

БАЛАКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»



# СБОРНИК ТРУДОВ

VI МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
И ПУТИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ,  
ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

ТОМ I

Балаково 2020

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Балаковский инженерно-технологический институт

# **СБОРНИК ТРУДОВ**

**VI Международной  
научно-практической конференции**

**«Актуальные проблемы и пути развития энергетики,  
техники и технологий»**

**Том I**

Балаково 2020

УДК 621.311, 677, 620.9

ББК 31.4+35.71+31.19

Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий» (23 апреля 2020 года). М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2020. Т. I. – 327 с.

Сборник содержит статьи по итогам докладов, включенных в программу VI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий» 23 апреля 2020 года в БИТИ НИЯУ МИФИ.

Материалы сборника включают в себя широкий круг вопросов: инновационные проекты и технологии в энергетике и машиностроении; информационные технологии в науке и образовании; информационные технологии и автоматизация в технических системах и управлении; технология и переработка органических и неорганических материалов; инновационные технологии и автоматизация в строительстве зданий и сооружений; актуальные проблемы и тенденции социально-экономического развития управления и образования.

Сборник предназначен преподавателям, ученым, аспирантам, студентам и специалистам, интересующимся тематикой представленных научных направлений.

**Редакционная коллегия**

**ответственный редактор:** Р.А. Кобзев

**члены редакционной комиссии:** О.В. Виштак, С.Н. Грицюк, Т.А. Голова,  
Т.А. Ефремова, Э.Ф. Кочеваткина, О.Н. Михайлова, М.А. Фролова,  
Н.М. Чернова, В.М. Герасимова, Е.В. Свиридова, К.А. Куклева.

Под общей редакцией  
руководителя Балаковского инженерно-технологического института  
В.М. Земскова

Статьи сборника издаются в авторской редакции.

ISBN 978-5-7262-2686-6

© Балаковский инженерно-технологический  
институт (филиал)  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», 2020

Подписано в печать 27.05.2020. Формат 60x84 1/16

Печ. л. 20,44. Тираж 100 экз. Заказ №1

*Балаковский инженерно-технологический институт (филиал)  
Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»*

*Типография БИТИ НИЯУ МИФИ*

*413853, Саратовская обл., г. Балаково, ул. Чапаева, д. 140*

## **СОДЕРЖАНИЕ**

### **VI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ, ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ»**

#### **СЕКЦИЯ 1:**

#### **«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ»**

##### **БЕРЕЛА А.И., ТОМИЛИН С.А., ФЕДОТОВ А.Г.**

Логистика обращения с отходами демонтажа оборудования в проекте вывода из эксплуатации блока АЭС..... 10

##### **ГАРИЕВСКИЙ М.В.**

Выбор эффективных режимов тепловых электростанций с учетом ресурсных показателей работы оборудования..... 15

##### **ГОРЯЧКИНА В.В., УСТИНОВ Н.А.**

Ветрогенератор для Саратовской области..... 20

##### **ГУБАТЕНКО М.С., СТЕЛЬМАХ И.В.**

Автоматизированное проектирование схем электроснабжения предприятий средствами общедоступного программного обеспечения для персональных компьютеров как инструмент освоения профессиональных компетенций студентами высших учебных заведений направления «Электроэнергетика и электротехника» в условиях дистанционного образования..... 27

##### **ЕФРЕМОВА Т.А.**

Расчет надежности системы бесперебойного питания фрезерного станка с подвижной стойкой..... 33

##### **КОРОБЕЙНИКОВ В.В., ЛУНИН Е.А., МИХАЛЕВ А.В., ЧЕРНОВ Д.О.**

Анализ возможности использования америция-241 для производства тепловой и электрической энергии ..... 41

##### **КОСТИН Д.А., РАЗУВАЕВ А.В.**

Зависимость мощности энергоустановок от вида используемого топлива ..... 46

##### **ЛЕВЧЕНКО В.А., КАЩЕЕВ М.В., ДОРОХОВИЧ С.Л., ЗАЙЦЕВ А.А.**

Моделирование аварии с блокировкой проходного сечения технологического канала в реакторе «Мастер»..... 51

<b>ЛУСКАНЬ О.А.</b>	
Параметры движения грузов на импульсном ленточном конвейере .....	58
<b>ЛУСКАНЬ О.А.</b>	
Обоснование условий движения грузов на двухсекционном импульсном инерционном роликовом конвейере .....	64
<b>МАРЬИНА Н.Л.</b>	
Определение запасов прочности шатунных шеек и щек коленчатого вала высокофорсированного дизеля .....	70
<b>МАРЬИНА Н.Л.</b>	
Определение запасов прочности коренных шеек вала форсированного дизеля.....	74
<b>МАРЬИНА Н.Л.</b>	
Расчет работоспособности коренных подшипников скольжения коленчатого вала форсированного дизеля.....	80
<b>МИХАЙЛИН А.Б.</b>	
Повышение эффективности автономного электроснабжения изолированных удаленных территорий за счет использования когенерации и адаптивных эксплуатационных режимов в гибридных электростанциях.....	88
<b>МОСТОВОЙ В.Д., БИРЮКОВ В.П., ОРЛОВ Е.Н.</b>	
Исследование работоспособности системы управления токарной обработкой при изменении параметров объекта управления.....	94
<b>МОСТОВОЙ В.Д., БИРЮКОВ В.П.</b>	
Автоматизированный технологический процесс токарной обработки нежестких валов на основе многомерной системы управления.....	99
<b>МУРИН С.В., РИЗАЕВ В.В.</b>	
Повышение эффективности обучения студентов навыкам конструирования путем практического освоения изготовления деталей и сборок на станках лазерной резки по дереву.....	103
<b>НИКОЛАЕВ Ю.Е., ИГНАТОВ В.Ю.</b>	
Эффективность автономных энергокомплексов на базе традиционных и возобновляемых энергоресурсов с учетом экономии органического топлива.....	107
<b>РАЗУВАЕВ А.В., АКИНФИЕВА А.А., БЕЛОСТРОПОВА В.Э.</b>	
Основные характеристики различных типов ядерных реакторов.....	114

<b>РАЗУВАЕВ А.В., АКИНФИЕВА А.А., БЕЛОСТРОПОВА В.Э.</b>	
Сравнительный анализ реакторов на быстрых нейтронах.....	119
<b>РАСПОПОВ Д.А., БЕЛОУСОВ П.А.</b>	
Технологии Smart Grid в атомной энергетике.....	124
<b>РОМАНОВА А.В., КУДАШЕВА И.О.</b>	
Сравнительный анализ норм времени при механической обработке деталей на универсальных станках и станках с ЧПУ.....	129
<b>САЙДАНОВ В.О.</b>	
Проблемы автономного энергоснабжения объектов военной инфраструктуры в Арктике и пути их решения.....	135
<b>ТОМИЛИН С.А., КОЛОКОЛОВ Е.И.</b>	
Расширение диапазона применения корпусных сталей для реакторных установок типа ВВЭР путем повышения их технологичности и эксплуатационной надежности.	143
<b>УСТИНОВ Н.А.</b>	
Принципы конструирования паровых микромашин.....	146
<b>ЧЕРНОВА Н.М., БЕЛОСТРОПОВА В.Э.</b>	
Сравнительный анализ тяжеловодных реакторов типа CANDU.....	151
<b>ЧМАЛЬ И.С., ДИКАРЕВ С.В.</b>	
Устройство для осуществления крепления трубных стальных свай в опорном основании морских гидротехнических сооружений.....	157
<b>ЩЕГОЛЕВ С.С., МОТКОВ А.Г.</b>	
Применение виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе.	164

## СЕКЦИЯ 2:

### «ИТ – ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ»

<b>АНТРОПОВА Т.В.</b>	
К вопросу об использовании IT-технологий в образовательных программах высшей школы.....	168
<b>АНТРОПОВА Т.В., РЯЗАНОВ С.А.</b>	
Получение пространственных поверхностных моделей машиностроительных изделий сложной технической формы.....	175
<b>ВИШТАК Н.М., КАЛИСТРАТОВ М.И.</b>	
Системы взаимодействия участников учебного процесса.....	181

<b>ВИШТАК Н.М., ТРОЦЕНКО Д.Н.</b>	
Разработка конструктора web-квестов.....	185
<b>ВИШТАК О.В., АБУШАЕВ И.Р.</b>	
Разработка CRM-системы станции технического обслуживания.....	189
<b>ВИШТАК О.В., ГЛЕБОВА Я.А.</b>	
Цифровизация расчетов строительных конструкций зданий и сооружений.....	194
<b>ГОРИН Д.В., ДИЯНОВ Я.С., ПЕСТОВ В.А.</b>	
Ускорение рендеринга в 3D-Blender с использованием технологии распределенного рендеринга на основе вычислительного кластера для ОС АстраЛинукс.....	200
<b>ДЖАГАРЯН Л.З., ШТЫРОВА И.А.</b>	
Методы кластеризации больших данных.....	206
<b>КРЫЛОВА И.О., ХОДАКОВА Н.П.</b>	
Библиотеки OpenGL и DirectX: история и перспективы.....	210
<b>МАНУЙЛОВА Е.И., ШТЫРОВА И.А.</b>	
Проектирование web-приложения для образовательного учреждения с использованием объектно-ориентированного подхода.....	212
<b>НАРАНОВИЧ О.И., ВОДОПЬЯН Н.В., МАЗУР С.А.</b>	
Компьютерное количественное исследование структуры материала.....	218
<b>НЕСТЕРЕНКО В.А., ФРОЛОВА М.А.</b>	
Сравнительный анализ платформ для онлайн-обучения.....	222
<b>РЯБЕНКОВ Р.А., МИХЕЕВ И.В.</b>	
Блокчейн технология.....	225
<b>РЯБЕНКОВ Р.А., МИХЕЕВ И.В.</b>	
Искусственный интеллект и его потенциал.....	229
<b>САВЁЛОВ П.И., ЛИВШИЦ Ю.Е.</b>	
Компьютерное моделирование теплообмена в электронной аппаратуре.....	233
<b>СЕМЕНОВА Г.В.</b>	
Образовательная значимость применения технологии дополненной реальности.....	238
<b>СИДОРЕНКО Д.Е., МИХЕЕВ И.В.</b>	
Анализ архитектуры REST на основе сравнения с SOAP.....	245
<b>СИДОРЕНКО Д.Е., МИХЕЕВ И.В.</b>	
Анализ реализаций асинхронных процессов в языке программирования JavaScript....	249
<b>ТУСОВА А.Е., КАРЯГИНА Т.В.</b>	
Применение web-технологий в образовании на примере Skype.....	253

**УСОВА Л.В., ХОДАКОВА Н.П.**

История Интернета. Отдельные события, повлиявшие на становление Интернета..... 257

**ШТЫРОВА И.А., ПАНИНА О.И.**

Организации самостоятельной работы обучающихся с использованием web-ресурса 260

**СЕКЦИЯ 3:**

**«ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И УПРАВЛЕНИИ»**

**БЕЛЯКОВА Н.О., ФРОЛОВА М.А.**

Анализ современного уровня развития в области систем контроля при хранении нефтепродуктов..... 265

**ДРУЖИН Д.С., ФРОЛОВА М.А.**

Результаты реализации алгоритма идентификации личности..... 269

**ЗЕРНОВ Д.С., ГРИЦЮК С.Н.**

Система автоматического регулирования уровня воды в компенсаторе давления реакторной установки атомной станции..... 273

**ИВАНОВ К.А., ПРАВОСУД С.С.**

Синтез пропорциональной САР мощности нелинейной динамической модели реактора ВВЭР-1000..... 278

**ИГНАТЬЕВ А.А., ДОБРЯКОВ В.А., ИГНАТЬЕВ С.А.**

Технологический процесс обработки высокоточных деталей как объект управления. 282

**ИГНАТЬЕВ А.А., ДОБРЯКОВ В.А., ИГНАТЬЕВ С.А.**

Системный подход к организации мониторинга технологического процесса..... 286

**КОРНИЛОВА Н.В.**

Расчетные соотношения для профиля скорости жидкости в проточной части пятисекционного исполнительного устройства..... 291

**КОЛЬЖЕЦОВ Д.А., МОРОЗОВА А.В., ТОКАРЕВ А.С.**

Разработка математической модели, учитывающей отклонения номинальных размеров при печати на 3D-принтере NEO..... 298

**МЕФЕДОВА Ю.А., КОЛБАНОВ Я.А.**

Исследование задачи регулирования уровня конденсата в подогревателе высокого давления атомной станции..... 305



**МЕФЕДОВА Ю.А., СТАНКОВА А.А.**

Методы синтеза систем управления электроприводом с неопределенными параметрами..... 309

**РЯЗАНОВ С.А.**

Определение величины отвода модифицированного профиля производящей поверхности зуборезного инструмента, заданной уравнением спирали..... 313

**САФОНОВ А.В., ФРОЛОВА М.А.**

Обеспечение конфиденциальности данных в информационных системах..... 320

**ТАРАНОВ А.А., ФРОЛОВА М.А.**

Результаты экспериментальных исследований поляризационного низконапорного преобразователя импульсных расходов..... 323

**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**  
**«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ, ТЕХНИКИ**  
**И ТЕХНОЛОГИЙ»**

**СЕКЦИЯ 1**  
**«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ**  
**И МАШИНОСТРОЕНИЯ»**

УДК 621.311.25.004.7:658.8

**Логистика обращения с отходами демонтажа оборудования**  
**в проекте вывода из эксплуатации блока АЭС**

Берела Алексей Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Машиностроения и прикладной механики»;

Томилин Сергей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Машиностроения и прикладной механики»;

Федотов Анатолий Григорьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Машиностроения и прикладной механики»

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал федерального  
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
г. Волгодонск

*Рассмотрены и систематизированы сведения по обращению с отходами демонтажных работ, необходимые для разработки логистических материальных и информационных потоков в проектах вывода из эксплуатации блока АЭС.*

Процесс вывода блоков АЭС из эксплуатации регламентируется законодательной и нормативно-технической документацией (далее – НТД) [1-5]. Анализ НТД [2-5] и пособия [6] показывает, что в НТД для программ и проектов вывода блоков АЭС из эксплуатации в первую очередь представлены требования к разработке в них мероприятий и процедур обеспечения радиационной безопасности, что определено спецификой выполняемых демонтажных работ и работ по обращению с демонтированными отходами [7, 8].

