучения не соответствует учебным задачам и особенностям студентов [1]. Поэтому при всем разнообразии мультимедиа ресурсов далеко не все они оказывались востребованными и эффективными в образовательном процессе [5].

Среди доступных нам научных публикаций не обнаружено описания интерактивных мультимедиа ресурсов, моделирующих работу геодезического

оборудования, предназначенных для обучения студентов архитектурно-строительных вузов. Примеры успешной разработки и применения интерактивных мультимедиа средств обучения, способных имитировать работу сложного оборудования и соответствующие производственные процессы, найдены для других профессиональных направлений. Так, в центре тренажерной подготовки и 3D-проектирования НИУ «МЭИ» разработаны и применяются компьютерные тренажеры для получения опыта управления инженерным оборудованием [6]. Возможности интерактивной работы студентов с моделями в проектировании машин реализованы в электронных образовательных материалах на факультете машиностроения в Университете Западной Богемии [7]; ресурсы разработаны в сотрудничестве с местными инженерными компаниями для предоставления реальных проектов, переработанных для обучения. Еще одним примером, также целенаправленно разработанным в качестве учебной модели, является мультимедиа средство, имитирующее функционирование и калибровку устройства, измеряющего горизонтальные координаты со встроенной интерактивной поддержкой действий студентов [8]. Сопровождение учебной мультимедиа модели оборудования интерактивным приложением по его применению достоверно способствует повышению удовлетворенности и положительного отношения студентов к процессу обучения [9]. Рассмотренные работы свидетельствуют о том, что интерактивное мультимедиа обучение основам работы с оборудованием, целенаправленно ориентированное на требования профессиональных областей, является актуальным и востребованным. Важно отметить, что в различных публикациях примерами, достоверно доказавшими эффективность применения, оказываются мультимедиа образовательные ресурсы высоких уровней интерактивности, предназначенные для решения конкретных учебных задач. Заметим, что разработка подобных мультимедиа ресурсов высокой и средней степеней интерактивности требует больших трудозатрат от университетов; при этом, такие ресурсы сложно переносятся из-за индивидуализации требований к обучению. Поэтому, для архитектурно-строительных университетов, помимо привлечения разработчиков программного обеспечения, предлагается массовая разработка интерактивных мультимедиа образовательных ресурсов по обучению работе с геодезическим оборудованием преподавателями инженерных дисциплин с участием студентов. При таком подходе на первый план выдвигаются вопросы достаточной эффективности разработанных студентами интерактивных ресурсов, что требует экспериментального подтверждения.

III. РАЗРАБОТКА СТУДЕНТАМИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПО ОБУЧЕНИЮ РАБОТЕ С ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

При обучении студентов архитектурно-строительных направлений важно научить их пользоваться огромным количеством измерительных средств и приборов. В частности, в общепрофессиональном курсе инженерной геодезии одним из основных умений является

использование теодолитов, нивелиров, дальномеров, тахеометров и других геодезических приборов. Геодезические приборы дают возможность измерить горизонтальные и вертикальные углы, длины линий, превышения между точками, провести другие измерения, которые далее интерпретируются в различных условиях практических ситуаций и используются в разнообразных цепочках трудовых операций. Поэтому и различных интерактивных мультимедиа образовательных ресурсов также требуется большое количество. Решением данной педагогической задачи может стать активизация сотрудничества между студентами и преподавателями по созданию интерактивных электронных образовательных ресурсов [10]. Одним из способов организации работы со студентами является включение разработки электронных образовательных ресурсов в требования к сдаче экзамена какого-либо курса [11]. Это подходящий способ для изучающих компьютерные науки, даже если разработка ведется для других дисциплин. Студентами выполняется вся техническая работа, заполняется часть контента. Таким способом разрабатывается множество материалов, но все они требуют доработки. К тому же таким способом вряд ли можно разработать качественные уникальные материалы, моделирующие производственные процессы в незнакомого области для студентов – инженеров в области программного обеспечения.

Другим способом является тщательная индивидуальная разработка ресурсов в своей области обучения выпускниками. Так, выпускниками Гарварда разработаны специализированные модули по физике и астрономии [12]. Аналогичный подход осуществляется привлечением к разработке групп студентов или отдельных студентов старших курсов с высокой творческой активностью. Например, три модуля электронного обучения были созданы студентами-медиками выпускного курса и рассмотрены членами фармацевтического факультета [13]. Важным условием является обратная связь студентам-разработчикам от студентов-пользователей. Статья [14] содержит описание опыта разработки образовательных ресурсов по математике студентами старших курсов для студентов младших курсов, где отмечается расхождение понятий, внесенное разработчиками, с учебными понятиями на начальном этапе освоения; предполагаемое организационное решение – более тесное взаимодействие студентов-разработчиков и пользователей, то есть привлечение к разработке и студентов младших курсов.

Наконец, одним из оптимальных решений для инженерного образования является, по нашему мнению, организация творческой мастерской из активных студентов разных лет обучения [10]. Примером эффективных технологий разработки электронных образовательных ресурсов преподавателем инженерной дисциплины совместно со студентами архитектурно-строительных направлений являются продукты творческой мастерской «Geo-S» на базе кафедры инженерной геодезии Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). Работа в мастерской проводится несколькими командами

студентов одновременно. Для разработки каждого электронного образовательного ресурса формируется команда из участников мастерской, в которую входят координатор проекта (студент, показавший себя хорошим исполнителем в предыдущих проектах и проявляющий лидерские качества), программисты, дизайнеры, художники-аниматоры, видео-операторы, авторы звукового сопровождения. Важное значение для стабильной работы мастерской имеет одновременное формирование у студентов навыков деловой коммуникации [15]. Вместе с преподавателем общее руководство мастерской осуществляется ведущим координатором – студентом старшего курса, имеющим большой опыт работы в мастерской и показавший себя эффективным руководителем. Основной его обязанностью является координирование всех проектных команд. Также его функции включают контроль над работой команд, решение споров, рассылка информации, переписка с организаторами профессиональных конкурсов и подготовка выступлений и презентаций. За период многолетнего функционирования творческой мастерской «Geo-S» студентами – участниками мастерской разработаны множество мультимедиа образовательных ресурсов разных степеней интерактивности. Все разработанные электронные образовательные ресурсы проходили апробацию, дополнялись и изменялись по итогам отзывов студентов-пользователей, а затем успешно применялись в учебном процессе. Большинство из разработанных студентами мастерской «Geo-S» средств электронного обучения демонстрируют режим и порядок работы геодезического оборудования, ряд из них – производственные процессы с применением различных инженерных приборов. Приведем описание некоторых из них. «Электронный конспект лекций по инженерной геодезии» разработан в формате HTML и первоначально предназначался, в основном, при подготовке студентов к зачетам и экзаменам (рис. 1). Средство обучения снабжено встроенной обратной связью, что позволяет студентам при недостаточном усвоении материала проводить самодиагностику при прохождении теста и возвращаться к проблемным местам объяснения. В каждой лекции присутствует небольшой глоссарий, что улучшает систематизацию понятий в предметной области.

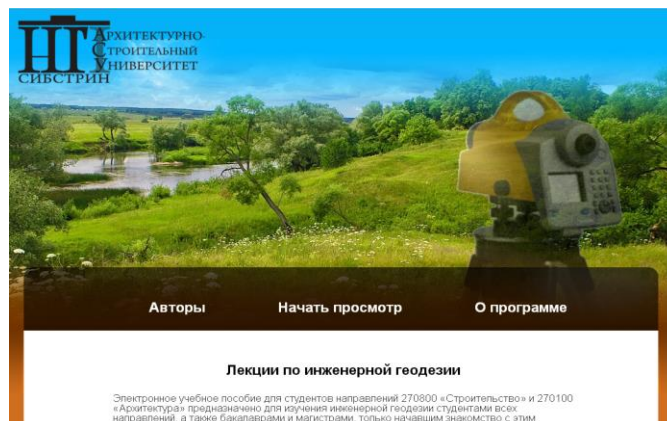


Рис. 1. Электронный конспект лекций по инженерной геодезии

Данный интерактивный мультимедиа образовательный ресурс также предоставляет информацию для выполнения практических заданий с текстами, формулами, рисунками и фотографиям, звуковым сопровождением. Электронный ресурс может использоваться лицами с ограниченными возможностями здоровья, так как все рисунки увеличиваются, формулы выделяются. Для лучшего восприятия присутствуют анимированные иллюстрации с возможностью озвучивания действий. Электронный ресурс позволяет студентам работать не только на стационарных компьютерах дома или в университетских компьютерных аудиториях, но и на более современных гаджетах – таких, например, как мобильные устройства для чтения, а также на планшетных компьютерах. В настоящее время «Электронный конспект лекций по инженерной геодезии» активно используется в процессе деловых игр на учебной геодезической практике в качестве справочного руководства по предметному материалу.

Следующим примером является «Электронный геодезический словарь», разработанный для улучшения понимания терминов при изучении геодезических дисциплин (рис. 2). Этот электронный образовательный ресурс снабжен алфавитным и предметным указателями, удобной поисковой системой. Наличие гиперссылок в текстовой части определений приближает разработанный программный продукт к специализированным профессиональным геодезическим электронным словарям. Наличие многоязыкового звукового сопровождения объяснений терминов сделало этот продукт популярным у иностранных студентов. Иностранные студенты с помощью правильного звучания могут не только понять объяснение термина, но и запомнить его название и иногда попрактиковаться в грамотном его объяснении. Обеспеченность каждого термина иллюстрацией (схемой, таблицей, картинкой или фотографией) увеличивает качество понимания термина при его описании.



Рис. 2. Электронный геодезический словарь

В качестве следующего примера продуктов студенческой творческой мастерской приведем электронное учебное пособие «Геодезические приборы»

специально разработано для повышения наглядности и подробности изучения процесса работы с геодезическими приборами, такими как, теодолит и нивелир (рис. 3). Данное пособие позволяет усвоить довольно сложные алгоритмы измерений. Оно содержит интерактивные трехмерные модели геодезического оборудования. Приведенный в пособии тест помогает студентам самостоятельно оценить уровень изученности материала и, при необходимости, повторить его. Пособие разделено на рубрики – отдельные действия по работе с прибором, которые позволяют студенту выбрать ту практическую часть материала, которую необходимо изучить, а не повторять всю производственную операцию сначала. Студенты обычно располагают мобильное устройство с электронным пособием рядом с оборудованием, чтобы повторять имитируемые действия.



Рис. 3. Электронное учебное пособие «Геодезические приборы» с трехмерными моделями оборудования

Наконец, еще одним примером электронных образовательных ресурсов, разработанных студентами мастерской «Geo-S», является комплект анимационных учебных фильмов, посвященных использованию геодезического оборудования на строительной площадке (рис. 4).

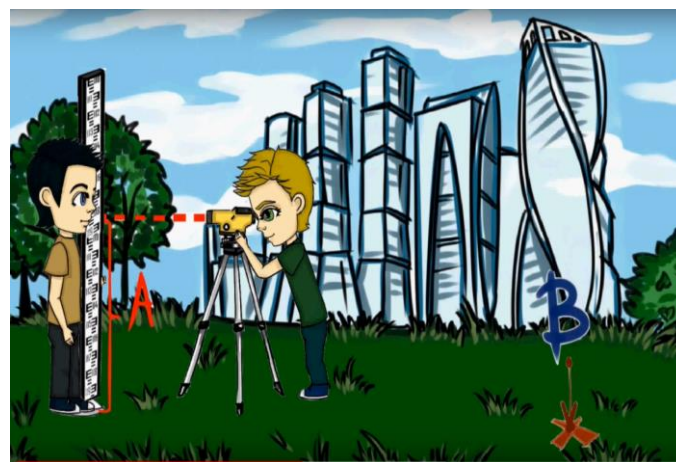


Рис. 4. Анимация, демонстрирующая порядок работы при перенесении на местность проектной отметки

Все учебные анимационные фильмы снабжены описанием профессиональных действий, необходимых будущему специалисту, в правильной последовательности с применением самоконтроля геодезических измерений. Создание набора анимированных учебных фильмов с помощью современных программных средств разработки позволило обеспечить преподавателей кафедры инженерной геодезии необходимым иллюстративным материалом для выполнения различных учебных заданий. Большие дидактические возможности анимационных фильмов дополняются относительной простотой их изготовления. Анимационные учебные фильмы служат прекрасной помощью преподавателю при опросе и закреплении учебного материала. Например, одной из форм группового опроса служит озвучивание группой студентов действий, происходящих на экране при выключенном звуке, а другая группа студентов в этом процессе является экспертной, она выделяет и исправляет допущенные ошибки. В настоящее время при изучении инженерной геодезии, а также других курсов НГАСУ (Сибстрин), отражающих геодезические работы, используется более 25 учебных анимационных фильмов: «Разбивка на местности круговой кривой», «Перенесение отметки на дно глубокого котлована», «Перенесение на местность линии заданного уклона», «Установка колонн методом бокового нивелирования» и многие другие.

Таким образом, разработка студентами интерактивных мультимедиа ресурсов частично решает задачу массового обеспечения электронными средствами обучения, максимально соответствующим учебным задачам и особенностям обучения студентов архитектурно-строительных направлений в НГАСУ (Сибстрин).

IV. ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗРАБОТАННЫХ СТУДЕНТАМИ ИНТЕРАКТИВНЫХ МУЛЬТИМЕДИА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПО ОБУЧЕНИЮ РАБОТЕ С ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Применение разработанных студентами НГАСУ (Сибстрин) интерактивных мультимедиа образовательных ресурсов подтвердило свою эффективность в процессе обучения инженерной геодезии, в том числе, в ходе опытно-экспериментальной работы. Например, для проверки успешности усвоения учебного материала в работе с приборным парком выявлялись умения выделять и реализовывать основные технологические процессы при работе с геодезическим инструментарием на лабораторных работах. Так, работа с нивелиром отслеживалась на примере параметров выполнения лабораторной работы «Геометрическое нивелирование». Для проведения данного эксперимента были выбраны две группы из потока студентов второго курса. Вначале всему потоку была прочитана лекция «Геометрическое нивелирование». Затем все студенты получили методические рекомендации и учебные пособия в электронной и бумажной форме, бланки лабораторной работы и задание на лабораторную работу. Для всех студентов, включая выбранные группы, в процессе подготовки к лабораторной работе были предоставлены учебно-методические материалы по программе курса. Они

включали учебники по инженерной геодезии, рекомендованные для вузов, учебные и учебно-методические пособия, вспомогательные методические средства, инструкции по приборному парку, нормативные документы по инженерно-геодезическим работам. Дополнительно все студенты получили доступ к ресурсам низких степеней интерактивности, включая электронное сопровождение лекций по порядку измерений геодезическими приборами (презентации преподавателя), электронные варианты лекций с примерами. Студентам второй группы дополнительно предоставлены перечисленные выше мультимедиа образовательные ресурсы различных степеней интерактивности, разработанные мастерской «Geo-S». Перед лабораторной работой «Геометрическое нивелирование» все студенты проходили тестирование по теоретическим вопросам во встроенном тесте электронного учебного пособия «Геодезические приборы». Тестирование на знание алгоритма выполнения действий с нивелиром включало задания на порядок работы с оборудованием, например, «Расставить правильную последовательность приведения нивелира в рабочее положение» и др. Вопросы тестирования затрагивали также последовательность действий в производственных процессах, например, «Расставить правильную последовательность измерения превышения нивелиром», «Расставить правильную последовательность в выносе линий заданного уклона» и др. Входное тестирование показало, что различия в теоретических знаниях на алгоритмы выполнения действий и операций с нивелиром в обеих группах не значимы. Студенты двух групп, в среднем, одинаково подготовились в области теории при работе с приборами.

Для выполнения лабораторной работы использовались точные нивелиры с цилиндрическим уровнем для установки визирной оси в горизонтальное положение, имеющие погрешность измерения 3 мм на 1 км хода. Каждому студенту в рамках лабораторной работы предлагалось измерить два превышения между двумя парами нивелирных реек, выполнить контроль измерений и предъявить преподавателю результаты измерений. Наиболее важным диагностируемым компонентом явилось выполнение правильного порядка действий при геометрическом нивелировании на станции и итоговое время выполнения верных измерений. Верным считались такие измерения, в которых в должном порядке выполнялось приведение инструмента в рабочее положение, правильный порядок взятия отсчетов и последовательный способ контроля. Отчеты по лабораторным работам составлялись с фиксацией правильности выполнения измерений и с определением времени выполнения измерений ведущим преподавателем. Если студент нарушал алгоритм измерений, ведущий преподаватель указывал на его неправильные действия. В таком случае студенту предлагалось повторить действие с самого начала, при этом фиксация времени продолжалась. В итоге были составлены таблицы временных показателей для обеих групп. Применение U-критерия Манна-Уитни позволило выявить статистически значимое различие в распределении времени выполнения задания для двух

групп (N1=N2=15). В частности, студенты второй группы, дополнительно использующие для подготовки мультимедиа образовательные ресурсы мастерской «Geo-S» разных степеней интерактивности (высокой, средней и низкой), достоверно показали при $p < 0.01$ более быстрое выполнение практических заданий с нивелиром, чем студенты первой группы, использующие электронные ресурсы преподавателя только низкой степени интерактивности ($U=53$). Помимо положительного влияния увеличения степени интерактивности электронных средств обучения, данный результат позволил также сделать вывод о том, что разработанные студентами совместно с преподавателями мультимедиа образовательные ресурсы являются более эффективными, чем традиционные презентации и электронные конспекты лекций. Следовательно, данные средства обучения обладают достаточным уровнем качества для применения в образовательном процессе при подготовке инженеров архитектурно-строительных направлений.

Все рассмотренные образовательные ресурсы, разработанные студентами, прошли педагогическую экспертизу и необходимую доработку по рекомендациям и результатам апробации. Они неоднократно представлялись и побеждали в региональных и всероссийских студенческих конкурсах. Работа творческой мастерской в настоящее время продолжается. Студенческие разработки аккумулируются на сайте поддержки проектов «Geo-S» при кафедре инженерной геодезии НГАСУ (Сибстрин).

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Привлечение студентов под руководством преподавателей архитектурно-строительных и других инженерных вузов может частично решить проблему массовой разработки электронных образовательных ресурсов, в том числе, по начальному освоению сложного инженерного оборудования. Способом привлечения может быть организация творческих мастерских для активных студентов при университетских кафедрах и подразделениях. Эффективным для процесса обучения студентов архитектурно-строительных направлений является разработка мультимедиа образовательных ресурсов, моделирующих работу оборудования и имитирующих производственные операции, со средней и высокой степенями интерактивности. Применение подобных образовательных ресурсов способно привести к сокращению сроков начального освоения инженерного оборудования и, как следствие, к повышению качества практической подготовки выпускников инженерных вузов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю благодарность самым успешным ведущим координаторам творческой мастерской «Geo-S» при кафедре инженерной геодезии НГАСУ (Сибстрин) Екатерине Поповой и Дмитрию Григорьеву.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] S. Domagk, R. Schwartz, and J. L. Plass, "Interactivity in multimedia learning: an integrated model," *Comput Human Behav*, vol. 26 (5), pp. 1024-1033, September 2010.
- [2] T. Thomas, K. Alexander, R. Jackson, and P.C. Abrami, "The differential effects of interactive versus didactic pedagogy using computer-assisted instruction," *J Educ Comput Res*, vol. 49 (4), pp. 403-436, January 2013.
- [3] M. Patwardhan and S. Murthy, "When does higher degree of interaction lead to higher learning in visualizations? Exploring the role of 'Interactivity Enriching Features'," *Comput Educ*, vol. 82, pp. 292-305, March 2015.
- [4] J. Helfrich and S. Moulton, "Leveraging interactivity to increase e-learning effectiveness," *AACE E-Learn 2009 - World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education*, pp. 2668-2674, October 2009.
- [5] M.S. Sidhu, N. Selvanathan, D. Singh, and S. Ramesh, "Current challenges and trends of interactive multimedia in enhancing engineering education," *IEEE Region 10 Technical Conference on Computers, Communications, Control and Power Engineering Proceedings*, Beijing China, pp. 265-268, October 2002.
- [6] А.А. Дудолин, Е.В. Макаревич, Е.Н. Олейникова, "Внедрение 3D-решений и тренажерной подготовки в образовательный процесс," *Труды Международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования»*. М.: Издательский дом МЭИ, С. 659-663, 2016.
- [7] M. Hynek, M. Grach, and P. Votapek, "Electronic Learning Materials for Machine Design," *Intl Journal of Eng Ed*, vol. 30 (6), pp. 1549-1555, 2014.
- [8] A.C. Majarena, J. Santolaria, D. Samper, and J.J. Aguilar "Education software for the modelling and calibration of kinematic mechanisms," *Procedia Eng*, vol. 63, pp. 167-173, 2013.
- [9] M.G. Violante and E. Vezzetti, "Virtual interactive e-learning application: an evaluation of the student satisfaction," *Comput Appl Eng Educ*, vol. 23, pp. 72-91, January 2015.
- [10] O.V. Solnyshkova and E.V. Dudysheva, "Support for elite engineering education: student creative workshops," *Engineering Education*, vol. 19, Association for Engineering Education of Russia, 2016, pp. 8-13.
- [11] Z. Putnik, M. Ivanovic, Z. Budimac, and K. Bothe, "Partial solution for a problem of developing a large number of elearning resources," *IJHCITP*, vol. 7(3), pp. 63-75, September 2016.
- [12] N.E. Sanders, C. Faesi, and A.A. Goodman, "A new approach to developing interactive software modules through graduate education," *J Sci Educ Technol*, vol. 23, pp. 431-440, 2014.
- [13] A.N. Isaacs, S. Nisly, and A. Walton, "Student-generated e-learning for clinical education," *Clinical Teacher*, vol. 14(2), pp. 129-133, April 2017.
- [14] B. Loch and J. Lamborn, "How to make mathematics relevant to first-year engineering students: perceptions of students on student-produced resources," *Int J Math Educ Sci Technol*, vol. 47(1), pp. 29-44, January 2016.
- [15] O. Solnyshkova and I. Makarikhina, "Analysis of forming of students' professional communication elements on the base of transporting and civil-engineering university according to the requests of potential employers," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 90, No 012022, 2017.

Дистанционные образовательные технологии в преподавании химических дисциплин в НИУ «МЭИ»: проблемы и достижения

Удрис Е.Я., Григорьева О.Ю., Камышова В.К.,

Кафедра химии и электрохимической энергетики
"Национальный исследовательский университет "МЭИ"
Москва, Россия
oksgrig@yandex.ru

Скворцова Т.М.

Отдел ресурсного обеспечения учебного процесса
"Национальный исследовательский университет "МЭИ"
Москва, Россия

Аннотация — Рассмотрены особенности использования дистанционных образовательных технологий (ДОТ) в очной и заочной формах инженерного образования на примере освоения химических дисциплин в НИУ «МЭИ». Показана целесообразность дифференцированного подхода к применению ДОТ для разных форм обучения, что позволяет оптимизировать работу преподавателя и студента, частично индивидуализировать учебный процесс и повысить качество освоения дисциплины.

Ключевые слова — Дистанционные образовательные технологии, информационно-коммуникационные технологии (ИКТ), проблемы заочного инженерного образования, электронные образовательные ресурсы (ЭОР)

I. ВВЕДЕНИЕ

На протяжении почти 30 лет в России идет информатизация инженерного образования. Хотя этот процесс начался в нашей стране существенно позже, чем в странах Западной Европы и Америки, современный учебный процесс уже невозможно представить без широкого использования ЭОР, ИК- и ДО-технологий. Опыт применения инновационных образовательных технологий в преподавании химических дисциплин в национальном исследовательском университете «МЭИ», насчитывает более двух десятилетий. Результаты нашей деятельности рассмотрены, например, в [1], неоднократно докладывались на международных конференциях [2, 3]. Кафедра химии и электрохимической энергетики (ХиЭЭ) совместно с Центром новых информационных технологий МЭИ участвовала во всех университетских программах по информатизации учебного процесса, созданию электронных образовательных ресурсов, электронных учебно-методических комплексов для очного, заочного и дистанционного обучения. Однако время идет быстро, нами постоянно создаются новые ЭОР, совершенствуются дистанционные технологии, отрабатываются методики их использования. Одни проблемы с успехом решаются, но возникают новые. Например, в последние годы на первый план выдвигается проблема низкой базовой, школьной подготовки студентов по химии и связанные с этим трудности самостоятельного освоения материала. С нашей точки зрения, остроту этой проблемы можно уменьшить путем индивидуализации обучения с

применением ДОТ при сохранении общих утвержденных учебных программ и планов.