Так, в руководстве по безопасности РБ-013-2000 [3] регламентируются требования безопасности к разработке в программах вывода блоков АЭС из эксплуатации таких подпрограмм, как: производство демонтажных работ; обращение с радиоактивными отходами; обращение с материалами повторного использования; проведение радиационного и дозиметрического контроля и др.

В НТД [2-5] озвучено положение оптимального выполнения процесса вывода из эксплуатации. По мнению автора статьи [7, 8], существенную роль в реализации этого положения могла бы сыграть разработка в проекте вывода из эксплуатации раздела по логистике процесса вывода из эксплуатации.

Логистика содействует общему направлению оптимизации этого процесса и в рамках проекта может быть представлена подразделами по логистике:

- демонтажных работ;
- материальных транспортных потоков в границах площадки блока АЭС;
- работ при обращении с отходами демонтажа;
- подготовки и проведения внешних материальных транспортных потоков в места захоронения РАО (радиоактивных отходов) и к потребителям отходов неограниченного и ограниченного применения;
- информационных потоков, сопровождающих материальные потоки, и поступающих по ходу их движения реверсных информационных потоков.

Информационный поток, сопровождающий материальные потоки в период производства демонтажных работ, не только разделяется для управления материальными потоками, но и предоставляет возможность учета движения и физического состояния радиоактивных отходов. Эффективность такого учета может быть высокой благодаря применению современных информационных технологий [6].

Особое внимание уделим логистике материальных потоков при обращении с отходами демонтажа. Необходимо определиться с направлениями потоков, их составом и объемом, процедурами контроля и учета, технологическими операциями обращения с отходами, которые обеспечиваются этими потоками. Набор данных сведений необходим для управления рассматриваемыми материальными потоками и согласования управляющих процедур с другими составляющими интегральной логистики материальных потоков в период проведения демонтажных работ.

Анализ НТД [2-5] и методического пособия [6] показывает, что можно более или менее четко обозначить главные составляющие материальных потоков при обращении с отходами демонтажа:

- 1) поток строительных и металлических нерадиоактивных отходов неограниченного использования;
- 2) поток строительных и металлических промышленных отходов в большинстве своем очень низкоактивных (ОНАО);
- 3) поток строительных и металлических радиоактивных отходов в составе низкоактивных отходов (НАО) и очень низкоактивных отходов (ОНРАО);
- 4) поток радиоактивных отходов средней активности (САО) и высокой активности (ВАО).

Первый поток наиболее массовый, объем предстоящих перемещений в нем отходов составит тысячи тонн при снятии с эксплуатации одного блока. Поток формируется в результате демонтажа железобетонных и металлических конструкций основных и вспомогательных зданий и сооружений, а также других объектов, размещенных на площадке блока АЭС, например, дизель-генераторов. Данный поток сопровождается упрощенными и недорогими процедурами учета и радиационного контроля. Технологический передел в этом потоке заключается в измельчении бетонных отходов, извлечении и резке металлической арматуры и металлоконструкций перед транспортировкой для повторного использования под строгим радиационным контролем. В случае обнаружения слабого поверхностного загрязнения металлических отходов их дезактивируют и переплавляют. Захоронение огромного количества данных отходов сопряжено со значительными расходами и потенциально опасно для окружающей среды. Транспортировка отходов в первом потоке выполняется обычными распространенными способами – автотранспортом, железнодорожными платформами.

Второй поток состоит из твердых промышленных отходов, загрязненных радионуклидами или содержащими их, но не являющимися РАО. Согласно санитарным правилам, они классифицируются как ОНАО с упрощенным учетом и контролем. Процедуры обращения с ОНАО и мероприятия по их захоронению разрабатываются и осуществляются непосредственно эксплуатирующей организацией. Перед приемкой на переработку промышленные отходы должны быть рассортированы на ОНАО и материалы повторного использования. Сбор промышленных отходов категории ОНАО предпочтительно производить вблизи мест их образования. Рассортированные отходы размещаются в различную тару (упаковку) в зависимости от удельной активности, размеров фрагментов, методов последующей переработки и принятых решений использования отходов в хозяйственных целях или захоронения. Промышленные отходы категории ОНАО подлежат захоронению на территории атомной станции. В определенной мере металлоотходы после операций жесткой дезактивации,

кондиционирования и временного хранения могут ограниченно использоваться в качестве металлолома при надлежащем контроле. Строительные ОНАО после сортировки и временного хранения предпочтительно использовать как засыпной грунт под слой «чистого» строительного материала необходимой толщины и плотности.

Третий поток включает радиационные отходы в составе ОНРАО и НАО, выделяемых в результате глубокой сортировки РАО, образуемых при демонтаже конструкций и оборудования реакторных установок. В основном к этим видам отходов относится бетон шахты реактора, его расчетное количество оценивается [6] величиной 60 тонн для реактора ВВЭР-1000 после 5-летней выдержки остановленного реактора. По мере увеличения срока выдержки перед демонтажными работами бетон шахты реактора за счет естественного распада радионуклидов будет переходить в промышленные отходы, а металлоконструкции реакторной установки более высокого уровня активности (САО) – в НАО и ОНРАО. Поток ОНРАО и НАО проходит технологический передел и кондиционируется. Технологический передел включает глубокую дезактивацию и сортировку, избирательную переработку отходов. В результате металл части оборудования и металлоконструкций с поверхностным загрязнением может быть возвращен для вторичного использования (рецикл металла). Большая часть кондиционированных отходов данного вида ввиду отсутствия решения по окончательному захоронению РАО будет размещена на временное хранение на площадке выводимого из эксплуатации блока.

Четвертый поток состоит из РАО средней и высокой активности. Для них требуются технологии и средства эффективной характеристики, обращение с ними требует применения защиты от ионизирующего излучения, защитных контейнеров, дистанционного и автоматизированного управления технологическими процессами, дозиметрического контроля, контроля радиационной обстановки в помещениях, на маршрутах перемещения в зданиях и на площадке блока, строгого учета и контроля радиационного и физического состояния РАО. Расчетное значение массы САО и ВАО при демонтаже реакторных конструкций блока ВВЭР-1000 составляет при выдержке до 10 лет после останова блока 332 тонны [6]. Инженерно-техническое обеспечение сбора, сортировки, кондиционирования, транспортирования и хранения РАО влияет на продолжительность процесса вывода из эксплуатации и конечное состояние выводимого из эксплуатации блока.

САО и ВАО обязательно кондиционируются (для САО возможно выборочно с предварительной жесткой дезактивацией) и размещаются на площадке блока на организованное длительное хранение (из-за отсутствия в настоящее время

могильников), а в последующем отправляются на захоронение в могильник. При этом ВАО попадает под глубинное захоронение, а САО – под приповерхностное захоронение (менее затратное и с частичной возможностью возврата для ограниченного контролируемого применения).

Следует заметить, что отработанная и утвержденная компетентными органами технология обращения с отходами демонтажных работ при выводе из эксплуатации блоков АЭС отсутствует, практику пока получили пилотные и пробные технологии. Поэтому объемы отходов и направления их перемещения в настоящее время могут отличаться, хотя и оставаться в концептуальных рамках обращения с ними.

#### Литература

1. Федеральный закон №170-ФЗ «Об использовании атомной энергии», 1995. [Электронный ресурс] URL: <https://federalnyi-zakon...21111995...170-fz-ob> (дата обращения: 20.03.2020).
2. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (НП-001-15). – М.: Ростехнадзор, 2015.
3. Требования к содержанию программы вывода из эксплуатации блока атомной станции (РБ-013-2000). – М.: Госатомнадзор России, 2000.
4. Обеспечение безопасности при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии. Общие положения (НП-091-14). – М.: Ростехнадзор, 2014.
5. РД ЭО 1.1.2.01.0013-2014. Подготовка и вывод из эксплуатации блока атомной станции. Основные положения. – М.: ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2014.
6. Основы вывода из эксплуатации блоков атомных электрических станций: учеб.-метод. пособие / Б.К. Былкин [и др.]; под общей ред. П.Л. Ипатова, А.А. Дементьева, Ю.М. Семченкова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2019. – 504 с.
7. Берела А.И. Возможности логистики в обеспечении эффективности и радиационной безопасности производственного процесса вывода из эксплуатации блоков атомных станций / А.И. Берела, С.А. Томилин, А.Г. Федотов // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 2 (31). – С. 68-75.
8. Берела А.И. Производственная логистика демонтажных работ при выводе из эксплуатации блоков атомных станций / А.И. Берела, С.А. Томилин, А.Г. Федотов // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 3 (32). – С. 66-73.

**Выбор эффективных режимов тепловых электростанций  
с учетом ресурсных показателей работы оборудования**

Гариевский Михаил Васильевич, научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Саратовский научный  
центр Российской академии наук, г. Саратов

*Значительная доля атомной генерации в общем производстве электроэнергии, рост доли возобновляемых энергоисточников (ветра, солнца и др.), неравномерные графики электропотребления приводят к необходимости использования тепловых электростанций для регулирования нагрузки. Используя метод расчета эквивалентных часов эксплуатации для учета выработки ресурса основного оборудования, исследована эффективность работы тепловых электростанций при переменных режимах. На примере паротурбинного энергоблока с турбиной К-300-240 рассчитаны эквивалентные часы эксплуатации турбины и себестоимость электроэнергии при работе в режиме номинального и скользящего давления пара в зависимости от уровня разгрузки и скорости изменения мощности.*

Одной из важнейших особенностей энергетического производства является жесткая зависимость режима работы электрических станций от режима потребления электроэнергии. Структура производства электроэнергии по типам электростанций в Европейской части России зимой 2018 г. (24-30 декабря) показана на рис. 1. Хотя средняя доля производства электроэнергии атомными электростанциями в энергобалансе России в 2018 г. составляла 19,1 %, в некоторых энергосистемах страны эта доля значительно выше (в ОЭС Центра – 41,0 %, Северо-Запада – 34,5 %, Средней Волги – 28,1 %). В ЕЭС России производство электроэнергии ВЭС и СЭС в 2019 г. составило соответственно 320,8 млн. кВт·ч (0,03 %) и 1284,9 млн. кВт·ч (0,13 %). В настоящее время наблюдается значительный рост производства энергии из возобновляемых источников энергии – увеличение производства на ВЭС и СЭС в 2019 г. по сравнению с 2018 г. составило 47,3 % и 69,4 % соответственно [1]. Ранее эта проблема обозначилась в энергетике Германии, где в настоящее время наблюдается значительный рост производства энергии из возобновляемых источников, рис. 2. Кроме того, цена электроэнергии на рынке существенно изменяется в течение суток и, соответственно, влияет на оптимальную загрузку генерирующих мощностей в энергосистеме. Таким образом, значительная доля атомной генерации в общем производстве электроэнергии, рост доли возобновляемых энергоисточников (ветра, солнца и др.), неравномерные графики электропотребления и изменения цен электроэнергии в течение суток приводят к необходимости использования тепловых

электростанций для регулирования нагрузки путем повышения мощности в часы пик и снижения мощности или останова энергоблоков в часы ночного провала нагрузки [2-4].