Второй основной проблемой инженерного образования является необходимость формирования достаточных прикладных навыков и умений у будущего инженера. Образовательные стандарты последнего поколения предполагают компетентностный характер образования. Это значит, что освоив программу бакалавриата, например, по курсу химии, студент должен обладать профессиональной компетенцией «использовать методы экспериментального исследования в профессиональной деятельности». Кроме того, он должен обладать такими деятельностьюными и коммуникативными компетенциями, как умение работать в коллективе, в единой команде, публично представлять результаты своей работы. Очевидно, что формирование деятельностных компетенций и навыков по проведению научного эксперимента возможно только при освоении «живого» лабораторного практикума. Кроме того, работа в группе позволяет формировать коммуникативные навыки у учащихся. Поэтому недопустимость технического образования исключительно в дистанционной форме признана законодательно [4].

Анализируя зарубежный опыт решения подобных проблем при внедрении дистанционного обучения, можно заключить, что по многим направлениям эффективность дистанционной формы обучения не уступает традиционной при условии соответствующего (технического, методического, нормативного и пр.) обеспечения учебного процесса. [5, 6]

В научном образовательном сообществе в стадии обсуждения находится вопрос о самой сущности дистанционного обучения – это технология или форма [7, 8]. С нашей точки зрения, учитывая все вышесказанное, применительно к инженерному образованию речь может идти лишь о дистанционной составляющей обучения. Как будет показано ниже на примере освоения химических дисциплин, в очном инженерном образовании дистанционное обучение следует рассматривать как дополнительные образовательные технологии, позволяющие повысить качество освоения дисциплины путем оптимизации и частичной индивидуализации

процесса. В заочном образовании (ЗО) дистанционное обучение может стать основной *формой*, но при обязательном сохранении очной составляющей для формирования деятельностных и коммуникативных компетенций.

В литературе активно обсуждаются проблемы ЗО, в частности применительно к преподаванию химических дисциплин. Основными проблемами здесь остаются трудности промежуточного контроля и мотивации к систематической деятельности учащихся. В статье [9] для усиления промежуточного контроля в процессе заочного обучения предложена комплексная методика управления самостоятельной работой обучающегося. Авторы статьи [10] считают целесообразным одновременное использование дистанционных технологий и рейтинговой системы оценки знаний студентов. При этом предложен образовательный ресурс по дисциплине «Химия», учитывающий психолого-педагогические особенности заочного обучения.

С нашей точки зрения, использование ДОТ в заочном образовании предоставляет широкие возможности для решения указанных проблем.

За последнее десятилетие на нашей кафедре накоплен достаточно большой опыт по применению ДОТ для решения указанных выше проблем, как в очном, так и в заочном обучении, получены хорошие результаты по смешанному, очно-дистанционному освоению химических дисциплин, которые находятся на высоком современном уровне и могут быть интересны научному образовательному сообществу не только в России, но и за рубежом.

В настоящей статье рассмотрена специфика применения ДОТ в очном и заочном инженерном образовании, на примере преподавания в МЭИ двух дисциплин – химии и концепции современного естествознания (КСЕ).

II. ДОТ В ОЧНОМ ОБРАЗОВАНИИ

Развитие ИКТ-технологий в образовании привело к созданию различных виртуальных учебных сред (Virtual Learning Environments – VLE) с целью реализации систем управления обучением (Learning Management Systems – LMS). В НИУ МЭИ успешно применяется система дистанционного обучения (СДО) «Прометей». Это система администрирования учебного процесса с использованием дистанционных технологий.

На кафедре ХиЭЭ уже более 10 лет эффективно реализуется форма смешанного, очно-дистанционного обучения (blended learning) при освоении дисциплины «Химия» студентами 1 курса. Организация учебного процесса подробно рассмотрена в [2, 3]. В СДО «Прометей» учащиеся могут самостоятельно осваивать теоретический материал по электронному учебнику, выполнять виртуальные лабораторные работы, расчетные задания и тесты, постоянно консультируясь с преподавателем online или по электронной почте. При этом преподаватель кафедры берет на себя и функции

тьютера, осуществляя в СДО «Прометей» контроль за учебной деятельностью студента. Дистанционная составляющая обучения является дополнительной к основному курсу, а потому платной. Студенты должны посещать плановые аудиторные занятия, однако под руководством тьютера они могут самостоятельно быстрее освоить программу курса, выполнить ряд лабораторных работ в виртуальном практикуме и имеют право сдать экзамен досрочно. Такую форму обучения ежегодно выбирает 10–15% студентов. При анализе результатов освоения виртуального химического практикума за период 2005–2012 годов было выявлено, что студенты проявляли большую самостоятельность в проведении компьютерного эксперимента, лучше осознавали его цели и результаты, чем при работе в традиционном практикуме. Со своей стороны студенты отмечали более комфортное состояние при выполнении виртуальных лабораторных работ: возможность варьировать время подготовки и выполнения работы, индивидуально консультироваться и обсуждать результаты с тьютером и однокурсниками в сети.

Однако к настоящему времени произошли существенные изменения в отношении к «смешанной» форме обучения как со стороны преподавателей, так и со стороны студентов. В последние годы мы наблюдаем, что все большее число студентов испытывает трудности в самостоятельном освоении виртуального практикума, не может разобраться в методике, провести аккуратно измерения, построить графики зависимостей, грамотно обработать и проанализировать результаты эксперимента. Вероятно поэтому, все чаще студенты, выбравшие смешанную форму обучения, где выполняют эксперимент с помощью преподавателя и лаборанта. Кроме того, наблюдается тенденция к снижению интереса к платным занятиям по непрофильному предмету – химии у сильных студентов и увеличение доли более слабых учащихся, выбирающих blended learning, которых привлекает, прежде всего, возможность получения постоянной помощи тьютера. Общее же число студентов остается примерно постоянным из года в год и определяется в основном возможностями тьютера. Эти наблюдения подтверждаются и результатами анкетирования. Если в 2012 году 50% студентов, выбравших blended learning, в первую очередь, интересовал свободный график посещения занятий, 30% – возможность досрочной сдачи экзамена и лишь 20% – дополнительные консультации преподавателя, то в 2017 году уже 70% учащихся ответили, что их привлекает прежде всего возможность постоянных индивидуальных консультаций и дополнительных занятий. Это объясняется плохой школьной подготовкой по химии, отсутствием элементарных базовых знаний и невозможностью освоить предмет своими силами, о чем говорилось во введении. Несмотря на тяжелую дополнительную нагрузку, которая ложится при этом на преподавателя, такая «смешанная» форма занятий оказывается наиболее эффективной в плане помощи слабым, но мотивированным студентам в освоении вузовского курса.

Описанные выше тенденции оказались в одном русле с курсом руководства на обязательное посещение всех аудиторных занятий, предусмотренное новыми учебными планами и стандартами. В настоящее время на кафедре сформировался подход к blended learning как к очному обучению с широким применением ДОТ, в котором занятия в СДО «Прометей» являются дополнительной эффективной компонентой. Преподавателями кафедры разработаны учебные программы для ДО по различным направлениям, которые включают как освоение дополнительных разделов по дисциплине, не входящих в основной курс химии, так и углубленное изучение некоторых разделов основного курса. С помощью ЦНИТ МЭИ разработаны новые версии виртуальных лабораторных работ, которые не дублируют лабораторные работы основного практикума. Студент, выбравший blended learning, осваивает программу основного курса в очном режиме, а дополнительную дистанционную программу – в системе «Прометей». В зависимости от уровня подготовки учащегося тьютер составляет индивидуальный учебный план – «дорожную карту» для каждого студента. Хорошо успевающий студент может освоить программу быстрее, выполнить ряд лабораторных работ в виртуальном практикуме и сдать экзамен досрочно. «Дорожная карта» для учащихся со слабой базовой подготовкой включает повторение разделов школьной программы (пропедевтику), таких как «Основные классы веществ и их химические свойства», «Основные законы химии», «Окислительно-восстановительные свойства металлов и неметаллов» и др. Программа ДО для более сильных студентов предусматривает освоение дополнительных разделов, таких как «Поверхностные явления», «Равновесия на границе раздела фаз», «Химическая коррозия металлов», «Химические источники тока» и др. Эти разделы поддержаны дополнительными виртуальными лабораторными работами, например, «Адсорбция. Изотерма Лэнгмюра», «Влияние ингибиторов на скорость коррозии», «Топливный элемент» и другие.

Поскольку НИУ МЭИ постепенно вводит балльно-рейтинговую систему оценивания студентов, освоение программы ДО может быть учтено при начислении рейтинговых баллов студентам, что является дополнительной мотивацией для учащихся при выборе смешанной формы образования.

Таким образом, за 10–15 лет широкого внедрения ДОТ в очное химическое образование на кафедре сформировалась методология применения ДОТ как эффективных дополнительных средств обучения. ДО в рамках «смешанного» образования следует рассматривать, прежде всего, как дополнительную форму обучения в специальной образовательной среде, позволяющей оптимизировать этот процесс.

III. ДОТ В ЗАОЧНОМ ОБРАЗОВАНИИ

В современном обществе заочное образование играет существенную роль, однако отношение к такой форме обучения далеко неоднозначно [11-12]. Это обусловлено спецификой ЗО, которое, будучи ориентировано на

самостоятельную работу студента, не обеспечивает достаточного контроля со стороны преподавателя и не дает возможности закрепить на практике полученные знания. Свое негативное отношение к заочной форме высказали петербургский и московский Университеты [13]. До недавнего времени и в НИУ «МЭИ» не существовало заочной формы образования, поскольку уровень подготовки на заочном отделении традиционно считался ниже, чем на дневном, а МЭИ был и остается ведущим вузом в стране по подготовке кадров в энергетике. В 1995 году была предложена Концепция создания и развития ДО дистанционного образования в России, направленная на активную компьютеризацию в образовательном процессе. Широкое внедрение ИК-технологий, прежде всего ДОТ, создание обширной базы ЭОР по всем дисциплинам позволило руководству Университета пойти на эксперимент. К настоящему моменту в МЭИ подготовка бакалавров по ряду специальностей осуществляется в заочной форме обучения.

С 2016 года на кафедре ХиЭЭ ведется преподавание курса химии для студентов-заочников по направлению подготовки «Электротехника и электроэнергетика». По сравнению с 2016 годом набор на заочное отделение по указанному направлению в 2017 году увеличился в два раза. ЗО позволяет реализовать право на образование определенного контингента людей, которые по разным причинам не могут получить его в очной форме. Чаще всего, это люди уже работающие по специальности и ориентированные на карьерный рост. Опрос обучающихся выявил, что 95% студентов заочного отделения имеют мотивацию к обучению именно по данному направлению (против 50% студентов очного отделения). 95% студентов-заочников уже имеют постоянную работу, причем у 80% она так или иначе связана с энергетикой. Мотивация к обучению усиливается, когда оплату за обучение осуществляет предприятие (более 55%). В этом случае оно берет на себя и контролирующие функции, применяя к неуспевающим студентам систему штрафов.

Специально для ЗО разработана адаптированная программа освоения курса «Химия», позволяющая получить базовую подготовку по этой дисциплине в объеме образовательного стандарта для бакалавров. Освоение программы ведется в смешанной (традиционной и дистанционной) форме. В течение семестра проводятся 4 очных мероприятия, на которых присутствие студента обязательно. Читается вводная лекция по всему курсу (4 часа), объясняющая организацию учебного процесса, порядок выполнения контрольных мероприятий, объем изучаемого материала. Организованы лабораторные работы (8 часов), которые выполняются и защищаются студентами непосредственно на кафедре. Проводятся очные консультации (32 часа), во время которых происходит защита расчетных заданий и решение задач по каждому из разделов. Итоговый контроль результатов освоения дисциплины осуществляется в форме письменного экзамена (4 часа).

Курс химии рассчитан на 180 часов, из которых 132 часа (73% !) отводится на самостоятельную работу. Для

студентов заочного отделения преподавателями кафедры разработаны и опубликованы методические указания по изучению курса «Химия», содержащие как общие рекомендации по самостоятельному изучению, так и указания по выполнению расчетного задания, предусмотренного в курсе. В начале семестра каждому студенту присылается индивидуальное расчетное задание. В соответствии с программой курса задание содержит четыре раздела: «Энергетика химических процессов. Химическое равновесие», «Химическая кинетика», «Растворы», «Электрохимические процессы. Электролиз. Коррозия и защита металлов». Студенты выполняют задание на протяжении всего семестра, дистанционно консультируясь с преподавателем, присылая свои вопросы и варианты решений. Таким образом, ДОТ обеспечивают возможность систематического общения с преподавателем, online консультаций и постоянного контроля. Опыт двухлетнего преподавания химии показал, что при правильной организации учебного процесса и использовании дистанционных технологий можно обеспечить качественное освоение дисциплины и, по-видимому, достаточный уровень образования в целом. Более чем удовлетворительное качество усвоенного материала подтверждается результатами итогового письменного экзамена. Средний балл, полученный на экзамене дневного отделения, составил 3,9, а для заочного отделения оказался 3,7 (по пятибалльной шкале).

Однако у глобальной информатизации, позволяющей студенту бесконтрольно пользоваться интернет-ресурсами, есть два существенных минуса. Во-первых, обилие не рецензируемой информации на разных сайтах приводит к тиражированию безграмотности и, во-вторых, наличие уже выполненных расчетных заданий или решение задач в режиме online, отучает студента от продуктивной самостоятельной работы. Мы часто сталкиваемся с тем, что студент, представляя задание, выполненное на высоком техническом уровне, с тщательным соблюдением терминологии, не только не может обосновать сделанные расчеты, но и затрудняется объяснить использованные им символы в формулах. Возникает парадокс: с одной стороны ДО предполагает самостоятельную работу студентов при освоении дисциплины, с другой стороны на практике эта самостоятельность чаще всего сводится к заимствованию уже готовых решений из интернета. На наш взгляд, частичному решению этой проблемы может способствовать усиление промежуточного контроля за освоением дисциплины в специально разработанной виртуальной среде. Такой контроль, реализованный в виде тестирования в СДО «Прометей» и описанный в следующем разделе, успешно проводится для дисциплины КСЕ. Основываясь на опыте применения такой модели, мы считаем целесообразным ввести подобное контрольное мероприятие и для заочного курса химии.

Таким образом повысить качество освоения дисциплины «Химия» в рамках ЗО можно, применяя комплексный метод. Такой подход предполагает, во-первых, ключевую роль преподавателя, ориентирующего студента в информационном потоке, контролирующего

процесс усвоения материала и оценивающего самостоятельность выполнения контрольных заданий. Во-вторых, безусловно, необходимо усиливать промежуточный контроль, в том числе в форме дистанционных вариативных тестов, проводя их в собственных информационных системах. В-третьих, как и для очной формы образования, приобретение навыков постановки эксперимента, невозможно без проведения реального лабораторного практикума, в ходе которого формируются деятельностные компетенции.

IV. ДИСТАНЦИОННОЕ ПРЕПОДАВАНИЕ КСЕ

В НИУ МЭИ в течение нескольких лет реализуется курс КСЕ по направлениям «Экономика» и «Менеджмент» в дистанционной форме. Подобная форма преподавания указанной общеобразовательной, мировоззренческой дисциплины имеет целый ряд упомянутых преимуществ по сравнению с традиционной формой, позволяя при этом реализовать качественное ее освоение. Учебный процесс полностью проходит в СДО «Прометей». Функции современных систем управления обучением, какой является «Прометей», позволяют создавать условия для достаточно жесткой регламентации учебного процесса, обеспечивать систематический контроль за деятельностью студента, сохраняя при этом все преимущества дистанционного обучения.

Дистанционный курс КСЕ, согласно концепции LMS, имеет четкую структуризацию и включает 4 локальных модуля (рис.1).

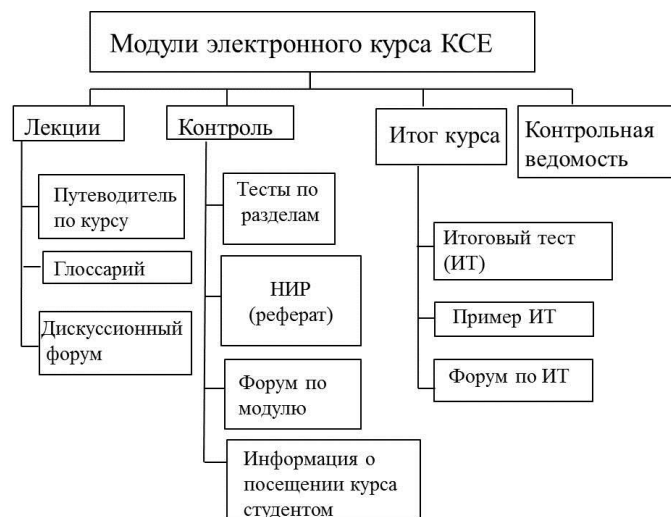


Рис. 1. Модули курса КСЕ

Весь лекционный материал находится в библиотеке системы «Прометей». Студент, заходя на сайт под своим логином и паролем, не тратит времени на поиски учебного материала и электронных ресурсов в просторах интернета, а знакомится с необходимой, рекомендованной литературой и учебным материалом.

Разработанный нами курс КСЕ содержит следующие основные разделы: «Наука как форма духовной

культуры», «Эволюция научного метода и естественнонаучной картины мира», «Современные физические представления о мире», «Естественнонаучные концепции пространства и времени», «Концептуальные уровни в познании веществ и химических систем», «Особенности биологического уровня организации материи», «Концепция человека в естествознании».

В процессе освоения каждого раздела студент может получить консультации и разъяснения у преподавателя по электронной почте.

У студента имеется возможность общения с преподавателем через опцию – обмен файлами, посещения форума и чата, а так же используя книгу отзывов. В то же время преподаватель может контролировать студента, наблюдая за его визитами в «Прометей» и отслеживая время, которое он затратил на изучение того или иного раздела курса. После изучения каждого раздела студент получает от преподавателя допуск на выполнение контролирующего теста. Преподаватель может контролировать время выполнения теста и число попыток.

Тест по каждому разделу состоит из 15 вопросов, выбираемых случайным образом из базы, состоящей из 100–120 вопросов. Таким образом, студенты отвечают на разные вопросы, что позволяет исключить возможность обмена правильными ответами.

Максимальное время выполнения каждого теста регламентировано и составляет 60 минут, также ограничено количество попыток его выполнения - 3 раза. Контролирующий модуль ЭО является существенной составляющей учебного процесса в дистанционной форме обучения.

Большое значение для формирования образовательных и деятельностных компетенций имеет выполнение студентом научно-исследовательской работы (НИР) в форме реферата.

Важным модулем курса является электронная ведомость успеваемости, которая учитывает и накапливает оценки за выполнение всех оцениваемых видов учебной деятельности. Ведомость позволяет тьютеру осуществлять всеобъемлющий контроль за учебной деятельностью всех учащихся, при этом самим обучающимся она доступна для ознакомления. Таким образом, регламентируются содержание и виды учебной деятельности. Результаты итоговых тестов позволяют говорить о том, что студенты в основном способны освоить разработанный курс в дистанционной форме со средней оценкой 3,9.

Однако даже при использовании собственной электронной среды существенной проблемой в силу анонимности Интернета остается фальсификация студентами учебной деятельности. Частично решить эту проблему позволяет так называемый прокторинг, который может быть физическим, в этом случае предполагается выполнение контрольного задания в присутствии проктора-человека, или онлайн-прокторинг. Первый вариант дорог и не удобен студентам. Дистанционным

образовательным технологиям больше соответствует онлайн-прокторинг: синхронный – когда студента во время тестирования дома контролирует через веб-камеру и микрофон удаленный проктор-человек, асинхронный – когда роль проктора выполняет компьютерная программа. В настоящее время сотрудники университетского информационного центра активно работают в направлении развития прокторинга, в частности, над возможностями фотоидентификации студентов. Однако эти эффективные меры существенно повышают стоимость обучения. Тем не менее, без ужесточения контроля за выполнением всех видов учебной деятельности невозможно дальнейшее повышение качества дистанционного образования.

Таким образом, результаты нашей практической деятельности позволяют с очевидностью говорить, что доля дистанционной составляющей в освоении естественно-научных дисциплин, в частности химии, должна варьироваться в зависимости от характера осваиваемой дисциплины и формы обучения. Для очного образования ДОТ следует рассматривать, прежде всего, как современные эффективные, но дополнительные образовательные средства, позволяющие оптимизировать работу преподавателя и студента, частично индивидуализировать учебный процесс и повысить качество освоения дисциплины, оперативно реагировать на быстро меняющиеся требования к современному образованию. В рамках очного инженерного образования эффективными могут быть различные дополнительные формы обучения, в которых дистанционная составляющая может быть основной. Таким образом может решаться проблема пропедевтики, недостаточной базовой подготовки учащихся, ликвидации задолженностей и отставания учащихся.

В случае заочной формы освоения дисциплины «Химия» дистанционные технологии становятся основной частью учебного процесса, при этом необходимость формирования деятельностных компетенций предполагает освоение студентом реального лабораторного практикума. Если отсутствуют специальные системы управления дистанционным обучением, то итоговый контроль по освоению дисциплины целесообразно проводить в очном режиме. Дистанционное обучение при заочном освоении мировоззренческих дисциплин, таких как концепции современного естествознания и др., не требующих экспериментальной работы с реальными системами, может успешно применяться в качестве основной формы обучения при условии наличия специальной системы администрирования учебного процесса с использованием дистанционных технологий и усиления промежуточного контроля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Е. Я. Удрис, О. Ю. Григорьева, М. А. Осина, Е. В. Макаревич, “Инновации в преподавании химии в технических вузах: иллюзии и реальность”, Труды 8-ой Международной конференции по химии и химическому образованию, Минск, 10–13 апреля 2018. С. 241-248.
- [2] В.К. Камышова, Т.М. Скворцова, Е.Я. Удрис, “Использование электронно-образовательных ресурсов в преподавании курса химии: опыт и развитие”, Труды Международной научно-методической конференции ИНФОРИНО—2012 (Москва, 10—11 апреля 2012 г.). М.: Издательство МЭИ, 2012. С. 451-454.
- [3] В.К. Камышова, Е.Я. Удрис, “Инновационные технологии в организации лабораторного практикума «Общая химия». Методика преподавания химических и экологических дисциплин”, Труды Международной научно-методической конференции, Брест, 22-23 ноября 2012. С. 173-178.
- [4] Приказ Минобрнауки России от 09 января 2014 № 2 “Об утверждении Порядка применения организациями, осуществляющими образовательную деятельность, электронного обучения, дистанционных образовательных технологий при реализации образовательных программ”.
- [5] A. W. Bates. Technology, e-learning and distance education (2nd edition). RoutledgeFalmer Studies in Distance Education Series. London, 2004. 246 p.
- [6] A.M. Josceany, R.D. Isopesku, “E-learning in chemical education”, URL: <https://www.intechopen.com/books/distance-education/e-learning-in-chemical-education> (дата обращения 01.02.2018)
- [7] В. С. Шаров, “Дистанционное обучение: форма, технология, средство”, Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена, № 94, 2009, С. 236-240
- [8] Ю. В. Вайнштейн, “Проблемы развития дистанционного образования”. Science Time, № 10, 2014, С. 64-70.
- [9] Перевезенцева Д.О., Стась Н.Ф., “Заочное обучение: основная проблема и её решение”. Открытое образование, № 4 (99), 2013, С. 16-23.
- [10] Л.В. Чупрова, О.В. Ершова, О.А. Мишурина, “Повышение качества профессиональной подготовки студентов заочной формы обучения,” Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Серия: Педагогика, психология, № 2 (21), 2015, С. 160-163.
- [11] С.А. Дружилов, “Пилим сук, на котором сидим: проблемы сегодняшнего заочного высшего профессионального образования,” Alma Mater. Вестник высшей школы, №8, 2012, С. 9–13.
- [12] О.А. Авдеюк, Е.Н. Асеева, “Проблемы заочного обучения и пути их решения,” Международный журнал экспериментального образования, № 3, 2011, С. 146-147.
- [13] Web-сайт МГУ. Виктор Садовничий – о заочном образовании в России.
URL:https://www.msu.ru/info/struct/rectintv_arch/viktor_sadovnichiy_o_zaochnom_obrazovanii_v_rossii.html (дата обращения 01.02.2018)

Роль дистанционных образовательных технологий в развитии образовательных программ в сетевой форме: опыт и актуальные задачи

Шиндина Т. А.