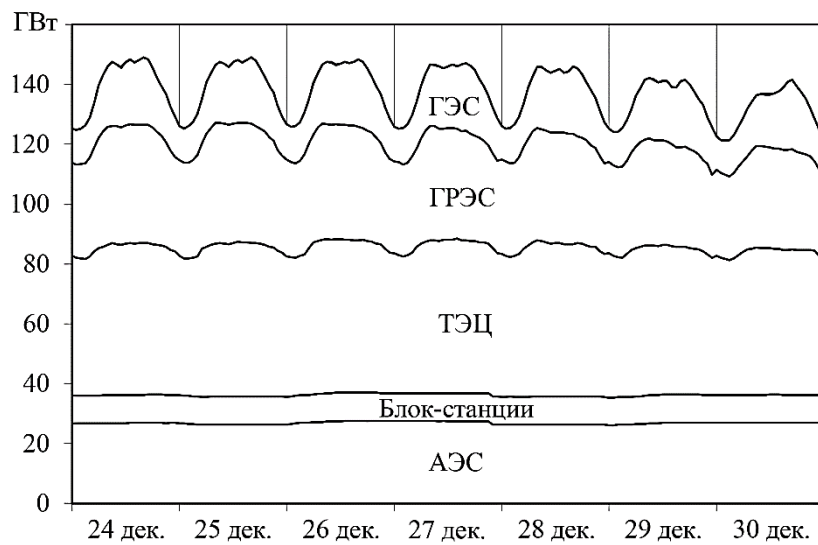


Рис. 1. Производство электроэнергии в европейской части России (зима 2018 года)

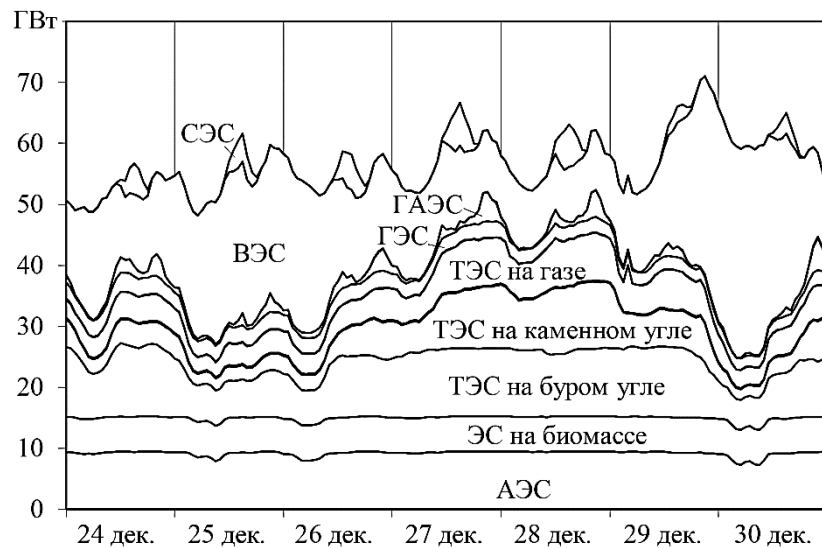


Рис. 2. Производство электроэнергии в Германии (зима 2018 года) [5]

Эксплуатация тепловых электростанций в переменном режиме может обеспечить больший доход в краткосрочной перспективе, но приведет к снижению ресурса и надежности основного оборудования из-за малоцикловой усталости металла. Следствием этого являются потерям прибыли в будущем из-за дополнительных затрат в планово-предупредительные и аварийно-восстановительные ремонты, а также недоотпуска электроэнергии при авариях. Таким образом, необходим поиск оптимальной стратегии использования основного оборудования ТЭС в течение всего срока службы. Кроме того, оценка снижения экономичности и надежности ТЭС в переменных режимах имеет важное значение для прогноза и формирования структуры генерирующих мощностей энергосистем, оценки эффективности строительства



пиковых и полупиковых энергоисточников, выбора оптимального состава работающего оборудования, оптимальных параметров и режимов работы электростанции в переменном режиме [6-8].

Работа ТЭС в переменном режиме сопровождается отклонением параметров рабочего тела от номинальных значений. Регулирование мощности энергоблока осуществляется изменением расхода пара при постоянном давлении при скользящем давлении [9]. В настоящее время, как правило, энергоблоки работают в режиме «модифицированного скользящего давления» и регулирование нагрузки осуществляется одновременным изменением расхода пара регулирующими клапанами турбины и расходов топлива, воды и воздуха в котел. При резких изменениях режима работы в проточной части турбины происходит быстрое изменение температур. Изменение температуры пара приводит к возникновению нестационарных температурных полей в деталях турбины, результатом которых являются термические деформации и температурные напряжения. Многократное повторение высоких температурных напряжений при пусках, остановках и быстрых изменениях нагрузки приводит к появлению в деталях турбин трещин малоциклового усталости. Наиболее характерные места образования трещин термической усталости в роторах – тепловых (компенсационные) канавках и галтелях перехода от дисков к валу в первых ступенях цилиндров высокого и среднего давления и первых отсеках промежуточных и концевых уплотнений [10].

Вопросам оценки остаточного ресурса ротора паровой турбины посвящен целый ряд исследований [11, 12]. В статье влияние режимов работы на выработку ресурса ротора турбины учитывалось эквивалентным временем эксплуатации (эквивалентной выработкой ресурса). Для расчета эквивалентных часов эксплуатации определяются коэффициенты для каждого режима и изменения нагрузки.

Экономическая эффективность тепловой электростанции в переменных режимах определялась на основе расчета себестоимости электроэнергии. Себестоимость электроэнергии рассчитана по формулам, приведенным в [13], и включает в себя: затраты на топливо; затраты на капитальный и текущий ремонт; амортизационные отчисления; затраты на заработную плату; прочие затраты. Исходной информацией для оценки эффективности работы энергоблока 300 МВт с турбиной К-300-240 (параметры пара: давление 23,5 МПа, температура 560 °С) при переменных режимах являлись капиталовложения, расходы топлива при переменных нагрузках, сроки службы оборудования, стоимость топлива и др. При глубокой разгрузке оборудования мощных энергоблоков экономичность их резко падает. Снижение нагрузки энергоблока

300 МВт с номинальной до 150 МВт приводит к увеличению удельного расхода топлива на 11-12 % [9].

В табл. 1 приведены результаты расчетов выработки ресурса ротора турбины К-300-240 за цикл изменения мощности (разгрузка со 100 % до N, затем нагрузка до 100 %), а также увеличение ремонтных затрат и себестоимости электроэнергии (по сравнению с работой в базовом режиме). Снижение ресурса ротора турбины из-за малоциклового усталости зависит от температурных напряжений, определяемых диапазоном и скоростью изменения температуры пара в проточной части турбины, которые в свою очередь зависят от диапазона и скорости изменения мощности, поэтому, задавая график изменения нагрузки, можно управлять снижением ресурса ротора турбины. При работе в режиме скользящего давления температура пара изменяется незначительно и таким образом скорость изменения нагрузки (в пределах регулировочного диапазона) в этом режиме может быть больше.

Таблица 1

Результаты расчетов технико-экономических показателей энергоблока ТЭС с турбиной К-300-240 при переменных режимах (изменения мощности 100%–N–100%)

Мощность турбины N при разгрузке		Выработка ресурса ротора турбины за цикл изменения мощности, экв. ч	Увеличение затрат на ремонт, %	Увеличение себестоимости электроэнергии, %
МВт	%			
при скользящем давлении и скорости изменения мощности 3 МВт/мин				
270	90	0,070	0,29	0,7
240	80	0,074	0,31	3,0
210	70	0,077	0,32	4,9
180	60	0,078	0,33	7,6
150	50	0,079	0,33	11,0
при постоянном давлении и скорости изменения мощности 2 МВт/мин				
270	90	0,62	2,6	1,7
240	80	2,80	11,8	4,7
210	70	5,22	22,2	8,6
180	60	5,56	25,2	12,3
150	50	5,87	23,9	16,1

Выводы. Исследована эффективность работы тепловых электростанций при переменных режимах с учетом выработки ресурса основного оборудования на основе метода расчета эквивалентных часов эксплуатации. Предложенный метод позволяет оценить дополнительные затраты, связанные с переменным режимом работы и выбрать оптимальный режим работы электростанции с учетом долгосрочных последствий для ресурса основного оборудования и экономичности энергоблока. Приведен пример расчёта эквивалентных часов эксплуатации турбины К-300-240 и себестоимости электроэнергии энергоблока при работе в режиме номинального и скользящего давления пара в зависимости от уровня разгрузки и скорости изменения мощности.

Показано, что работа в переменном режиме паротурбинного энергоблока 300 МВт наиболее эффективна на скользящем давлении пара – при разгрузке до 50 % мощности на 8 часов ночью средняя себестоимость электроэнергии увеличивается на 11 % по сравнению с базовым режимом.

#### Литература

1. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2019 году. [Электронный ресурс]  
URL: [https://so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2020/ups\\_rep2019.pdf](https://so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2020/ups_rep2019.pdf)  
(дата обращения: 18.03.2020).
2. Эффективные способы обеспечения базовой нагрузкой АЭС в энергосистемах / Р.З. Аминов [и др.] // Теплоэнергетика. – 2011. – № 5. – С.10-15.
3. Сравнительная эффективность покрытия пиковых нагрузок в вариантах обеспечения базовой нагрузкой АЭС / В.М. Батенин [и др.] // Теплоэнергетика. – 2012. – № 7. – С. 70-78.
4. Аминов Р.З. К вопросу обеспечения режимных требований в условиях развивающейся атомной энергетики / Р.З. Аминов, А.Ф. Шкрет, М.В. Гариевский // Труды Академэнерго. – 2013. – № 4. – С. 61-69.
5. Net Public Electricity Generation in Germany in 2018. [Электронный ресурс]  
URL: [https://www.energy-charts.de/downloads/electricity\\_production\\_germany\\_2018\\_2.pdf](https://www.energy-charts.de/downloads/electricity_production_germany_2018_2.pdf)  
(дата обращения: 18.03.2020).
6. Аракелян Э.К. Выбор оптимальной стратегии разгружения/нагружения энергоблоков ТЭС при прохождении провала графика нагрузки / Э.К. Аракелян, Е.Д. Васильев // Новое в российской электроэнергетике. – 2017. – № 2. – С. 6-20.
7. Выбор эффективных направлений развития энергогенерирующих мощностей в европейской части страны / Р.З. Аминов [и др.] // Теплоэнергетика. – 2003. – № 4. – С. 64-67.
8. Эффективность обеспечения базовой нагрузкой АЭС за счет разгрузки тепловых электростанций / Р.З. Аминов [и др.] // Труды Академэнерго. – 2010. – № 1. – С. 23-33.
9. Прокопенко А.Г. Стационарные, переменные и пусковые режимы энергоблоков ТЭС / А.Г. Прокопенко, И.С. Мысак. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 317 с.
10. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин. – 3-е изд., перераб. и доп. / А.Г. Костюк. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 476 с.

11. Трухний А.Д. Надежность роторов турбины Т-250/300-23,5 ТМЗ при циклических разгрузках и нагрузках в режимах начального скользящего давления / А.Д. Трухний, Б.В. Ломакин, А.П. Лунин // Теплоэнергетика. – 2002. – № 6. – С. 9-17.

12. Трухний А.Д. Обобщенные характеристики усталости роторной стали Р2МА для использования в системах технической диагностики выработки ресурса / А.Д. Трухний, Д.Д. Корж, А.И. Лебедева // Теплоэнергетика. – 2003. – № 6. – С. 16-21.

13. Шкрет А.Ф. Влияния переменных режимов на экономичность работы энергоблоков ТЭС / А.Ф. Шкрет, М.В. Гариевский // Труды Академэнерго. – 2014. – № 3. – С. 57-68.

УДК 621.548.4

### **Ветрогенератор для Саратовской области**

<sup>1</sup>Горячкина Вероника Евгеньевна, обучающаяся;

<sup>2</sup>Устинов Николай Андреевич, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Атомная энергетика»

<sup>1</sup>Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение «Средняя  
общеобразовательная школа № 25» г. Балаково Саратовской области;

<sup>2</sup>Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального  
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*Среднегодовая скорость ветра в Саратовской области не превышает 5 м/с. В таких условиях предпочтительным является применение ветроэлектростанций с вертикальным ротором. Одним из путей повышения эффективности является грамотное профилирование лопасти ветродвигателя. В статье рассмотрена возможность изготовления лопасти ветродвигателя простой конструкции, состоящей из плоских поверхностей, и даны рекомендации по их взаимному расположению.*

Ветроэнергетика – частный случай энергетики, в которой кинетическая энергия ветровых потоков с помощью технических средств преобразуется в механическую, тепловую или электрическую энергию [1]. Для преобразования используются устройства, получившие название – ветрогенератор (для получения электрической энергии, при этом они не генерируют ветер, что можно дословно представить из названия), для преобразования в механическую энергию применяются ветряные

мельницы (в том числе если результатом работы мельницы является тепловая энергия), для использования в транспортных целях применяется парус. Мощные ветроэлектростанции объединяются в централизованную сеть, более мелкие используются для снабжения электричеством удалённых районов или индивидуальных потребителей.

Ветрогенератор (ветроэлектрическая установка или сокращенно ВЭУ) – это двигатели, преобразующие энергию ветра в механическую работу и передающие ее электрогенераторам [2]. ВЭУ классифицируют по количеству лопастей (одно- и многолопастные), по материалам (жесткие лопасти и парусные), из которых они выполнены, по ориентации оси вращения и по шагу винта. Многолопастные ветродвигатели начинают вращаться на меньших скоростях, чем двух- и трёхлопастные, но для выработки электроэнергии требуется конкретная частота вращения ветроколеса, связанная с частотой вырабатываемого электрического тока. Каждая дополнительная лопасть увеличивает общее сопротивление ветроколеса, а это ограничивает максимальную частоту вращения ветрогенератора. Это приводит к необходимости увеличения рабочей скорости ветра.

Ветрогенераторы с горизонтальной осью, так называемые крыльчатые, являются быстроходными с малым числом лопастей и тихоходными с многолопастными колесами. Верхний предел КПД достигает 40 %, но они требуют ориентацию на ветер, что усложняет конструкцию ветрогенератора. Вертикальные (карусельные) не требуют ориентирования по ветру, но у любого вертикального ВЭА рабочая площадь поверхности в два раза меньше, чем у классического горизонтального ветрогенератора с такой же площадью ветроколеса. Это значит, что для получения одинаковой с крыльчатым ветрогенератором мощности потребуется ветродвигатель в два раза больший по диаметру. Кроме того, большое количество лопаток, а также часть ветроколеса в каждый момент времени движется против ветра. Это значительно увеличивает сопротивление ветроколеса, что дополнительно требует увеличения рабочей скорости ветра [3]. Изменяемый шаг винта позволяет увеличить диапазон эффективных скоростей работы. Но сам по себе этот механизм приводит к усложнению конструкции лопасти, уменьшению общей надёжности ветрогенератора, утяжелению ветроколеса, а значит, будут требоваться дополнительные усиления конструкции. Всё это приводит к удорожанию всей системы, как при покупке, так и при эксплуатации.