Институт дистанционного и дополнительного образования
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
г. Москва
shindina@mpei.ru

Аннотация — Современное российское законодательство предусматривает развитие нового для практики образовательного рынка сектора образовательных программ, основанных на сетевом взаимодействии университетов. Технологии организации образовательного процесса строятся на договорных отношениях и возможности использования современной электронно-образовательной среды и дистанционных технологий. Практическая реализация сетевых программ предусматривает взаимовыгодные условия сотрудничества и потребность молодежи в получении доступа к новым разработкам ведущих научных школ университетов.

Ключевые слова — образовательные программы, сетевая форма обучения, образовательные технологии

I. ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Сотрудничество МЭИ с Алматинским университетом энергетики и связи (Республика Казахстан) насчитывает уже более 50 лет. В 1960 году началась подготовка инженеров-энергетиков в Казахстане – открылся энергетический факультет в Казахском политехническом институте (КазПТИ им. В.И. Ленина). В 1975 году Энергетический факультет КазПТИ выделен в самостоятельный вуз - Алматинский энергетический институт (АЭИ) и стал тесно сотрудничать с МЭИ в рамках подготовки кадров для нового университета. В 2010 году университет переименован в "Алматинский университет энергетики и связи". В настоящий момент АУЭС занимает ведущие места в рейтинге технических университетов Республики Казахстан. МЭИ продолжает тесно сотрудничать с Алматинским университетом энергетики и связи.

С 2008 года МЭИ совместно с АУЭС проводит обучение студентов АУЭС по программе бакалавров по направлению "Экономика". В 2011 году состоялся первый выпуск бакалавров, студенты получили дипломы АУЭС и дипломы бакалавров экономики в МЭИ, отражающие все требования нового закона об образовании РФ [1].

За период существования программы было выпущено 441 человек с двумя дипломами бакалавриата.

В 2017 году было принято решение расширить сотрудничество и совместно выпускать студентов по

магистерской программе "Электротехника и электроэнергетика". Комплект документов по открытию магистратуры согласовывался на встрече университетов, проходившей в Алматы в начале 2017-2018 учебного года. Были согласованы и подписаны документы по сетевой форме реализации программ, а также учебные планы подготовки магистров. Набор 2017 года составил 13 человек.

II. ОСНОВНЫЕ МОМЕНТЫ ДОГОВОРА О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Договор о реализации образовательной программы магистратуры в сетевой форме по направлению 13.04.02 «Электротехника и электротехника» между Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ») и Некоммерческим акционерным обществом «Алматинский университет энергетики и связи» (НАО «АУЭС») подписан 01.09.2017 года. Он содержит правила реализации программы с учетом действующего на 2017 год законодательного регулирования в сфере образования.

При осуществлении образовательной деятельности по программе каждый Партнер руководствуется:

- Межгосударственными соглашениями Российской Федерации и Республики Казахстан.
- Действующим законодательством государства местонахождения Партнера.
- Нормативными документами Сторон по вопросам образовательной, административной и иной деятельности [2, 3, 4].

Цели программы:

- Создание единого образовательного пространства вузов Российской Федерации и Республики Казахстан.
- Создание механизмов для развития академической мобильности обучающихся, преподавателей и административного состава, содействие межкультурному диалогу, сохранению, развитию и

взаимобогащению культуры, языков, исторических и национальных традиций народов Российской Федерации и Республики Казахстан (см. рис. 1).

В целях координации деятельности по созданию и реализации Образовательной программы Стороны формируют Рабочую группу [5, 6, 7]. Рабочая группа состоит из представителей Сторон – участников данной программы. Персональный состав Рабочей группы утверждается Сторонами по направлению подготовки магистров и наименованию магистерской программы. В компетенцию Рабочей группы входит решение всех методических и организационных вопросов реализации Образовательной программы.

В рамках Договора реализуются следующие образовательные программы в сетевой форме:

- Образовательная программа магистратуры по направлению «Электроэнергетика и электротехника» с получением двух дипломов (далее Программа № 1) – образовательная программа, организуемая и реализуемая Сторонами совместно, в рамках которой обучающиеся, проходящие обучение у Партнера 2, одновременно с этим поступают на обучение к Партнеру 1. При этом часть объема Программы № 1 реализуется Партнером 2, и по результатам успешного освоения которой предусматривается получение обучающимися документов Партнера 1 об образовании государственного образца и документов Партнера 2 об образовании государственного образца.
- Образовательная программа магистратуры по направлению «Электроэнергетика и электротехника» с получением одного диплома Партнера 1 (далее Программа № 2) – образовательная программа, организуемая и реализуемая Сторонами совместно, в рамках которой абитуриенты поступают на обучение к Партнеру 1. При этом часть объема Программы № 2 реализуется Партнером 2, и по результатам успешного освоения которой предусматривается получение выпускниками документов государственного образца об образовании Партнера 1 (см. рис. 2).

В целях выполнения условий настоящего Договора Партнер 1 обязуется:

- Проводить проверку необходимых для зачисления документов, формирование личных дел; организовывать вступительные испытания и зачисление абитуриентов на обучение по Образовательной программе с целью получения ими высшего образования по направлению Образовательной программы.
- Реализовывать свою часть Образовательной программы в соответствии с учебным планом Образовательной программы.

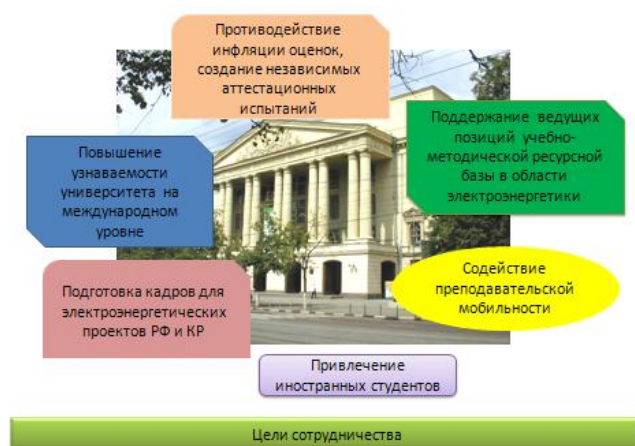


Рис. 1. Цели МЭИ в развитии сетевой программы

- Проводить промежуточные и государственные итоговые аттестации.
- Вести учет результатов образовательного процесса и внутренний документооборот.
- выдавать обучающимся по Образовательной программе промежуточные документы (справку об обучении у Партнера 1, академическую справку) и диплом магистра государственного образца РФ обучающимся, которые успешно завершили обучение по Образовательной программе.

В целях выполнения условий настоящего Договора Партнер 2 обязуется:

- Проводить рекламную кампанию и формировать контингент поступающих на Программу № 1.
- Осуществлять предварительное формирование личных дел контингента поступающих на Программу № 1 для передачи их Партнеру 1.

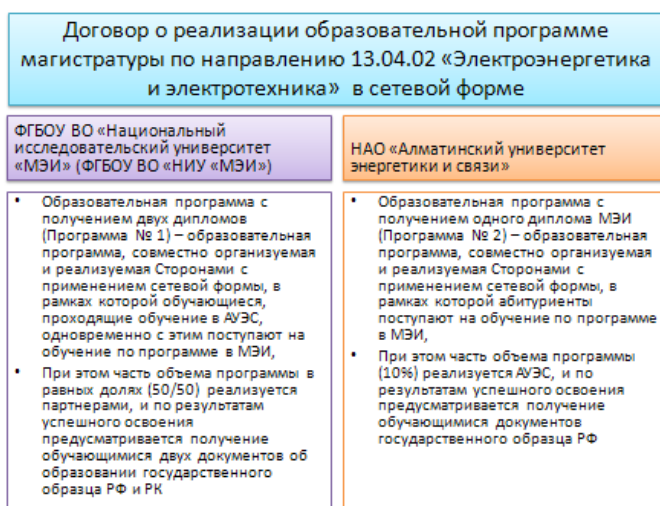


Рис. 2. Правила реализации сетевой программы для студентов России и Казахстана

- Реализовывать свою часть Образовательной программы в соответствии с учебным планом Образовательной программы.

Стоимость обучения по Программе № 1 и Программе № 2 на условиях полного возмещения затрат ежегодно определяется Партнером 1 и согласовывается с Партнером 2, указывается в индивидуальных договорах на обучение. Стоимость обучения по Программе № 1 уменьшается по сравнению с Программой № 2 пропорционально объему перезачитываемых дисциплин Образовательной программы в соответствии с Протоколом. Плата за обучение вносится обучающимися на счет Партнера 1. Объем средств, пропорциональный вкладу Сторон в реализацию Образовательной программы, определяется не реже одного раза в год на основании утвержденных учебных планов и числа учащихся по каждой из Программ и указывается в Протоколе согласования цены к настоящему Договору, подписанном уполномоченными представителями Сторон.

Перечисление объема средств Партнера 2, полученных от реализации Программы № 1, осуществляется банковским переводом в казахстанских тенге по курсу на дату приема абитуриентов к Партнеру 2 на основании Акта сдачи-приемки услуг и выставленного счета в соответствии с подписанным Протоколом. Оплата обучения по Программе № 1 производится в валюте Республики Казахстан – тенге, оплата обучения по Программе № 2 производится в валюте Российской Федерации – рублях.

Сроки предоставления услуг Партнером 2 и их доля от общего объема оказываемых услуг обучающимся по Программе № 1 реализуются по следующей схеме:

1) *Осенний семестр (всего 50% от общего объема):*

a) *Первый этап:* с 01 сентября по 30 ноября (30% от общего объема).

b) *Второй этап:* с 01 декабря по 15 января (20% от общего объема).

2) *Весенний семестр (всего 50% от общего объема):*

a) *Первый этап:* с 01 февраля по 30 апреля (30% от общего объема).

b) *Второй этап:* с 01 мая по 20 июля (20% от общего объема).

Правом поступления на Программу № 1 обладают лица, имеющие документ о высшем образовании, дающим право на освоение программы магистратуры, а также являющиеся действующими студентами магистратуры Партнера 2. Правом поступления на Программу № 2 обладают лица, имеющие документ о высшем образовании, дающий право на освоение Образовательной программы магистратуры.

Партнер 1 рассматривает заявления о приеме на Программу № 1 и, в случае возможности принять абитуриента на обучение по Программе № 1, передает информацию об абитуриенте Партнеру 2 для определения возможности зачисления абитуриента на Программу № 1. Абитуриент может быть принят на Программу № 1 только

в случае предоставления Партнером 2 документа, подтверждающего факт обучения абитуриента у Партнера 2 по программе магистратуры или программе дополнительного профессионального образования.

III. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ СЕТЕВОЙ ПРОГРАММЫ

Содержание Образовательной программы, реализуемой в сетевой форме, определяется учебным планом. При реализации Программы № 1 в общем объеме Образовательной программы выделяется объем учебных дисциплин, перезачитываемых Партнером 1 студентам Партнера 2. Оставшийся объем Образовательной программы реализуется Сторонами в равных долях. При реализации Программы № 2 не менее 10 процентов Образовательной программы обеспечивается трудовым ресурсом Партнера 2 с оформлением его сотрудников Партнера 2 у Партнера 1 по внешнему совместительству. Трудовое совместительство предусматривает прием сотрудников Партнера 2 к Партнеру 1 в качестве дистанционных работников согласно Трудовому кодексу Российской Федерации.