ВЭУ состоит из основных элементов: электрогенератора; ветродвигателя, состоящего из вала с установленными на него лопастями, приводящими в движение вал генератора за счет кинетической энергии ветра; мачты; при необходимости устройства

ориентирования на воздушный поток. Дополнительные элементы: контроллера, предназначенного для управления поворотом лопастей, зарядом аккумуляторов, защитными функциями и др.; аккумуляторных батарей, предназначенных для накопления электроэнергии для последующего использования в безветренные часы; анемоскопа и датчика направления ветра, предназначенных для сбора данных о скорости и направлении ветра в установках средней и большой мощности; АВР – автоматический переключатель источника питания, который производит автоматического переключения между несколькими источниками электропитания за промежуток в 0,5 секунды при исчезновении основного источника; инвертор, который преобразовывает ток из постоянного, накопленного в аккумуляторных батареях, в переменный, который потребляет большинство электроприборов. Ветроустановки объединяют в общественную электросеть, с дизель-генератором и другими источниками питания в единую автоматизированную систему [4].

Изучение конструкций ветроколес показало следующее. Существуют ветроколеса, адаптированные под низкие скорости ветра (патенты № 161432 от 20.04.2016, № 158068 от 20.12.2015, № 106921 от 27.10.2011), содержащие криволинейные лопасти [6]. Кривизна подбирается под скорость ветра, из-за этого эффективность применения ветродвигателя ухудшается при изменении ветрового режима. Устранение данного недостатка возможно при замене выпуклости поверхности лопасти на острую поверхность, составленную из двух пластин наподобие носовой части корабля. При движении навстречу ветру пластины складываются, сведя площадь поверхности, перпендикулярную ветру до минимума (патент № 2663963 от 31.05.2017), что усложняет конструкцию [5].

В статье рассмотрена возможность применения лопасти с неизменным углом стыковки двух пластин, оптимальным под желательную скорость ветра. Лопасть из двух пластин технологична, в отличие от криволинейной, и угол раскрытия легко регулировать для каждого сезона эксплуатации, в течение которого наблюдается некоторое постоянство скорости ветра. Для определения нужного угла было проведено исследование, в котором определялся оптимальный для разных скоростей ветра угол стыковки лопастей.

Неприятной особенностью такой конструкции лопасти ветроколеса является зависимость площади лопасти от угла ее раскрытия, т. е. угла, под которым пластины лопасти состыковываются.

Следовательно, чем меньше угол раскрытия, тем меньше площадь лопасти и сила воздействия потока ветра.

Теоретическая мощность ветрового потока, воздействующего на ветроколесо:

$$N = S * \rho * u^3 / 2, \quad (1)$$

где:  $S$  – площадь проекции лопасти, перпендикулярная к направлению вектора скорости потока воздуха;  $\rho$  – плотность воздуха;  $u$  – скорость ветра.

Мощность ветродвигателя можно рассчитать также по формуле:

$$N = M * n, \quad (2)$$

где:  $M$  – крутящий момент,  $n$  – частота вращения.

Крутящий момент  $M$  рассчитывается по формуле:

$$M = F * L, \quad (3)$$

где:  $F$  – сила, приложенная к центру лопасти;  $L$  – плечо центра лопасти от оси вращения.

Так как сила ветра воздействует сразу на обе лопасти, то сила, воздействующая на лопасть, движущуюся навстречу ветру, должна быть меньше, чем у лопасти, движущейся по ветру.

В формуле (3) заменим итоговую силу на разность сил:

$$M = (F_1 - F_2) * L, \quad (4)$$

разность сил  $\Delta F = F_1 - F_2$  характеризует эффективность работы двигателя.

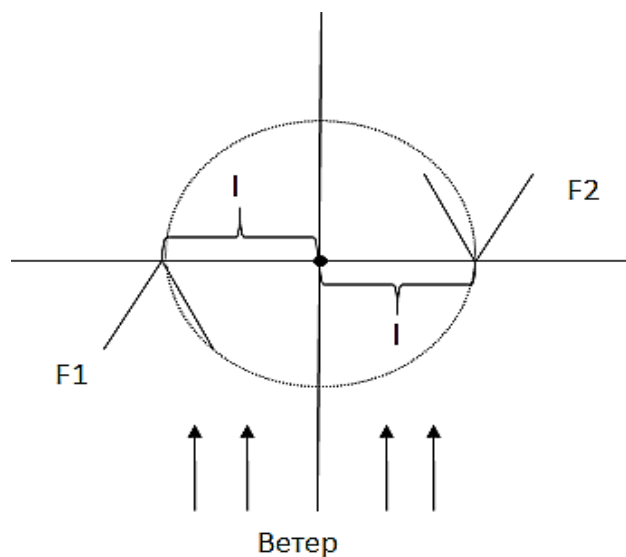


Рис. 1. Схема действия сил на лопасти ветроколеса

Разность сил, действующих на обе лопасти, обеспечивается разностью коэффициента сопротивления лопасти обтекающему потоку воздуха.

В любом случае, сила сопротивления лопасти потоку воздуха определяется как:

$$F_{1,2} = \epsilon_{1,2} * S * \rho * u^2 / 2, \quad (5)$$

где  $\epsilon$  – коэффициент сопротивления среды.

Единственный параметр, представленный во всех формулах, который невозможно рассчитать теоретически, это коэффициент сопротивления среды. Чтобы не заниматься его определением, была проведена работа по определению силы воздействия ветра на лопасти с разным углом стыковки половин лопасти друг с другом.

Более просто было бы определить итоговую силу, действующую на ветроколесо, но имеющийся вентилятор не обеспечивал одинаковое значение скорости в плоскости расположения лопастей ветроколеса. Поэтому экспериментально определялась сила воздействия на каждую лопасть в отдельности, а итоговая сила определялась как разность значения сил на каждую пару лопастей.

Для этого были изготовлены модели лопастей с углом стыковки пластин 60, 90 и 120 градусов. Лопасти обдувались вентилятором от системы охлаждения автомобильного двигателя с регулированием частоты вращения с помощью автотрансформатора. Скорость потока воздуха измерялась цифровым анемометром AR816 с дискретностью отсчета 0,1 м/с. Сила ветра на лопасти определялась электронными бытовыми весами Magnit дискретностью отсчета 2 грамма.

Если обе лопасти полностью раскрыты или полностью сложены (угол раскрытия лопастей 0 и 180 градусов, соответственно), силы, действующие на лопасти, будут равны и разность сил равняться нулю. Мощность ветродвигателя также будет равняться нулю, т. е. ветродвигатель будет неподвижным.

Для определения максимальной результирующей силы, вызывающей вращение ветроколеса, являющейся функцией одновременно двух переменных: скорости ветра и угла раскрытия лопастей использовался прием математического планирования эксперимента [6].

Угол раскрытия лопастей применялся дискретно: 60, 90 и 120 градусов. Скорость ветра изменялась дискретно: 1; 3,5 и 5 м/с. Поле эксперимента, учитывающее сочетание скорости ветра и угла раскрытия лопасти, представлено на рис. 2. На нем представлены результаты измерения действующей на лопасть силы: в прямом направлении, в обратном против ветра и результирующей силы.





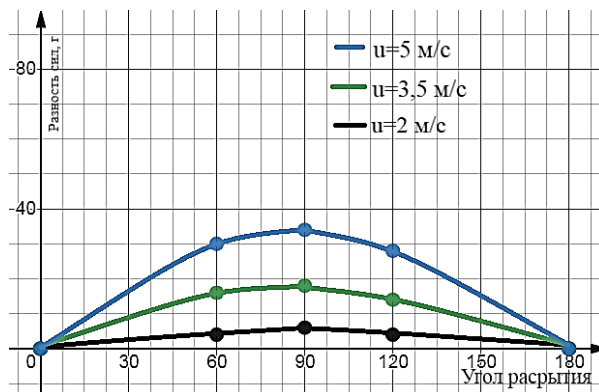
*Рис. 2. Поле эксперимента*

Расшифровка кодов физических величин скорости ветра и угла раскрытия лопастей представлена на рис. 3.



*Рис. 3. Сопоставление кодов и значений физических величин*

На рис. 4 представлено значение разности сил, действующей на ветроколесо.



*Рис. 4. Зависимость силы, действующей на ветроколесо от скорости ветра и угла раскрытия лопастей*

По результатам эксперимента были сделаны следующие выводы:

1. С учетом скорости ветра по Саратовской области самый оптимальный угол – это  $90^{\circ}$ .

2. Точность эксперимента не позволяет сделать вывод о необходимости уменьшения или увеличения угла при изменении скорости ветра. Но на рис. 4 заметно, что разность сил  $\Delta F$  при увеличении скорости ветра и предполагает уменьшение угла раскрытия (при  $\varphi = 60^{\circ}$  разность сил больше, чем при  $\varphi = 120^{\circ}$ ).

3. Сделать вывод о сохранении в  $90^{\circ}$  при скоростях более 5 м/с не позволяют возможности вентилятора, т. к. максимальная скорость ветра, которую он обеспечивает, равна 6 м/с, к тому же в ограниченном в пространстве.

4. Учитывая, что в Воскресенском районе Саратовской области есть сезоны, в которые средняя скорость ветра достигает 18 м/с, может оказаться, что оптимальный угол раскрытия лопастей должен быть меньше 90 градусов. На этот случай разработана конструкция лопасти, позволяющая быстро устанавливать необходимый угол при изменении ветровых условий эксплуатации (рис. 5).

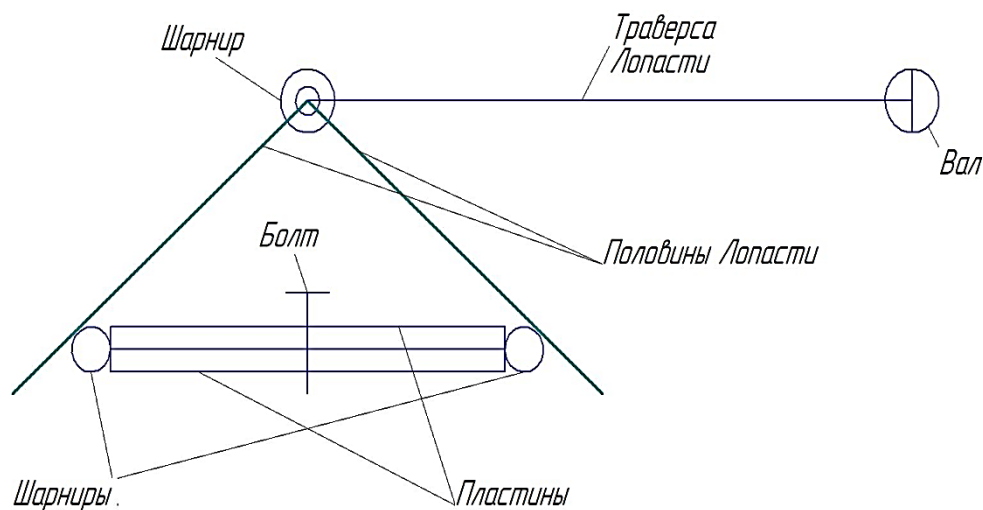


Рис. 5. Конструкция лопасти ветроколеса с возможностью сезонного регулирования угла раскрытия лопасти

#### Литература

1. Консалтинговая группа Текарт, 2007-2020 год. [Электронный ресурс] URL: <http://www.cleandex.ru/articles/2016/01/25/wind-energy-terms> (дата обращения: 29.03.2020).

2. Фатеев Е.М. Ветро двигатели и ветроустановки / Е.М. Фатеев. – М.: Сельхозгиз, 1948. – 547 с.

3. Свободная Энергия, 2010-2014 год. [Электронный ресурс] URL: <http://www.solarroof.ru/theory/29/76/> (дата обращения: 29.03.2020).

4. УАЭ – Альтернативные Источники Энергии, 2007-2010 год. [Электронный ресурс] URL: <http://wind.ae.net.ua/index.php/main/index/0/510> (дата обращения: 29.03.2020).

5. Федеральный институт промышленной собственности, ФИПС, 2009-2020 год. [Электронный ресурс] URL: <http://www.fips.ru/> (дата обращения: 29.03.2020).

6. Григорьева В.А. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент / В.А. Григорьева, В.М. Зорина. – М.: Энергоиздат, 1982. – 518 с.

УДК 621.311.1

**Автоматизированное проектирование схем электроснабжения предприятий средствами общедоступного программного обеспечения для персональных компьютеров как инструмент освоения профессиональных компетенций студентами высших учебных заведений направления «Электроэнергетика и электротехника» в условиях дистанционного образования**

Губатенко Марк Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Атомная энергетика»;

Стельмах Ирина Валентиновна, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Атомная энергетика»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*Рассматривается методика автоматизированного расчёта мощности трансформаторных подстанций на территории предприятия с учётом использования общедоступного программного обеспечения, позволяющего оперативно переходить к работе от программного обеспечения, установленного в компьютерных классах вуза к решению учебных задач в домашних условиях и в дистанционном формате.*

В условиях дистанционного образования важным вопросом является освоение профессиональных компетенций студентами, часто с учётом отсутствия необходимого программного обеспечения (ПО) на домашнем компьютере, по причине либо дорогой стоимости прикладных программ, либо ограничения функциональности (срока использования) пробных версий.

Наибольшее распространение для проведения автоматизированных расчётов при проектировании схем электроснабжения предприятий в процессе подготовки студентов направления «Электроэнергетика и электротехника» в БИТИ НИЯУ МИФИ получило следующее прикладное программное обеспечение: PTC Mathcad (ПО для инженерных математических расчётов), Microsoft Office Excel, как многофункциональное и предустановленное в современных компьютерных классах вуза. Однако для домашнего пользования это ПО является платным либо задаёт ограниченность срока использования или ограниченность функциональности. Рассмотрим возможность использования аналогичного бесплатного ПО с возможностью установки на домашний компьютер для использования с целью проведения автоматизированных расчётов и их оформления в соответствии с требованиями, предъявляемыми к оформлению текстовых документов в высших учебных заведениях. В качестве аналога Microsoft Office предлагается рассматривать WPS Office (ограничение функциональности по истечении пробного периода не задаёт ограничений для проведения расчётов [1]), аналога PTC Mathcad – SMath Studio (бесплатная математическая программа с графическим редактором и полной поддержкой единиц измерения [2]).

Проектирование схем электроснабжения предприятий и технические условия энергосистем всегда подвергаются анализу с точки зрения надёжности электроснабжения, резервирования, качества электрической энергии и дальнейшего развития предприятия.

Одним из важнейших критериев при проектировании сети электроснабжения является оптимальная конфигурация сети.

В целях сокращения расходов на электроснабжение стремятся на высоком напряжении доставить электроэнергию в центр электрических нагрузок предприятия, где устанавливается главная понизительная подстанция (ГПП). От ГПП осуществляется электроснабжение цеховых подстанций.

Расстояния от ГПП до цеховых подстанций зависят от размещения цехов предприятия, характера генплана.

Проектирование самой сети чаще всего происходит на экспертном уровне, когда составляются несколько вариантов схем электроснабжения и проводятся технико-экономические расчёты по выбору окончательного варианта.

Алгоритмы сплошного перебора всех вариантов и на основе целевой функции для определения оптимального варианта электроснабжения не всегда целесообразны. Такой подход не учитывает множество факторов, связанных с проектированием сети. Наложение дополнительных ограничений существенно усложняет задачу.

Для проектирования предлагается интерактивно составлять варианты электроснабжения и оценивать решения с помощью целевых функций. При составлении схем заводского электроснабжения следует учитывать следующие особенности:

- электроснабжение подстанций внутри завода осуществляется, как правило, по радиальным и магистральным схемам. Это обеспечивает удобство и надёжность эксплуатации, простоту построения релейной защиты;
- по каждой отдельной магистральной схеме подключается по 2-3 трансформаторных подстанции;
- не допускается обратного перетока мощности.

При составлении интерактивных схем допустим, что к трансформаторным подстанциям подключаются потребители 1, 2 категорий. Все подстанции двухтрансформаторные.

В данной работе предлагается автоматизировать предварительный выбор схем электроснабжения предприятий с использованием ПО SMath Studio.

Весь генеральный план разбивается на квадраты.

Для каждого квадрата вводятся характеристики: активная мощность оборудования, находящаяся на площади этого квадрата, и координаты квадрата в осях X,Y.

Условимся мощности, протекающие по линиям, соединяющим ГПП с каждой из подстанций, обозначать  $p_1-p_7$  (рис. 1). Длины линий – L01-L07.

Мощности, протекающие между подстанциями, обозначим  $p_8-p_{20}$ . Линии, соединяющие подстанции, имеют соответствующие индексы. Например, линия L12 соединяет 1 и 2 подстанцию, по этой линии протекает мощность  $p_8$ .

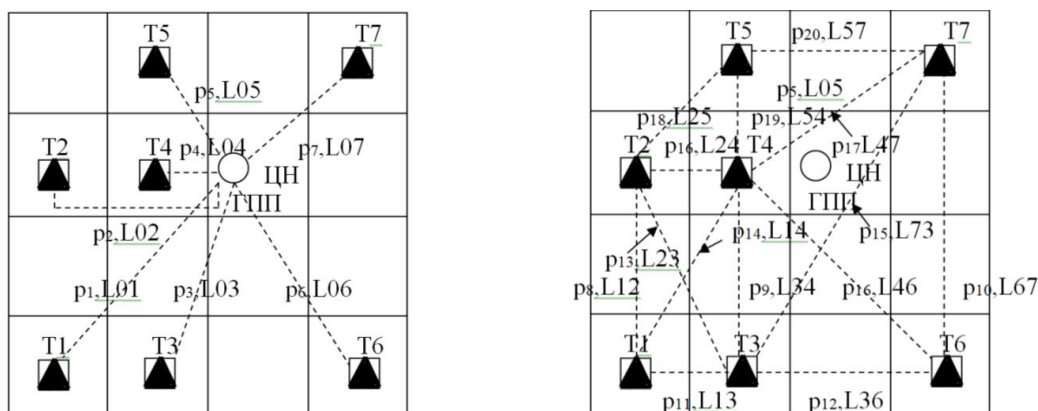


Рис. 1. Схемы соединения подстанций с центром нагрузок (ЦН) и между собой

В результате таких действий получаем три матрицы: активных мощностей PA по квадратам, координаты квадратов по оси X (действительная ось) и по оси Y (мнимая ось).

$$PA := \begin{bmatrix} 1 & 30 & 0 & 10 \\ 12 & 20 & 1 & 4 \\ 9 & 1 & 3 & 8 \\ 16 & 14 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad X := \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{bmatrix} \quad Y := \begin{bmatrix} 4 & 4 & 4 & 4 \\ 3 & 3 & 3 & 3 \\ 2 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 2 \end{bmatrix}$$

В матрицах указаны условные мощности и условные координаты.

Выделяются наиболее существенные нагрузки, где требуется установка трансформаторных подстанций.

Для этого:

- выделяется максимальная мощность из матрицы  $\max(PA) = 30$  PA;
- формируется логическая матрица PHL, содержащая нули и единицы.

Единицами в матрице указываются квадраты, в которых фактическая нагрузка превышает величину  $\max(PA)/DH$ . Величина  $1/DH$  – доля нагрузки от максимальной величины. Если нагрузка в квадрате меньше величины  $\max(PA)/DH$ , то в логической матрице появляется ноль.

Вся процедура проводится автоматически.

$$DH := 3$$

$$i := [1; 2 \dots 4] \quad j := [1; 2 \dots 4]$$

$$PHL_{ij} := PA_{ij} \geq \frac{\max(PA)}{DH}$$

$$PHL_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Определяются мощности в местах установки подстанций:

$$PB_{ij} := PA_{ij} \cdot PHL_{ij}$$

$$PB_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 30 & 0 & 10 \\ 12 & 20 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 16 & 14 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Произведённое действие обнуляет все нагрузки в матрице PA, которые меньше величины  $\max(PA)/DH$ .

В ряде случаев такое обнуление может вызвать существенные погрешности. В этом случае из матрицы PA выделяют подматрицы, охватывающие элементы матрицы PA вблизи определенных мест установки подстанций, определяют сумму элементов подматрицы (суммарную нагрузку вблизи подстанции) и относят всю нагрузку к мощности ближайшей подстанции.

Покажем описанную процедуру на примере уточнения величины нагрузки квадрата PB<sub>4,4</sub>.

Выделяем из матрицы PA субматрицу:

$$SPA := \text{submatrix}(PA; 3; 4; 3; 4)$$

Цифры после PA означают 3,4 – элементы матрицы PA, содержащиеся в строках 3, 4; следующие цифры 3, 4 – элементы матрицы PA, содержащиеся в столбцах 3, 4.

Тогда:

$$SPA = \begin{bmatrix} 3 & 8 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Суммируют все элементы матрицы SPA и относят полученную сумму к элементу PB<sub>4,4</sub>:

$$PB_{44} := \sum SPA$$

Аналогично при необходимости уточняются значения других элементов матрицы PB. На данном этапе рассмотрим полученную матрицу и зафиксируем условные расчётные необходимые мощности трансформаторов:

$$PB_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 30 & 0 & 10 \\ 12 & 20 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 16 & 14 & 0 & 14 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} T1 := PB_{41} = 16 \\ T2 := PB_{21} = 12 \\ T3 := PB_{42} = 14 \end{array} \quad \begin{array}{l} T4 := PB_{22} = 20 \\ T5 := PB_{12} = 30 \\ T6 := PB_{44} = 14 \end{array} \quad T7 := PB_{14} = 10$$

Используя SMath Studio, при определении центра электрических нагрузок можно использовать матрицы типа PA. Для вычисления расстояния между подстанциями координаты квадратов генплана удобнее представить в комплексном виде: X – действительная ось, Y – мнимая ось.

В результате определены расчётные мощности трансформаторных подстанций, исходя из заданных условий (рис. 1).

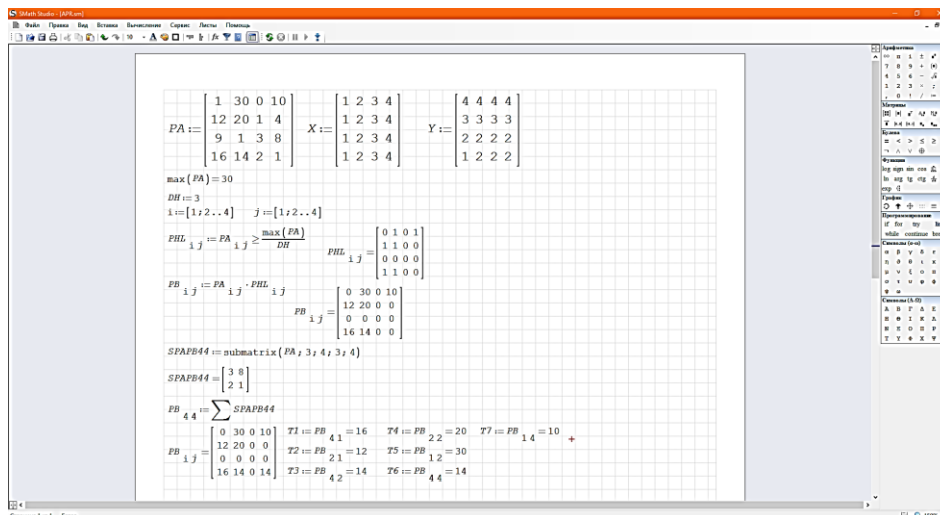


Рис. 1. Автоматизированный расчёт мощности трансформаторных подстанций в ПО SMath Studio

Важным аспектом реализации представленной методики расчёта в ПО SMath Studio является то, что никакого дополнительного обучения по работе с программой не требуется, поскольку, имея навыки работы с ПО RTC Mathcad, составить программу расчёта для студента не представляет никакого труда.

Аналогично никакого дополнительного обучения по работе с программой не требуется и при оформлении результатов расчётов в соответствии с требованиями, предъявляемыми к оформлению текстовых документов в высших учебных заведениях, а также выполнении автоматизированных расчётов в табличном процессоре, используя ПО WPS Office. Представленная научная статья оформлена при использовании именно этого ПО (рис. 2).

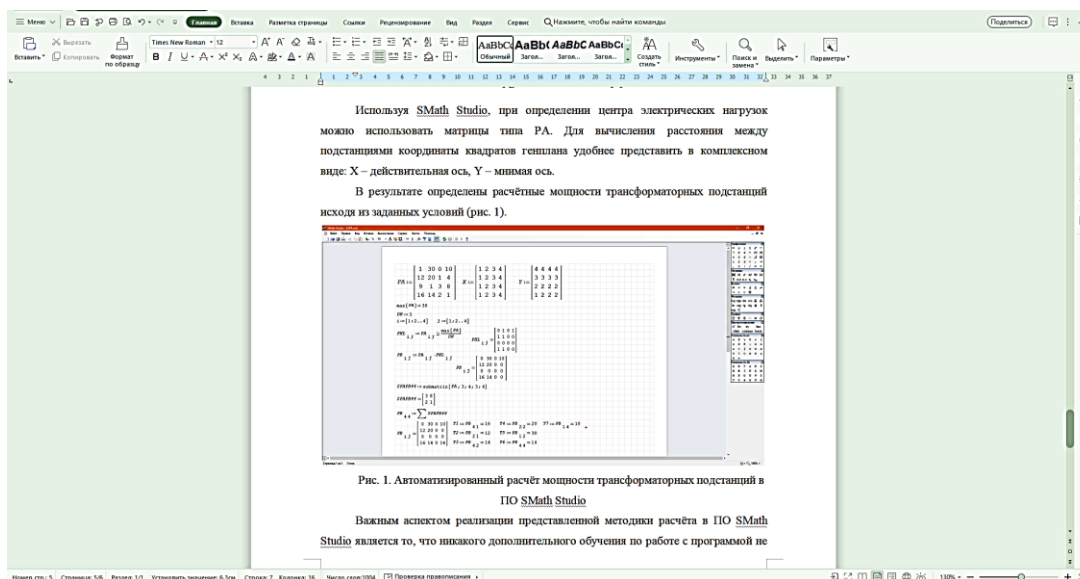


Рис. 2. Окно текстового процессора WPS Office



В заключение необходимо отметить, что в современных условиях при переходе к системе дистанционного образования в сжатые сроки, при подготовке инженерных кадров и создании условий для обязательного освоения профессиональных компетенций в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования, единым квалификационным справочником должностей руководителей, специалистов и других служащих, учебным планом, наиболее актуальным является вопрос возможности использования ПО студентами высших учебных заведений в домашних условиях. Возможности рассматриваемых прикладных программ позволяют оперативно в кратчайшие сроки переходить к работе от ПО, установленного в компьютерных классах вуза, к решению учебных задач в домашних условиях и в дистанционном формате.