Программы подготовки, рабочие учебные планы, электронные учебно-методические комплексы формируются Сторонами совместно согласно распределению ответственности по реализации учебного плана, размещаются в электронной информационно-образовательной среде Партнера 1 и образуют образовательную среду, к которой обеспечивается гарантированный доступ обучающихся. Обучение осуществляется Сторонами согласно распределению дисциплин в соответствии с учебным планом Образовательной программы (см. рис. 3).

При обучении по Программе № 1 Партнер 1 направляет обучающихся к Партнеру 2 в течение 2 месяцев с момента начала реализации Образовательной программы. Партнер 2 не реже одного раза в год предоставляет Партнеру 1 документ, подтверждающий результаты освоения обучающимися своей части Образовательной программы.

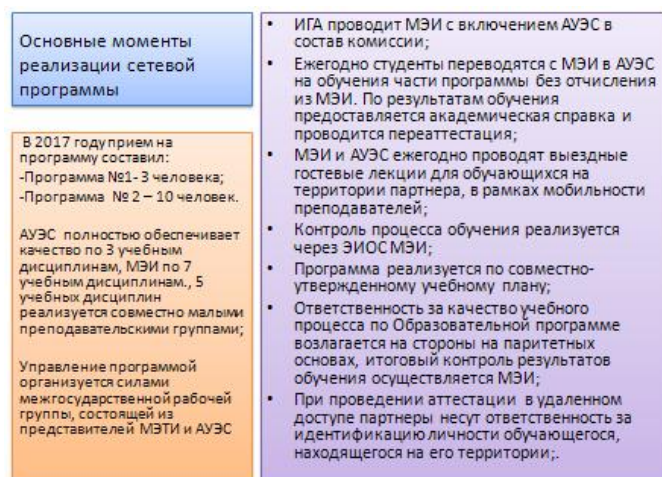


Рис. 3. Основные моменты реализации сетевой программы

Обучение проводится на русском языке. Вся документация по обучению студентов ведется на русском языке. В качестве ресурсного центра выступает Московский энергетический университет, обладающий наибольшим инновационным, научным, кадровым и материально-техническим потенциалом [8, 9, 10].

При обучении по Программе студенты магистратуры обеспечиваются возможностью освоения своей части Образовательной программы с применением дистанционных образовательных технологий.

Именно дистанционные технологии позволяют организовать эффективное общение преподавателей МЭИ и студентов, проживающих в г. Алматы. Они служат важнейшей частью выстраивания программы и позволяют обеспечить ресурсами студентов программы.

Огромная роль при использовании дистанционных технологий отводится электронным учебным курсам и полноте их наполнения. Также важными условиями являются разнообразие заданий и четкость требований к периоду освоения материалов. Все эти задачи реализуются с использованием электронно-информационной обучающей системы ПРОМЕТЕЙ.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Высокая динамика общественных отношений в сфере высшего образования, адаптация рынка образовательных услуг к потребностям национальной экономики, изменения спроса и предложения на образовательные услуги и необходимость повышения собственной конкурентоспособности обуславливают интерес образовательных организаций высшего образования к инновационным формам организации образовательного процесса. Данные формы основываются на применении

ресурсов партнерских университетов, дистанционных образовательных технологиях и обоюдывыгодной договорной политики при построении образовательных программ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Федеральный закон от 29.12.2012 N 273-ФЗ (ред. от 01.05.2017, с изм. от 05.07.2017) "Об образовании в Российской Федерации".
- [2] Волошин А.В. Методика оценки конкурентоспособности организаций на рынке образовательных услуг высшего образования [Текст]/А.В. Волошин, Ю.Л. Александров // Экономические и гуманитарные науки. –2017. –№ 9. – С.108–118.
- [3] Давыдова, Н. Н. Научно-образовательные сети: теория, практика: монография / Н.Н. Давыдова, Е.М. Дорожкин, В.А. Федоров. – Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2016. – 481 с.
- [4] Кастельс, М. Становление общества сетевых структур / М. Кастельс // Новая постиндустриальная волна на Западе. Антология / под ред. В.Л. Иноземцева. –Москва: Академия, 1999. С. 494 – 505.
- [5] Мазник, А. Ф. Сетевая организация профильного обучения на основе взаимодействия учреждения общего и дополнительного образования: дис. . канд. пед.х наук: 13.00.01 / А.Ф. Мазник. - Сочи, 2004. – 153 с.
- [6] Организация сетевого взаимодействия общеобразовательных учреждений, внедряющих инновационные образовательные программы, принимающих участие в конкурсе на государственную поддержку / под ред. А.И. Адамского. – М.: Эврика, 2006.
- [7] Пинчук, Н. В. Моделирование социокультурных сетей в процессе формирования образовательного пространства / Н.В. Пинчук, М.С. Якушкина // Человек и образование. – 2011 - №4(29) – С. 35 – 39.
- [8] Реморенко, И. М. На путях к сетевому управлению [Электронный ресурс]/ И.М. Реморенко // Сеть исследовательских лабораторий «Школа для всех». 2003. Режим доступа: <http://altruism.ru/sengine.cgi/5/7/8/12/8>.
- [9] Сетевое партнерство в образовании / под ред. А.И. Адамского. М.: Эврика, 2004. – 247 с.
- [10] Castells, M. Materials for an Exploratory Theory of Network Society. / M. Castells // The British Journal of Sociology. – 2000. - № 51 – P. 5-14..



АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ



АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Абрамов А.В. 355
Алексеев Н.П. 359
Алексеев Н.С. 467
Алексейчик Л.В. 363
Алехин Р.В. 27, 31
Аметова М.М. 155
Андрианов Д.П. 35
Андреева И.Н. 257
Андрюшин А.В. 11
Анисимов А.Д. 367
Артюхов О.И. 39, 45
Асаинов Д.Н. 380
Афанасьева А.О. 49, 164

Б

Бабак Н.Г. 53
Бабанов Н.Д. 371
Бабичев И.А. 138
Бадалян Н.П. 35
Баженов Р.И. 61
Балуева Ю.А. 521
Батасова В.С. 57
Белогловский А.А. 376
Блашонков Т.О. 27
Богатенков С.А. 61
Болдырев И.А. 206
Борванов С.В. 380
Борисов А.А. 294
Борисова С.В. 192
Боровкова А.М. 67
Бородин Г.А. 257
Булыгина О.В. 94
Бурдунина Н.А. 72
Бутырин П.А. 31

В

Валуев П.В. 307
Варшавский П.Р. 31, 49
Васьков А.Г. 212
Васьковский А.А. 76
Вершинин Д.В. 76, 386
Виноградов Д.А. 155
Воронцов К.А. 261
Власов В.М. 134

Г

Галимова А.В. 376
Ганин П. 267

Гарганеев А.Г. 398
Гарина М.И. 150
Герус М.И. 155
Глебова А.Г. 114
Глушко А.А. 250
Головтеева А.Н. 273
Голубев В.И. 457
Горбунова А.О. 80
Гордеева И.В. 72
Горкина А.А. 240
Городничев С.В. 45
Грачева О.А. 509
Грибова О.В. 390
Григорьев С.В. 394
Григорьева О.Ю. 531
Гриша Б.Г. 330, 334
Гузненков В.Н. 84
Гуров Д.П. 38
Гусев О.Ю. 289

Д

Дементиенко А.В. 515
Демидов Д.В. 88
Демин А.А. 472
Денищук Д.А. 359
Деревянко А.В. 359
Димитриенко Ю.И. 278
Дли М.И. 178
Долгов Г.Ф. 476
Дорохов Е.В. 480
Дудышева Е.В. 525

Е

Егоров А.Ф. 515
Егорова Л.Е. 334
Емельянов А.А. 94
Емельянова Н.З. 94
Еремеев А.А. 80
Еремеев А.П. 98
Ерёменко В.Г. 284
Ефимов А.А. 398

Ж

Жегалин Д.В. 404
Жилманов В.Ю. 102
Жирнова Н.Б. 284
Жохова М.П. 363, 472, 484
Журавлева Л.В. 250
Журбенко П.А. 84

З

Завьялова А.А. 106
Зайченко М.Н. 330, 334
Запечников С.В. 110
Захаров А.А. 278
Захаров А.В. 289
Захаров В.В. 298
Зинченко Л.А. 250
Зонов А.Д. 294
Зотов С.С. 212

И

Иванов А.С. 404
Иванов В.К. 114
Иванов Д.А. 315, 490
Иванов О.Ю. 412
Иванова И.В. 315, 490
Иващенко А.В. 120
Ижуткин В.С. 294
Изюмов М.А. 348
Ионкин И.Л. 330
Ионова В.И. 124
Исаева О.И. 72

К

Казаков В.В. 250
Калганова С.Г. 298
Камышова В.К. 531
Капустина О.М. 408
Каранэ М.М.С. 128
Карпунина М.В. 363
Касаткина Е.П. 134
Кауркин В.Н. 120
Киреев С.И. 451
Кирсанов М.Н. 138
Кирякина М.А. 110
Киселев В.И. 499
Коберниченко В.Г. 412
Кобрин А.И. 267, 371
Кобяк А.Т. 416
Кожевников А.В. 31
Кожухов А.А. 98
Козинова М.А. 39
Колесник Г.П. 35
Колоденкова А. 196
Колосов О.С. 386
Комерзан Е.В. 521
Комиссарова Н.В. 509
Комлев И.В. 303
Кондратьева Т.М. 120

- Коркин В.С. 494
 Коровайцева Е.А. 142
 Королев И.В. 106,307
 Королев П.В. 461
 Кочнева М.Д. 57
 Кошеварова Н.А. 155
 Краюшкин В.В. 367, 472
 Крепков И.М. 45, 168
 Крупин Г.В. 76
 Крюков А.Ф. 53
 Кузин М.Г. 311
 Кузнецов Э.В. 499
 Кузнецова В.Ю. 521
 Кузьмичев В.А. 503
 Кузьмичева С.А. 110
 Куликова Е.А. 499
 Курдюкова Г.Н. 15
- Л**
- Лаврушко В.В. 80
 Лагутина С.В. 416
 Ладыгина А.К. 15
 Лапина Л.Г. 394
 Лебедев А.С. 355
 Лубенченко А.В. 315
 Лубенченко О.И. 315
- М**
- Макаревич Е.В. 11
 Макарчук В.В. 250
 Малевич Е.С. 321, 420
 Малуй А.А. 311
 Малышев В.С. 67
 Мангасарова М.Р. 67
 Маран М.М. 146
 Матвеев А.В. 503
 Матухин П.Г. 509
 Мельников С.Ю. 398
 Меренков Д.В. 494
 Меркурьев И.В. 390
 Микони С.В. 150
 Миронов П.Н. 155
 Михайлов А.Н. 21
 Михайлов М.С. 321, 344, 420
 Михайлова П.Г. 515
 Михеев Д.В. 363
 Мишин А.А. 367
 Младзиевский Е.П. 326
 Мнев Р.Д. 404
 Мунтян Е. 196
 Мухачёва И.Е. 27
 Мыцык Г.С. 261
- Н**
- Нгуен Хыу Нам 284
 Новикова О.В. 182
 Новичков М.Д. 160
- О**
- Образцов И.В. 114
 Овсянникова М.Р. 168
 Овчинников Н.Е. 386
 Озерова Н.В. 106
 Оладипо К.А. 503
 Орешкин Д.Н. 404
 Орлов Д.А. 160
 Очков В.Ф. 138
- П**
- Паламарчук Л.Н. 61
 Панкратьева Г.В. 390
 Папуловская Н.В. 447
 Парфенова О.И. 386
 Певченко С.И. 426
 Пермяков В.А. 321, 420
 Петров С.А. 164, 168
 Петрова О.В. 394
 Петрухин И.А. 172
 Плешанов К.А. 330
 Плыткевич В.В. 503
 Поваляев О.А. 431
 Погребисский М.Я. 435
 Позняк Е.В. 182
 Поляк Р.И. 76
 Поляков О.А. 120, 134
 Поляков С.А. 27
 Провоторова Е.А. 509
 Пузина Ю.Ю. 461
 Пучков А.Ю. 178
- Р**
- Радин В.П. 182
 Ревинская О.Г. 186
 Родин А.Б. 21
 Росляков П.В. 273, 330, 334
 Ростовиков М.В. 451
 Рубцов В.П. 435
 Рыженков Н.С. 192
 Рыжкова Е.Н. 326
- С**
- Савицкая Т.В. 515
 Салтыкова О.В. 509
 Сальманова Э.Ф. 435
 Сапунова А.А. 31
- Свириденко О.В. 521
 Свиридов Е.В. 355
 Семенкин В.В. 348
 Сергеев Н. 196
 Сиваковский А.М. 273
 Симонов В.Л. 155
 Скворцова Т.М. 531
 Смирнов А.А. 206
 Смирнова М.И. 21
 Смыслина А.И. 80
 Солнышкова О.В. 525
 Сосновский А.В. 412
 Стерхов К.В. 330
 Столбова И.Д. 202
 Стрелков Н.О. 338, 344
 Султанов М.М. 206
 Супранов В.М. 330, 348
 Сутченков А.А. 441
 Сысоев А.А. 212
- Т**
- Тараторин А.А. 217
 Титов Д.А. 76
 Тихонов А.И. 441
 Токарев В.А. 221
 Тригорлый С.В. 298
 Тульский В.Н. 192
- У**
- Уварова А.А. 416
 Уварова Е.А. 416
 Удрис Е.Я. 531
- Ф**
- Федоров М.М. 39
 Федорова Е.В. 67
 Федорова С.В. 447
 Фролов Н.Я. 76
 Фёдоров К.А. 447
 Фоменко К.С. 359
- Х**
- Ханнанов Н.К. 431
 Хейфец А.Л. 225
 Хмыров Н.А. 155
 Хоменко С.В. 431
 Хорев П.Б. 232
 Хохлов Д.А. 334
 Хроматов В.Е. 142, 182
 Хруслов Л.Л. 451