#### Литература

1. WPS Office. [Электронный ресурс] URL: <https://www.wps.com> (дата обращения: 18.04.2020).
2. Smath Studio. [Электронный ресурс] URL: <https://ru.smath.com/обзор/SMathStudio/резюме> (дата обращения: 18.04.2020).
3. Автоматизация проектирования систем электроснабжения / В.Н. Винославский [и др.]. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1988. – 208 с.
4. САПР систем промышленного электроснабжения: учеб. пособие / Ю.Ф. Лыко [и др.]. – Куйбышев: КПТИ, 1990. – 76 с.

УДК621.914

### **Расчет надежности системы бесперебойного питания фрезерного станка с подвижной стойкой**

Ефремова Татьяна Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Атомная энергетика»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального  
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*В работе проведен расчет надежности системы бесперебойного питания фрезерного станка с ЧПУ в ходе эксплуатации. Проведено обоснование планового и текущего ремонтов и даны рекомендации по повышению надежности.*

Рассматриваемая система бесперебойного питания фрезерного станка состоит из трех основных блоков: блок вводных автоматов; блок АВР – устройство автоматического включения резерва; блок ИБП – источника бесперебойного питания.

Блок вводных автоматов предназначен для контролируемой коммутации вводных силовых цепей и цепей АВР. АВР предназначен для надежной коммутации внутренних цепей системы и одного из вводов. ИБП предназначен для поддержания электроснабжения блока управления, а также для сглаживания скачка напряжения при срабатывании АВР [1].

Функциональная схема системы бесперебойного электропитания представлена на рис. 1.

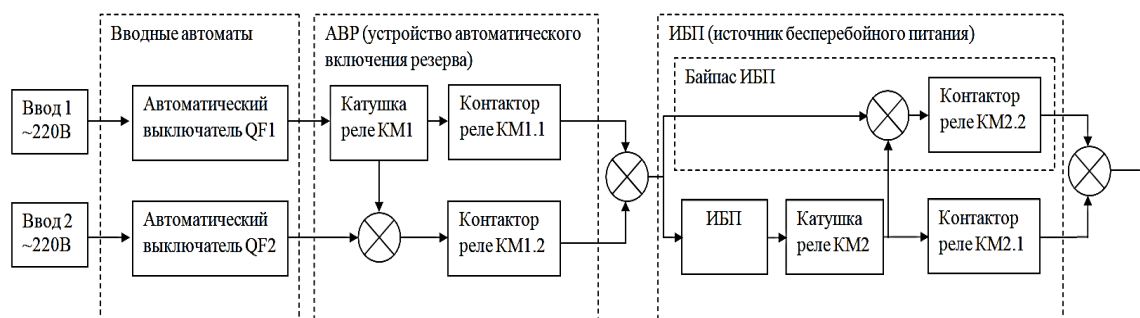


Рис. 1. Функциональная схема системы бесперебойного электропитания фрезерного станка с подвижной стойкой

Система работает следующим образом:

- 1) Основным вводом считается ввод 1, ввод 2 считается резервным.
- 2) При наличии напряжения на обоих вводах реле КМ1 является сработанным.
- 3) При исправности ИБП – реле КМ2 является сработанным, а цепь байпас ИБП разорванной.
- 4) В начальный момент времени, до подачи напряжения, ток проходит по цепи ввод 2 – байпас ИБП.
- 5) Критерием работоспособности системы является стабильное наличие на выходных клеммах системы напряжения 220 В [1].

Принципиальная электрическая схема представлена на рис. 2.

Цепи 1L1-1N1 и 2L1-2N1 являются первичными цепями питания, это цепи от фидеров до вводных автоматов. Цепи 1L11-1N11 и 2L11-2N11 являются внутренними цепями устройства, представляют собой цепи от вводных автоматов до контакторов реле КМ1. Цепь L11-N11 представляет собой цепь от контакторов реле КМ1 до входных клемм ИБП и контактора 2 реле КМ2. Цепь LU1-NU1 представляет собой цепь от выходных контактов ИБП до контактов катушки реле КМ2 и контактора этого

реле. Цепь LU2-NU2 является выходной цепью устройства и представляет собой цепь от контактора 1 реле KM2 до потребителей.

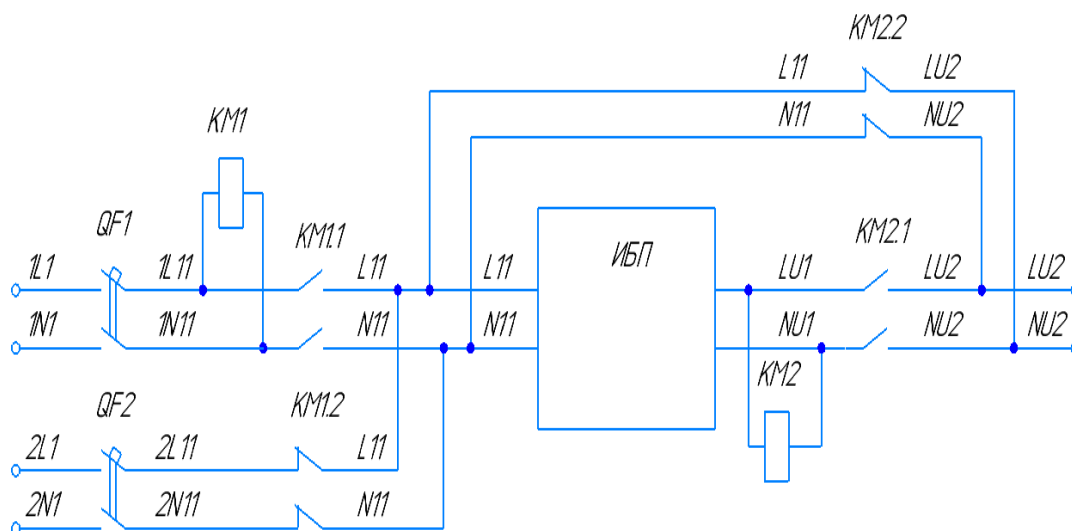


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема

При наличии напряжения на обоих вводах возможна замена любого элемента устройства без вывода устройства из работы. Расчет надежности проводился для двух режимов работы системы: стабильный, при котором рабочее время устройств, запитанных от устройства управления, не ограничено. Временный – при нем рабочее время устройств, запитанных от системы, ограничено емкостью батареи ИБП [2].

Случаи, при которых система не работоспособна в режиме 1, рассмотрены в табл. 1.

Таблица 1

Варианты неработоспособности системы в режиме 1

№	Неисправности	
1	Неисправен автомат QF1	Неисправен автомат QF2
2	Неисправен автомат QF1	«Залип» контактор KM1.1
3	Неисправен автомат QF2	Дефект катушки KM1
4	Неисправен автомат QF2	«Залип» контактор KM1.2
5	Неисправен ИБП	«Залип» контактор KM2.2

Случаи, при которых система не работоспособна в режиме 2, рассмотрены в табл. 2.

Таблица 2

Варианты неработоспособности системы в режиме 2

№	Неисправности		
1	Неисправен ИБП	«Залип» контактор KM2.2	

2	Неисправен ИБП	Неисправен автомат QF1	Неисправен автомат QF2
3	Дефект катушки КМ2		
4	«Залип» контактора КМ2.1		
5	Неисправен ИБП	Неисправен автомат QF1	«Залип» контактор КМ1.1
6	Дефект катушки КМ2		
7	«Залип» контактора КМ2.1		
8	Неисправен ИБП	Неисправен автомат QF2	Дефект катушки КМ1
9	Дефект катушки КМ2		
10	«Залип» контактора КМ2.1		
11	Неисправен ИБП	Неисправен автомат QF2	«Залип» контактор КМ1.2
12	Дефект катушки КМ2		
13	«Залип» контактора КМ2.1		

Логико-вероятностная схема отказа для режима 1 будет иметь следующий вид (рис. 3).

Наступление любого из трех событий приведет к потере работоспособности в режиме 1. При этом логическая функция отказа системы для режима 1 будет иметь вид:

$$F_{отк} = p_{QF1} \cap (p_{QF2} \cup p_{KM1.1}) \cup p_{QF2} \cap (p_{KM1} \cup p_{KM1.2}) \cap p_{ИБП} \cap p_{KM2.2} \quad (1)$$

где  $p_{QF1}$  – вероятность отказа автоматического выключателя  $QF_1$ ;  $p_{QF2}$  – вероятность отказа автоматического выключателя  $QF_2$ ;  $p_{KM1.1}$  – вероятность отказа контактора  $KM1.1$ ;  $p_{KM2.2}$  – вероятность отказа контактора  $KM2.2$ ;  $p_{KM1}$  – вероятность отказа катушки  $KM1$ ;  $p_{ИБП}$  – вероятность отказа ИБП.

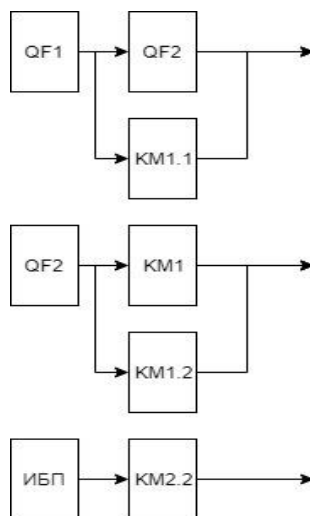


Рис. 3. Логико-вероятностная схема для режима 1

Логико-вероятностная схема для режима 2 будет иметь вид, представленный на рис. 4.

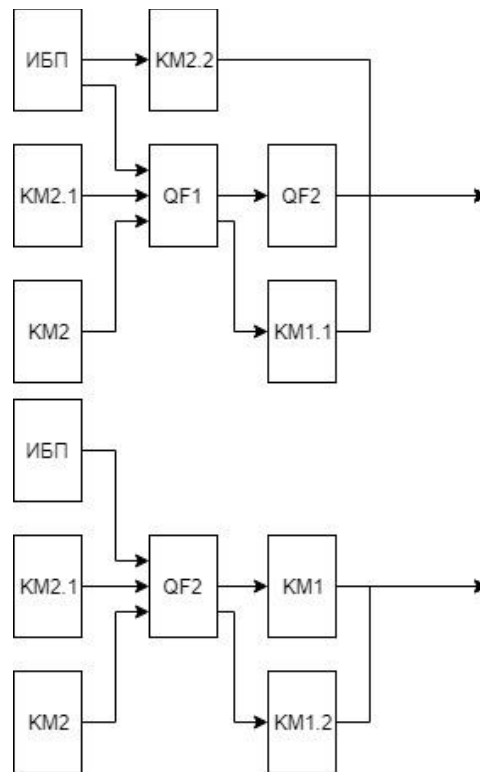


Рис. 4. Логико-вероятностная схема для режима 2

Логическая функция отказа системы для режима 2 будет иметь вид:

$$F'_{отк} = P_{ИБП} \cap P_{KM\ 2.2} \cup (P_{ИБП} \cup P_{KM\ 2}) \cap P_{QF\ 1} \cap (P_{QF\ 1} \cup P_{KM\ 1.1}) \cap (P_{ИБП} \cup P_{KM\ 2.1} \cup P_{KM\ 2}) \cap P_{QF\ 2} \cap (P_{KM\ 1} \cup P_{KM\ 1.2}) \quad (2)$$

Вероятность безотказной работы системы для режима 1:

$$P_{реж\ 1} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3$$

$$P_1 = P_{QF\ 1} \cdot \left( 1 - \left( (1 - P_{QF\ 2}) \cdot P_{KM\ кат} + P_{QF\ 2} \cdot (1 - P_{KM\ кат}) \right) \right) =$$

$$= 0.9999997 \cdot (1 - ((1 - 0.9999997) \cdot 0.9999997 + 0.9999997 \cdot (1 - 0.9999997))) = 0.9999995$$

$$P_2 = P_{QF\ 2} \cdot \left( 1 - \left( (1 - P_{KM\ конт}) \cdot P_{KM\ кат} + P_{KM\ конт} \cdot (1 - P_{KM\ кат}) \right) \right) =$$

$$= 0.99999971 \cdot (1 - ((1 - 0.99999976) \cdot 0.999999987 + 0.99999976 \cdot (1 - 0.999999987))) =$$

$$= 0.99999968$$

$$P_3 = P_{ИБП} \cdot P_{KM\ конт} = 0.99999975 \cdot 0.999999987 = 0.99999962$$

$$P_{реж1} = 0.99999951 \cdot 0.99999968 \cdot 0.99999962 = 0.9999989$$

Интенсивность отказов системы в режиме 1 будет равна:

$$\lambda_{\text{реж 1}} = -\ln(P_{\text{реж 1}}) = 9,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

График вероятности безотказной работы с течением времени представлен на рис. 5.

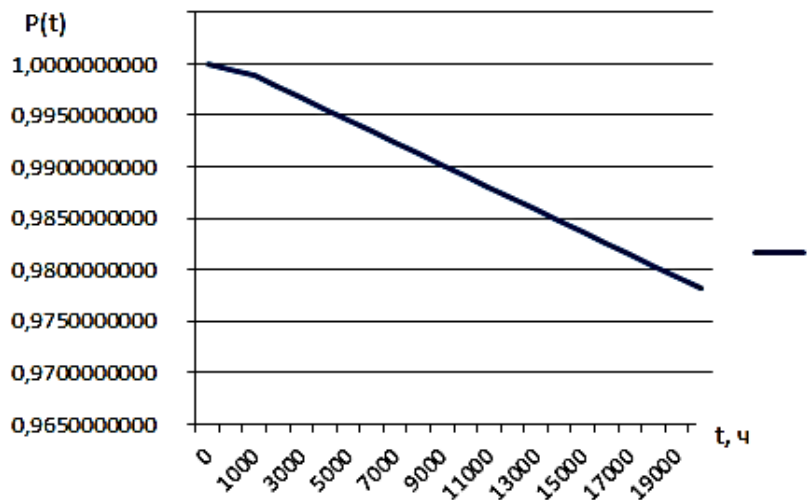


Рис. 5. Вероятность безотказной работы системы с учетом технического обслуживания для режима 1

Анализ графика позволяет сделать вывод о том, что за 20000 часов работы вероятность безотказной работы системы составляет 0,9755.