Ц

Цыганов Д.А. 408
Цымбалов Е.В. 457

Ч

Чернецов А.М. 76, 244
Чибизова Н.В. 236, 240
Чо Г.Ч. 289
Чуркина Л.В. 240

Ш

Шакирзянов Ф.Н. 31
Шамаева О.Ю. 102, 244
Шахнов В.А. 250
Шахова А.Б. 202
Шевченко И.В. 311
Шиндина Т.А. 537
Ширинкина М.А. 202
Ширинский С.В. 494, 503
Шишов В.А. 451
Шмелёв В.Е. 124, 172

Щ

Щербатов И.А. 11
Щербачева О.С. 307
Щукин Ф.О. 155

Ю

Юров Н.Н. 155

Я

Янина Г.М. 394
Ячевский И.А. 461

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. ИНДУСТРИЯ 4.0 И ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Андрюшин А.В., Щербатов И.А., Макаревич Е.В.

ОРГАНИЗАЦИЯ ИННОВАЦИОННОЙ И НАУЧНОЙ РАБОТЫ МОЛОДЕЖИ В ПАРАДИГМЕ УНИВЕРСИТЕТ 3.0..... 11

Курдюкова Г.Н., Ладыгина А.К.

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ..... 15

Михайлов А.Н., Родин А.Б., Смирнова М.И.

ГУМАНИТАРИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ИНДУСТРИИ 4.0..... 21

Секция 2. ИНФОРМАЦИОННОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Алёхин Р.В., Блашонков Т.О., Мухачёва И.Е., Поляков С.А.

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДУЛЬНОЙ СВР-СИСТЕМЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СТУДЕНТАМИ ПРИНЦИПОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТОВ..... 27

Алёхин Р.В., Варшавский П.Р., Кожевников А.В., Бутырин П.А., Шакирзянов Ф.Н., Сапунова А.А

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ АНАЛИЗА WIKI-СТАТЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ БАЗЫ ЗНАНИЙ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ..... 31

Андрианов Д.П., Бадалян Н.П., Колесник Г.П.

ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»..... 35

Артюхов О.И., Козинова М.А., Федоров М.М., Гуров Д.П.

УЧЕБНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС РАСЧЕТА ЖЕСТКОЙ ОШИНОВКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ..... 39

Артюхов О.И., Крепков И.М., Городничев С.В.

ПОДСИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ЭЛЕМЕНТОВ СЕТИ..... 45

Афанасьева А.О., Варшавский П.Р.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ В СОВРЕМЕННЫХ СУБД..... 49

Бабак Н.Г., Крюков А.Ф.

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕКЛАМНОГО БУКЛЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ..... 53

Батасова В.С., Кочнева М.Д.

КАФЕДРАЛЬНАЯ СИСТЕМА VINP+ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ... 57

<i>Богатенков С.А., Паламарчук Л.Н., Баженов Р.И.</i> ВНЕДРЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: МЕТОДОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ.....	61
<i>Боровкова А.М., Малышев В.С., Федорова Е.В., Мангасарова М.Р.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ОХРАНЕ ТРУДА И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ.....	67
<i>Бурдунина Н.А., Гордеева И.В., Исаева О.И.</i> КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБРАЗОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ.....	72
<i>Васьковский А.А., Вершинин Д.В., Крупин Г.В., Поляк Р.И., Титов Д.А., Фролов Н.Я., Чернецов А.М.</i> ОРГАНИЗАЦИЯ ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ПРИЕМА ДОКУМЕНТОВ ПОСТУПАЮЩИХ В НИУ «МЭИ» И ЕГО ФИЛИАЛЫ.....	76
<i>Горбунова А.О., Еремеев А.А., Лаврушко В.В., Смыслина А.И.</i> РАЗРАБОТКА ВЕБ-СЕРВИСА ДЛЯ ПОДАЧИ И РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ ДОКЛАДОВ НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ SHAREPOINT SERVER НА ПРИМЕРЕ КОНФЕРЕНЦИИ ИНФОРИНО-2018.....	80
<i>Гузненков В.Н., Журбенко П.А.</i> УЧЕБНАЯ ДИСЦИПЛИНА «КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА» ДЛЯ СИСТЕМЫ ОТКРЫТОГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	84
<i>Демидов Д.В.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОНТОЛОГИЙ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	88
<i>Емельянов А.А., Булыгина О.В., Емельянова Н.З.</i> КОМПЛЕКСНОЕ ИМИТАЦИОННО-РОЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДВИЖЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В РЕГИОНЫ.....	94
<i>Еремеев А.П., Кожухов А.А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ ПОИСКА РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТЕОРЕТИКО-ИГРОВЫХ МЕТОДОВ ПРИ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ В МАГИСТРАТУРЕ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА».....	98
<i>Жилманов В.Ю., Шамаева О.Ю.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА ДЛЯ МНОГОЯДЕРНЫХ АРХИТЕКТУР.....	102
<i>Завьялова А.А., Озерова Н.В., Королев И.В.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕРИИ «ЭКОЛОГ» В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИИ.....	106
<i>Запечников С.В., Кузьмичёва С.А., Кирякина М.А.</i> КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ КОМПРОМЕТАЦИИ СЕКРЕТНЫХ КЛЮЧЕЙ.....	110
<i>Иванов В.К., Глебова А.Г., Образцов И.В.</i> КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ИННОВАЦИОННОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ.....	114

<i>Иващенко А.В., Кондратьева Т.М., Кауркин В.Н., Поляков О.А.</i> МЕТОДИКА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОЕКТИВНОГРАФИЧЕСКИХ ЧЕРТЕЖЕЙ МНОГОГРАННИКОВ ОБЩЕГО ВИДА.....	120
<i>Ионова В.И., Шмелёв В.Е.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО ЭФФЕКТА ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ ДРОССЕЛЯ...	124
<i>Каранэ М. М. С.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ МЕТОДОВ УСЛОВНОЙ ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ.....	128
<i>Касаткина Е.П., Поляков О.А., Власов В.М.</i> ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УЧЕБНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ Инженерная практика в довузовской подготовке.....	134
<i>Кирсанов М.Н., Очков В.Ф., Бабичев И.А.</i> ИНДУКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ГРАФОВ ТЕПЛОВЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.....	138
<i>Коровайцева Е.А., Хроматов В.Е.</i> ОБ ОСОБЕННОСТЯХ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ В ЗАДАЧАХ КУРСА МЕХАНИКИ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ.....	142
<i>Маран М.М.</i> ВОПРОСЫ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ДИСЦИПЛИНЕ «ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ».....	146
<i>Микони С.В., Гарина М.И.</i> МЕТОДИКА СТРУКТУРИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ЗАДАЧЕ ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ.....	150
<i>Миронов П.Н., Герус М.И., Симонов В.Л., Аметова М.М., Щукин Ф.О., Хмыров Н.А., Юров Н.Н., Виноградов Д.А., Кошеварова Н.А.</i> ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЗАНЯТИЙ ПО ОСНОВАМ ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОНИКИ, АВТОМАТИКИ И РОБОТОТЕХНИКИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ БАКАЛАВРОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ.....	155
<i>Новичков М.Д., Орлов Д.А.</i> АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ АРИФМЕТИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ ДЕЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ.....	160
<i>Петров С.А., Афанасьева А.О.</i> ИНФОРМАЦИОННЫЕ СЕРВИСЫ ДЛЯ СТРУКТУРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ В РАМКАХ ЛИЧНОГО КАБИНЕТА МЭИ.....	164
<i>Петров С.А., Крепков И.М., Овсянникова М.Р.</i> ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА КОНТИНГЕНТА СТУДЕНТОВ НИУ МЭИ.....	168
<i>Петрухин И.А., Шмелёв В.Е.</i> ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ СЦЕНАРИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ НА ОСНОВЕ ЭКОНОМИЧНЫХ МАТРИЧНЫХ МЕТОДОВ.....	172

<i>Пучков А.Ю., Дли М.И.</i> ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	178
<i>Радин В.П., Позняк Е.В., Новикова О.В., Хроматов В.Е.</i> РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ В СИСТЕМЕ MATLAB.....	182
<i>Ревинская О.Г.</i> ВОЗМОЖНОСТИ MATLAB ПО СОЗДАНИЮ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ФУНКЦИЙ С ПЕРЕМЕННЫМ КОЛИЧЕСТВОМ ПАРАМЕТРОВ.....	186
<i>Рыженков Н.С., Тульский В.Н., Борисова С.В.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ.....	192
<i>Сергеев Н., Колоденкова А., Мунтян Е.</i> ОЦЕНКА КВАЛИФИКАЦИИ ВЫПУСКНИКОВ ВУЗОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ ГРАФОВЫХ ПОДХОДОВ.....	196
<i>Столбова И.Д., Шахова А.Б., Ширинкина М.А.</i> ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГЕОМЕТРО-ГРАФИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ.....	202
<i>Султанов М.М., Болдырев И.А., Смирнов А.А.</i> РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА ВУЗА НА БАЗЕ ЭЛЕКТРОННОГО КАМПУСА.....	206
<i>Сысоев А.А., Зотов С.С., Васьков А.Г.</i> УЧЕБНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПО ПЛАНИРОВАНИЮ РЕЖИМА РАБОТЫ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ.....	212
<i>Тараторин А.А.</i> КОМПЛЕКС ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ОПТИМИЗАЦИИ МЕРОПРИЯТИЙ СНИЖЕНИЯ ШУМА.....	217
<i>Токарев В.А.</i> КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПРОГРАММ В КОНКУРСАХ ПО КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКЕ.....	221
<i>Хейфец А.Л.</i> ПРОГРАММИРОВАНИЕ В ИНЖЕНЕРНОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ на примере модели червячной фрезы.....	225
<i>Хорев П.Б.</i> АУТЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ИХ РАБОТЕ В ИНТЕРНЕТЕ.....	232
<i>Чибизова Н.В.</i> ПРОБЛЕМЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ.....	236
<i>Чуркина Л.В., Чибизова Н.В., Горкина А.А.</i> О БАЗОВОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРОВ.....	240

Шамаева О.Ю., Чернецов А.М.
ПРОБЛЕМЫ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ
ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ..... 244

Шахнов В.А., Зинченко Л.А., Казаков В.В., Журавлева Л.В., Глушко А.А., Макачук В.В.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ АНАЛОГОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ
ПРОЕКТИРОВЩИКОВ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ..... 250

Секция 3. ИТ В ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЁТАХ И ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭНЕРГЕТИКИ

Бородин Г.А., Андреева И.Н.
ОПЫТ ОБУЧЕНИЯ РАБОТЕ С РАСПРЕДЕЛЁННЫМИ ПРИЛОЖЕНИЯМИ..... 257