Рассчитаем эксплуатационную наработку на отказ системы для режима 2.

$$P_{\text{реж 2}} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3$$

$$P_1 = P_{\text{ИБП}} \cdot P_{\text{КМ конт}} = 0,99999975 \cdot 0,999999987 = 0,99999962$$

$$P_2 = \left(1 - \left(1 - P_{\text{ИБП}}\right)\right) \cdot \left(1 - P_{\text{КМ конт}}\right) \cdot \left(1 - P_{\text{КМ кат}}\right) \cdot P_{\text{QF 1}}$$

$$\cdot \left(1 - \left(1 - P_{\text{QF 2}}\right) \cdot \left(1 - P_{\text{КМ конт}}\right)\right) = (1 - (1 - 0,99999975) \cdot (1 - 0,999999987)) \cdot (1 - 0,999999976) \cdot 0,99999971 \cdot (1 - (1 - 0,99999971) \cdot (1 - 0,999999987)) = 0,99999971$$

$$P_3 = \left(1 - \left(1 - P_{\text{ИБП}}\right)\right) \cdot \left(1 - P_{\text{КМ конт}}\right) \cdot \left(1 - P_{\text{КМ кат}}\right) \cdot P_{\text{QF 2}}$$

$$\cdot \left(1 - \left(1 - P_{\text{QF 1}}\right) \cdot \left(1 - P_{\text{КМ конт}}\right)\right) = (1 - (1 - 0,99999975) \cdot (1 - 0,999999987)) \cdot (1 - 0,999999976) \cdot 0,99999971 \cdot (1 - (1 - 0,99999971) \cdot (1 - 0,999999987)) = 0,99999971$$

$$P_{\text{реж 2}} = 0,99999962 \cdot 0,99999971 \cdot 0,99999971 = 0,9999904$$

Интенсивность отказов системы в режиме 2 будет равна:

$$\lambda_{\text{реж 2}} = -\ln(P_{\text{реж 2}}) = 9,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

По графику вероятности безотказной работы системы, изображенном на рис. 6, видно, что в течение 20000 часов вероятность безотказной работы не превышает 0,8.

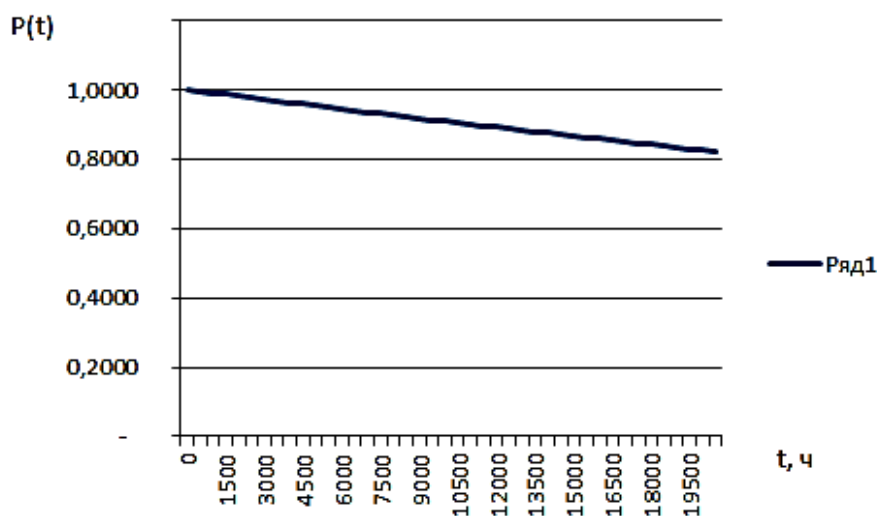


Рис. 6. Вероятность безотказной работы системы с учетом технического обслуживания для режима 2

Как видно из рис. 5, 6, надежность системы бесперебойного питания фрезерного станка находится на высоком уровне. Тем не менее, для повышения надежности работы системы бесперебойного питания станка в качестве конструкторско-технологических решений предлагаются следующие рекомендации:

- изменение электрической схемы системы, связанное с добавлением в нее стабилизатора напряжения. Это позволит избежать «просадок» напряжения при срабатывании АВР. Отчасти функцию стабилизатора напряжения выполняет источник бесперебойного питания, однако двойственность функции приводит к ухудшению характеристик системы при выходе ИБП из строя;

- изменение электрической схемы системы, связанное с добавлением в нее реле времени, подключенного к выходу ИБП. При пуске ИБП сначала происходит коммутация внутренних цепей ИБП, что приводит к задержке начала подачи напряжения на выход ИБП, соответственно, одновременное включение ИБП и отключение байпаса ИБП может привести к кратковременному обесточиванию оборудования, запитанного от системы. Задержка отключения байпаса позволит избежать этой проблемы;

- включение в электрическую схему контрольных цепей, подключенных к реле, что позволит контролировать состояние реле, тем самым позволить вовремя выявлять дефекты реле. Многие современные реле имеют электрические выходы, позволяющие контролировать состояние контакторов. Реализация дискретных сигналов на основе

этих выходов позволит автоматизировать диагностику системы, что повысит ее надежность и снизит время восстановления.

Также предлагаются общие рекомендации по поддержанию работоспособности устройства:

- поддержание микроклимата в оптимальном диапазоне в месте размещения оборудования (расчет производится при условии, что устройство относится к классу – стационарная аппаратура, эксплуатируемая в лабораторных условиях, капитальных жилых помещениях, помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями), несвоевременное техобслуживание вспомогательного оборудования может повлечь за собой снижение работоспособности устройства;

- использование качественных комплектующих и ЗИП;
- соблюдения рекомендаций ПУЭ по прогрузке автоматических выключателей;
- соблюдение рекомендаций ПУЭ, касательно используемой кабельной продукции, в рассматриваемом устройстве максимально протекающий ток равен 6 А, соответственно, диаметр жил силового кабеля должен составлять не менее 1,5 мм.

Предлагаемая модернизированная электрическая схема представлена на рис. 7.

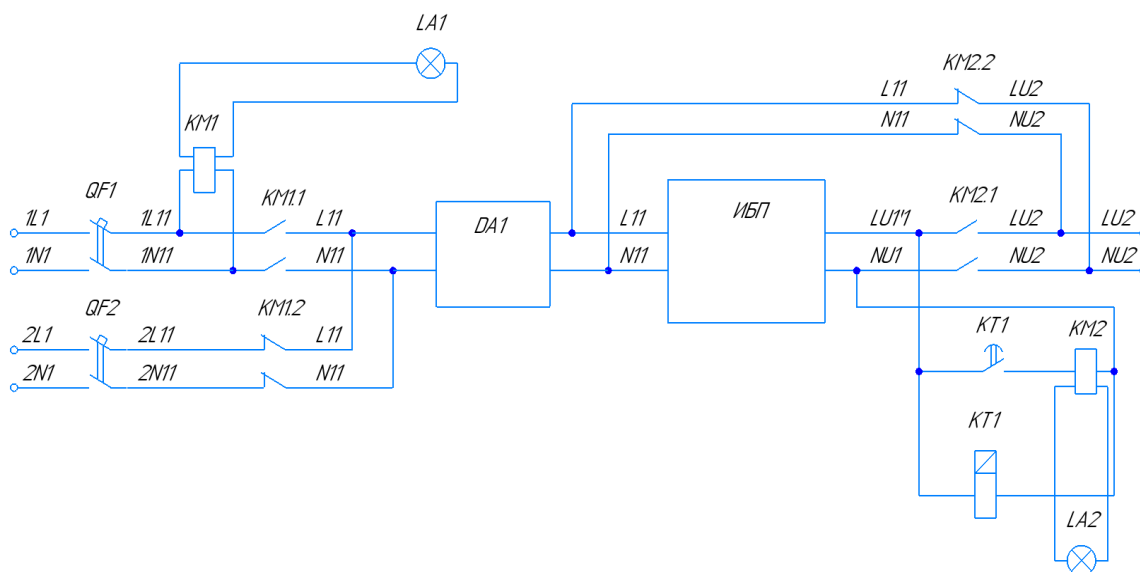


Рис. 7. Принципиальная электрическая схема устройства после модернизации:  
DA1 – стабилизатор напряжения; KT1 – реле с задержкой срабатывания;  
LA1, LA2 – сигнальные лампы

#### Литература

1. Викторова В.С. Модели и методы расчета надежности технических систем / В.С. Викторова, А.С. Степанянц. – Москва: ИЛ, 2014. – 256 с.
2. Капур К. Надежность и проектирование систем / К. Капур, Л. Ламберсон. – М.: Мир, 2014. – 608 с.



3. Бах К. Детали машин. Их расчет и конструкция / К. Бах. – М.: М.-Л.: ГНТИ, 2016. – Т. 1. – 720 с.

4. Хуснияров М.Х. Основы надежности и диагностики технических систем / М.Х. Хуснияров, М.Ф. Сунагатов, Д.С. Матвеев. – УФА: Изд-во УГНТУ, 2011. – 128 с.

УДК 621.039.743

**Анализ возможности использования америция-241  
для производства тепловой и электрической энергии**

Коробейников Валерий Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор  
Отделения Ядерной физики и технологий;

Лунин Егор Андреевич, студент Отделения Ядерной физики и технологий;

Михалев Александр Витальевич, аспирант Отделения Ядерной физики и технологий;

Чернов Дмитрий Олегович, студент Отделения Ядерной физики и технологий

Обнинский институт атомной энергетики – филиал федерального государственного  
автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Обнинск

*Рост объема накопленных малых актинидов и невозможность их утилизации в ближайшие десятилетия диктуют необходимость поиска альтернативных способов их использования. Одним из таких путей является создание РИТЭГ на основе америция-241. В работе рассмотрены общие характеристики такого радиоизотопного источника и разработана модель, по которой определена максимально возможная масса нуклида в установке. Проведен анализ возможного использования РИТЭГ, его недостатков и преимуществ.*

Одной из важнейших задач ядерной энергетики на сегодняшний день является решение вопроса отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) тепловых реакторов. В настоящее время уже накоплено более 400000 т ОЯТ и с каждым годом число отработавшего топлива увеличивается на 11000 т [1]. Решение данной проблемы сейчас носит отложенный характер, а отработавшее топливо продолжает храниться в соответствующих хранилищах. Это вносит дополнительные сложности, связанные с накоплением малых актинидов (МА), которые будут вносить основной вклад в радиотоксичность ядерных отходов после длительного хранения. Ряд малых актинидов в ОЯТ представлен следующими основными радионуклидами: америций-241, нептуний-237 и изотопы кюрия. Наиболее проблемным в этой тройке является америций-241, который, помимо накопления в реакторе, образуется при бета-распаде плутония-241 с периодом полураспада 14,35 года. Это приводит к тому, что, с учетом

хранящегося в разных состояниях плутония, скорость накопления америция в России составляет 700 кг/год [2].

Наиболее обсуждаемой концепцией решения проблемы ОЯТ является замыкание ядерного топливного цикла, предполагающее переработку ОЯТ с выделением урана 238, делящихся материалов и малых актинидов и увеличение числа быстрых реакторов. При этом МА планируется подвергать трансмутации в нейтронном поле для быстрого получения стабильных нуклидов. Для этой цели рассматриваются как быстрые, так и тепловые реакторы. В случае быстрых реакторов предполагается деление малых актинидов и образование осколков деления, чья радиоактивность способна существенно снизиться за короткий промежуток времени, а также захват ими нейтронов и постепенное снижение их радиотоксичности. Тепловые реакторы могут уменьшить радиоактивность МА в основном с помощью реакции захвата [3].

Замкнутый топливный цикл может быть реализован по разным сценариям, однако в данной работе рассматриваются два: инновационный и эволюционный [2]. Первый предполагает к 2050 году наряду с наращиванием мощностей за счет тепловых реакторов типа ВВЭР ввести в эксплуатацию 9 быстрых реакторов БН-1200. Второй сценарий предполагает ввод в эксплуатацию лишь одного быстрого реактора, заменив остальные на тепловые. Согласно этим сценариям, можно оценить масштаб проблемы, исходящей от накопления америция-241. Табл. 1 показывает массу америция, хранящуюся в ОЯТ сегодня и накопленную к 2050 году в России без дополнительного вмешательства [2]. Стоит отметить, что проблема накопления малых актинидов носит международный характер.