Воронцов К.А., Мыцык Г.С.
ИМИТАЦИОННОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СРЕДСТВО РЕШЕНИЯ
ЗАДАЧ СИСТЕМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЕНЕРИРУЮЩИХ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ..... 261

Ганин П., Кобрин А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
КОНТРОЛЛЕРА С ПРОГРАММИРУЕМОЙ ЛОГИКОЙ, АДАПТИВНОЙ НЕЙРОННОЙ
СЕТИ И АЛГОРИТМА УТОЧНЕНИЯ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ... 267

Головтеева А.Н., Сиваковский А.М., Росляков П.В.
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА
НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ..... 273

Димитриенко Ю.И., Захаров А.А.
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ ПРЕПРОЦЕССОРА
ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SIGMA ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ЗАДАЧ МЕХАНИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ..... 278

Ерёменко В.Г., Нгуен Хыу Нам, Жирнова Н.Б.
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ ОБУЧЕНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЮ НА ПРИМЕРЕ
АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО ГЕНЕРАТОРА..... 284

Захаров А.В., Гусев О.Ю., Чо Г.Ч.
РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ
ДАННЫХ..... 289

Ижуткин В.С., Зонов А.Д., Борисов А.А.
ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ИНЖЕНЕРНОМ
ОБРАЗОВАНИИ НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН..... 294

Калганова С.Г., Тригорлый С.В., Захаров В.В.
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СВЧ ТЕРМООБРАБОТКИ
ДИЭЛЕКТРИКОВ..... 298

<i>Комлев И.В.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТОТНЫХ СВОЙСТВ ДЛИННОЙ СИЛОВОЙ ЛИНИИ ПИТАНИЯ АЭРОДРОМНОЙ СВЕТОСИГНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ.....	303
<i>Королев И.В., Валув П.В., Щербачева О.С.</i> ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ ЦИФРОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВСТРОЕННОЙ ОБРАБОТКИ ТОКОВОГО СИГНАЛА УСТРОЙСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДУГОВОГО ПРОБОЯ (УОДП).....	307
<i>Кузин М.Г., Шевченко И.В., Малуй А.А.</i> КОМПЛЕКС ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВЕРИФИКАЦИИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СБИС.....	311
<i>Лубенченко А.В., Лубенченко О.И., Иванов Д.А., Иванова И.В.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА МАТЛАВ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ.....	315
<i>Малевич Е.С., Михайлов М.С., Пермьяков В.А.</i> МЕТОД ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В УЧЕБНОЙ И ИНЖЕНЕРНОЙ ПРАКТИКЕ.....	321
<i>Младзиевский Е.П., Рыжкова Е.Н.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РЕЗИСТИВНОМ ЗАЗЕМЛЕНИИ НЕЙТРАЛИ.....	326
<i>Росляков П.В., Плешанов К.А., Супранов В.М., Зайченко М.Н., Ионкин И.Л., Стерхов К.В., Гриша Б.Г.</i> РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ЖАРОТРУБНОГО ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА, ЕЕ ВЕРИФИКАЦИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ..	330
<i>Росляков П.В., Хохлов Д.А., Егорова Л.Е., Зайченко М.Н., Гриша Б.Г.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ANSYS ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ГАЗОВОГО ТРАКТА ВЫНОСНОГО ЭКОНОМАЙЗЕРА.....	334
<i>Стрелков Н.О.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ И ЦЕПЕЙ В SCILAB И XCOS..	338
<i>Стрелков Н.О., Михайлов М.С.</i> СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ВОЛНОВОДА ИСПАРЕНИЯ.....	344
<i>Супранов В.М., Изюмов М.А., Семенкин В.В.</i> СОВМЕСТНЫЙ РАСЧЕТ КОТЛОВ И ПЫЛЕСИСТЕМ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММ BOILER DESIGNER И STOKER.....	348

Секция 4. ИТ В УЧЕБНЫХ, ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ

<i>Абрамов А.В., Лебедев А.С., Свиридов Е.В.</i> СИСТЕМА ПРЕЦИЗИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И КОРРЕЛЯЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ	355
--	-----

<i>Алексеев Н.П., Денищук Д.А., Фоменко К.С., Деревянко А.В.</i> РЕАЛИЗАЦИЯ И ВНЕДРЕНИЕ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ЭКОЛАБ».....	359
<i>Алексейчик Л.В., Жохова М.П., Михеев Д.В., Карпунина М.В.</i> ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ: ОТ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ДО ВИРТУАЛЬНОГО.....	363
<i>Анисимов А.Д., Краюшкин В.В., Мишин А.А.</i> РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫМ ОСЦИЛЛОГРАФОМ GW INSTEK GDS-2062.....	367
<i>Бабанов Н.Д., Кобрин А.И.</i> ПРИМЕНЕНИЕ СТАБИЛОГРАФИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОГРАНИЧЕНИЯ ПОДВИЖНОСТИ СУСТАВОВ ЧЕЛОВЕКА В ЗАДАЧЕ СОХРАНЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОЗЫ.....	371
<i>Белогловский А.А., Галимова А.В.</i> ОЦЕНКА СРЕДСТВАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАВИН В ВОЗДУХЕ.....	376
<i>Борванов С.В., Асаинов Д.Н.</i> ТЕРМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ КАБЕЛЕЙ ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ ОБЪЕКТОВ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ГЕНЕРАЦИИ К ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ.....	380
<i>Вершинин Д.В., Колосов О.С., Овчинников Н.Е., Парфенова О.И.</i> ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА СВОЙСТВ ЗАМКНУТОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ.....	386
<i>Грибова О.В., Меркурьев И.В., Панкратьева Г.В.</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ В ДИНАМИКЕ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА.....	390
<i>Григорьев С.В., Лапина Л.Г., Петрова О.В., Янина Г.М.</i> ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА КОМПАНИИ «НАУЧНЫЕ РАЗВЛЕЧЕНИЯ» НА КАФЕДРЕ ФИЗИКИ ИМЕНИ В.А.ФАБРИКАНТА МОСКОВСКОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА.....	394
<i>Ефимов А.А., Мельников С.Ю., Гарганеев А.Г.</i> ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.....	398
<i>Иванов А.С., Орешкин Д.Н., Мнев Р.Д., Жегалин Д.В.</i> КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ MATLAB & SIMULINK ДЛЯ УЧЕБНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ.....	404
<i>Капустина О.М., Цыганов Д.А.</i> ТИПОВЫЕ РАСЧЁТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ В КУРСЕ РОБОТОТЕХНИКИ.....	408
<i>Коберниченко В.Г., Иванов О.Ю., Сосновский А.В.</i> ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НА БАЗЕ ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕНТРА КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА.....	412

<i>Кобяк А.Т., Лагутина С.В., Уварова А.А., Уварова Е.А.</i> ПРОГРАММНЫЙ УЧЕБНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО ЭЛЕКТРОНИКЕ.....	416
<i>Малевич Е.С., Михайлов М.С., Пермьяков В.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ВЛИЯНИЯ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН.....	420
<i>Певченко С.И.</i> ВЕРИФИКАЦИЯ КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ DEEDS.....	426
<i>Поваляев О.А., Хоменко С.В., Ханнанов Н.К.</i> УСТАНОВКИ ПРАКТИКУМА ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ ВУЗОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ДАТЧИКОВ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ.....	431
<i>Сальманова Э.Ф., Рубцов В.П., Погребисский М.Я.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СТРУКТУРНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЕЧЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ.....	435
<i>Сутченков А.А., Тихонов А.И.</i> ВИРТУАЛЬНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМ МАТЕРИАЛАМ.....	441
<i>Федорова С.В., Фёдоров К.А., Папуловская Н.В.</i> ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА ПОДГОТОВКИ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ ГОРНО- МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА.....	447
<i>Хруслов Л.Л., Ростовиков М.В., Шишов В.А., Киреев С.И.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ НА ПРИМЕРЕ "УМНОЙ" РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ПОДСТАНЦИИ НИУ "МЭИ".....	451
<i>Цымбалов Е.В., Голубев В.И.</i> АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ.....	457
<i>Ячевский И.А., Королев П.В., Пузина Ю.Ю.</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ В ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕПЛОЕМКОСТИ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ РЕГУЛЯРНОГО РЕЖИМА.....	461

Секция 5. ДИСТАНЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ

<i>Алексеев Н.С.</i> СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ И СТУДЕНТОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ GOOGLE Автоматизированное рабочее место преподавателя.....	467
---	-----

<i>Демин А.А., Жохова М.П., Краюшкин В.В.</i> РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ.....	472
<i>Долгов Г.Ф.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ MULTISIM В ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТАХ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ».....	476
<i>Дорохов Е.В.</i> АДАПТАЦИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ СХЕМ ТУРБОУСТАНОВОК И ЭНЕРГООБЛОКОВ» К РЕАЛЬНЫМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ УСЛОВИЯМ В СИСТЕМЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	480
<i>Жохова М.П.</i> ПРЕПОДАВАНИЕ БАЗОВЫХ ДИСЦИПЛИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	484
<i>Иванов Д.А., Иванова И.В.</i> КОМПЬЮТЕРНОЕ САМОТЕСТИРОВАНИЕ СТУДЕНТОВ КАК ЭЛЕМЕНТ ДИСТАНЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ПОВЫШАЮЩИХ ИНТЕРЕС К ИЗУЧЕНИЮ КУРСА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ.....	490
<i>Коркин В.С., Меренков Д.В., Ширинский С.В.</i> ЭЛЕКТРОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ....	494
<i>Кузнецов Э.В., Киселев В.И., Куликова Е.А.</i> ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДИСЦИПЛИНЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА.....	499
<i>Матвеев А.В., Оладипо Кадри А., Плыткевич В.В., Кузьмичев В.А., Ширинский С.В.</i> DRIVECONSTRUCTOR: ОНЛАЙН-КУРС ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПО СИСТЕМАМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	503
<i>Матухин П.Г., Грачева О.А., Провоторова Е.А., Комиссарова Н.В., Салтыкова О.В.</i> ТАБЛИЦЫ EXCEL КАК ПРОСТОЙ ИНТЕРФЕЙС КОМПЛЕКСНЫХ АВТОРСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ МАССОВОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРЕПОДАВАНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ ЯЗЫКОВЫХ ДИСЦИПЛИН. На примере WORD, GIFT, СДО MOODLE и тренажеров QUIZLET.....	509
<i>Савицкая Т.В., Егоров А.Ф., Михайлова П.Г., Дементюенко А.В.</i> МНОГОУРОВНЕВАЯ ПОДГОТОВКА ХИМИКОВ-ТЕХНОЛОГОВ В МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЙ СИСТЕМЕ ОБУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	515
<i>Свириденко О.В., Кузнецова В.Ю., Балужева Ю.А., Комерзан Е.В.</i> ПЛАНИРОВАНИЕ И УЧЕТ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ ПРОФЕССОРСКО- ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО СОСТАВА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	521

<i>Солнышкова О.В., Дудышева Е.В.</i> ИНТЕРАКТИВНЫЕ МУЛЬТИМЕДИА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА РАБОТЕ С ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ.....	525
<i>Удрис Е.Я., Григорьева О.Ю., Камышова В.К., Скворцова Т.М.</i> ДИСТАНЦИОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРЕПОДАВАНИИ ХИМИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН В НИУ «МЭИ»: ПРОБЛЕМЫ И ДОСТИЖЕНИЯ.....	531
<i>Шиндина Т.А.</i> РОЛЬ ДИСТАНЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАЗВИТИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ В СЕТЕВОЙ ФОРМЕ: ОПЫТ И АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ.....	537
<i>Авторский указатель</i>	542

Научное издание

ИНФОРИНО-2018

МАТЕРИАЛЫ IV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ»

23–26 октября 2018 г.
Москва

Подписано в печать 28.09.2018.
Усл.печ. л. 64,64

Печать цифровая
Тираж 40 экз.

Формат 60×84/8
Заказ №

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
111250, Москва, Красноказарменная ул., д. 14,
Тел/факс (495)362 7560, адрес в Интернете <http://mpei.ru>,
электронная почта: universe@mpei.ac.ru

Отпечатано в типографии НИУ «МЭИ» с электронного оригинал-макета.
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 13.