Таблица 1

Накопление америция в тепловых и быстрых реакторах

Америций	Эволюционный сценарий		Инновационный сценарий	
	2017 г.	2050 г.	2017 г.	2050 г.
В ОЯТ ВВЭР-1000, т	4	16	4	-
В ОЯТ ВВЭР-1200, т	-	9	-	-
В ОЯТ РБМК, т	7	14	6	13
В ОЯТ БН-800, т	-	2	-	1
В ОЯТ БН-1200, т	-	-	-	1
Выделенный в результате переработки ОЯТ ВВЭР-1000/1200, БН-800/1200 и РБМК, т	-	-	-	16
На складе плутония, т	3	2	3	1
Выделенный в результате переочистки плутония, т	-	-	-	8
В стекле, т	1	6	1	6
Всего, т	15	48	14	46

Однако инновационный вариант сегодня представляется слишком оптимистичным. Развитие быстрых реакторов происходит недостаточно быстро, при этом они проигрывают по экономическим показателям своим конкурентам – тепловым реакторам. Вдобавок для получения приемлемой скорости трансмутации требуются реакторы с очень высокой плотностью потока нейтронов, поскольку именно этот параметр является одним из важнейших в определении времени выхода на равновесную концентрацию малых актинидов [3]. Какой способ считать наиболее эффективным, не ясно до сих пор. Свои преимущества и недостатки имеет каждый из них [4]. Разработка, проектирование и строительство таких реакторов, а также подготовка сопутствующего производства потребуют большое количество времени и значительные экономические затраты. Это позволяет сделать вывод о том, что наладить процесс трансмутации малых актинидов не будет возможным на протяжении как минимум десятилетий.

Поскольку решение проблемы откладывается на долгие годы и даже не выработана единая концепция для этого, целесообразно искать способы применения этих материалов в сегодняшних реалиях. В данной работе, например, предлагается использовать америций-241 в качестве радиоизотопного источника для РИТЭГ. Такие установки активно использовались ранее в отдаленных северных местах и используются сегодня в освоении дальнего космоса. Радиоизотопным источником в них зачастую являются стронций-90 и плутоний-238, имеющие достаточное энерговыделение при скромных размерах.

Для этих целей также может быть использован один из представителей ряда малых актинидов – америций-241, который имеет энерговыделение порядка 0,12 Вт/г вследствие альфа-распадов. Однако существенным недостатком америция-241 в качестве радиоизотопного топлива является возможность деления ядер данного нуклида и поддержания цепной реакции деления. Для исследования этой проблемы в работе рассмотрен предельный случай с максимально возможной загрузкой америция в одну установку. Главным критерием является соблюдение глубокой подкритичности установки не менее 0,02. Расчетная модель представляет собой сферу из  $\text{Am}_2\text{O}_3$ . Такая форма выбрана из-за обеспечения ей наименьшей утечки, что делает расчет более консервативным, но гарантирует отсутствие цепной реакции деления в реальной ситуации. Использование в РИТЭГ чистого америция исключено из-за низкой температуры плавления (1173 °С). Однако оксид америция (III) имеет температуру плавления около 2200 °С, что удовлетворяет требованиям безопасности [5]. В результате расчета в программе, основанной на методе Монте-Карло, получен

максимально возможный радиус, составляющий 12,92 см. Соответственно, масса чистого америция в оксиде в предполагаемом РИТЭГ составит порядка 96,7 кг. На основании данных о тепловыделении америция максимальная тепловая мощность, получаемая при такой массе топлива, 8,7 кВт. Исходя из того, что максимальный КПД таких установок может достигать 7,5 % [6], максимальная электрическая мощность РИТЭГ оказывается около 650 Вт.

По соотношению габаритов установки и энергетическому выходу можно заключить, что такие установки эффективно использовать на стационарных станциях, например, для мониторинга окружающей среды. Такой мощности должно быть достаточно для обеспечения энергией электроники, входящей в состав полевых систем анализа погодных условий, сейсмоанализа, сигнальных систем, например маяков. Однако, при уменьшении размеров РИТЭГ, её можно использовать для космических или глубоководных исследований. Такая установка может обеспечить достаточной энергией оборудование, которое находится в труднодоступных областях нашей страны, на протяжении долгого времени без замены источника излучения, что является неоспоримым преимуществом установки с америцием-241.

Для РИТЭГ с топливом из плутония 238 или стронцием-90 срок эксплуатации может быть ограничен падением мощности примерно на 20 %, которое происходит примерно за 28 и 9 лет соответственно и колеблется в зависимости от самой установки. Для варианта установки с америцием-241 падение мощности на 20 % произойдёт через 139,5 лет. Такая потенциальная продолжительность работы позволяет сделать вывод о том, что срок эксплуатации РИТЭГ будет ограничен лишь прочностью конструкции, подверженной внешнему воздействию. На сегодняшний день можно судить о том, что достижения в области материаловедения позволят создать корпус установки, способный выдержать не менее 50 лет. За такой срок мощность упадёт лишь на 7,69 %. При начальной массе америция-241, равной 96,7 кг, на момент окончания работы РИТЭГ в составе топлива его останется 89,4 кг.

При работе такого РИТЭГ основным накапливаемым изотопом в результате альфа-распадов является нептуний-237. В силу своего огромного периода полураспада, равного  $2,14 \cdot 10^6$  лет, за предполагаемый срок эксплуатации (50 лет) в установке накопится 7,3 кг данного нуклида и лишь 0,1 кг из них распадется. Это позволяет считать нептуний-237 конечным изотопом для РИТЭГ.

РИТЭГ на основе америция-241 имеют ряд серьезных преимуществ, а именно:

– большая длительность работы, ограниченная лишь износом конструкции, а не падением электрической мощности;

– выделение тепловой энергии происходит, в основном, вследствие альфа-распада, что делает установку значительно безопаснее аналога со стронцием-90.

При этом существуют и недостатки конструкции, например, возможность поддержания цепной реакции деления, которая компенсируется большой критической массой оксида америция, что позволит получить достаточно высокую энергию. Этот недостаток присутствует и у плутония-238, однако его высокое тепловыделение позволяет делать установки гораздо более компактными и не достигать критической массы. Также этот недостаток америция можно попытаться учесть в конструкции установки за счет смягчения спектра нейтронов. Деление америция-241 носит пороговый характер и достаточно мягкий спектр исключает такую реакцию.

Проблема низкого энерговыделения сковывает нас в вариантах применения америция-241. Однако для использования в наземных условиях либо при необходимости в источниках энергии малой мощности в космических условиях данный материал вполне подходит.

Ряд проблем может оказаться не существенным при использовании америция-241 для получения только тепловой энергии. В таком случае полностью отпадает проблема низкого КПД при прямом преобразовании энергии. Также проблема деления америция гораздо легче устраняется, например, дистанционированием частей топлива в корпусе установки либо вовсе помещением его в решетку, например, из графита, по принципу размещения топливных сборок в реакторе типа РБМК. Такой способ позволит нивелировать данную проблему и расширит объем использования америция в одной установке до уровня потребностей в каждом конкретном случае.

Использование америция для получения электрической или тепловой энергии может быть промежуточным этапом на пути к полной утилизации малых актинидов. Такой способ их применения позволит не только осуществить надзор радиоактивных материалов и постепенный их перевод в более стабильные нуклиды, но и является способом их полезного использования.

#### Литература

1. О ценности ОЯТ как сырья для топлива реакторов на тепловых нейтронах / А.П. Соловьева [и др.] // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2019. – № 2. – С. 140-152.
2. К вопросу накопления и реакторной утилизации америция в ядерной энергетике / В.М. Декусар [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2019. – № 1. – С. 215-223.

3. Шмелев А.Н. Физические основы обезвреживания долгоживущих радиоактивных отходов / А.Н. Шмелев, В.А. Апсэ, Г.Г. Куликов // Потенциал инновационных технологий: учеб. пособие. – М.: МИФИ, 2008. – 120 с.

4. Казанский Ю.А. Результаты трансмутации малых актинидов в спектре нейтронов реакторов на тепловых и быстрых нейтронах / Ю.А. Казанский, Н.В. Иванов, М.И. Романов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2016. – № 2. – С. 77-86.

5. СанПиН 2.6.1.2749-10 «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при обращении с радиоизотопными термоэлектрическими генераторами».

6. Космические радиоизотопные термоэлектрические генераторы на америции-241 / А.А. Пустовалов [и др.] // Космическая техника и технологии. – 2016. – № 1. – С. 57-63.

УДК 621.43.013

### **Зависимость мощности энергоустановок от вида используемого топлива**

Костин Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Атомная энергетика»;

Разуваев Александр Валентинович, доктор технических наук, профессор кафедры  
«Атомная энергетика»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*В статье описывается возможность применения различных видов газового топлива для мини-ТЭЦ, осуществляющих комбинированную выработку электрической и тепловой энергии. Авторы рассматривают влияние смены топлива на номинальную мощность энергоустановок, а также возможность применения сжиженных углеводородных газов в качестве альтернативного топлива.*

Организация автономного электро- и теплоснабжения различных объектов становится все более актуальной в последние годы. Отчасти этому способствует ухудшение состояния систем централизованного энергоснабжения, что ведет к увеличению потерь энергоносителей при транспортировке.

Наиболее перспективным направлением является использование когенерационных установок. Применение подобных энергоустановок для

комбинированной выработки электрической и тепловой энергии обеспечивает повышение эффективности энергоснабжения за счет экономии топлива и сокращения потерь при транспортировке энергии.

Один из вариантов когенерационных установок носит название мини-ТЭЦ. В их основе лежат двигатели внутреннего сгорания – турбинные, поршневые дизельные и газовые. Более широкое применение находят именно газовые двигатели. Установки с дизельными двигателями применяются, как правило, в тех случаях, когда затруднен подвод газовой магистрали к объекту, поскольку стоимость дизельного топлива существенно превышает стоимость газа.

Однако существуют и другие виды топлива, которые в условиях, когда использование природного газа на мини-ТЭЦ невозможно или нецелесообразно, могут стать его альтернативой: биогаз или попутный газ от нефтяных скважин. При этом их стоимость будет ниже, чем стоимость дизельного топлива с учетом транспортировки.

Основное отличие этих видов топлива друг от друга заключается в содержании метана. Газы, добываемые из чисто газовых месторождений, содержат более 95 % метана (табл. 1). Содержание метана на газоконденсатных месторождениях – 75-95 % (табл. 2).

Таблица 1

Химический состав газа газовых месторождений, об. %

Месторождение	СН <sub>4</sub>	С <sub>2</sub> Н <sub>6</sub>	С <sub>3</sub> Н <sub>8</sub>	С <sub>4</sub> Н <sub>10</sub>	С <sub>5</sub> Н <sub>12</sub>	Н <sub>2</sub>	СО <sub>2</sub>	Относит. плотность
Северо-Ставропольское	98,9	0,29	0,16	0,05	–	0,4	0,2	0,56
Уренгойское	98,84	0,1	0,03	0,02	0,01	1,7	0,3	0,56
Шатлыкское	95,58	1,99	0,35	0,1	0,05	0,78	1,15	0,58
Медвежье	98,78	0,1	0,02	–	–	1,0	0,1	0,56

Таблица 2

Химический состав газа газоконденсатных месторождений, об. %

Месторождение	СН <sub>4</sub>	С <sub>2</sub> Н <sub>6</sub>	С <sub>3</sub> Н <sub>8</sub>	С <sub>4</sub> Н <sub>10</sub>	С <sub>5</sub> Н <sub>12</sub>	Н <sub>2</sub>	СО <sub>2</sub>	Относит. плотность
Вуктыльское	74,80	7,70	3,90	1,80	6,40	4,30	0,10	0,882
Оренбургское	84,00	5,00	1,60	0,70	1,80	3,5	0,5	0,680
Ямбургское	89,67	4,39	1,64	0,74	2,36	0,26	0,94	0,713
Уренгойское	88,28	5,29	2,42	1,00	2,52	0,48	0,01	0,707

Газы, добываемые вместе с нефтью (попутный газ) представляют собой смесь метана, этана, пропанобутановой фракции (сжиженного газа) и газового бензина. Содержание метана – около 35-85 %. Содержание тяжёлых углеводородов в попутном газе 20-40 %, реже – до 60 % (табл. 3).

Химический состав газа нефтяных месторождений (попутного газа), об. %

Месторождение	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Относит. плотность
Бавлинское	35,0	20,7	19,9	9,8	5,8	8,4	0,4	1,181
Ромашкинское	38,4	19,1	17,8	8,0	6,8	8,0	1,5	1,125
Самотлорское	53,4	7,2	15,1	8,3	6,3	9,6	0,1	1,010
Узеньское	50,2	20,2	16,8	7,7	3,0	2,3	–	1,010

В свою очередь, состав биогаза меняется в зависимости от способа получения и используемого сырья. Наибольшей стабильностью отличается биогаз, который вырабатывают с помощью биогазовых установок посредством сбраживания сырья под действием бактерий. В качестве сырья используются органические отходы, а также мусорные и растительные отходы. В метановом разложении сырьевой массы участвуют гидролизные, кислотообразующие и метанобразующие бактерии. В процессе распада органических веществ на жиры, сахара и аминокислоты, взаимодействующие с метаногенными бактериями, образуется биогаз.

Примерно составляющие биогаза находятся в следующих пропорциях:

- метан 40-70 %;
- углекислый газ 30-60 %;
- сероводород 0-3 %;
- водород 0-1 %;
- другие газы 1-5 %.

При этом при снижении доли метана в газе наблюдается и падение мощности двигатель-генератора. Так, при применении газопоршневых энергоустановок на Ярайнерском месторождении, было замечено, что при метановом индексе 45 мощность снижается с 1500 до 1315 кВт, при индексе 39 – до 1000 кВт.

Таким образом, для попутного газа среднего состава (400-550 г/м<sup>3</sup>) метановое число находится в пределах 25-35 ед., при этом электрогенерационные агрегаты будут выдавать 33-48 % от заявленной мощности. Следовательно, для получения заявленных производителем характеристик генерационного оборудования для его работы в нормальном режиме необходима более глубокая подготовка попутного газа [1].

На рис. 1 [1] изображен усредненный график зависимости мощности газопоршневой электростанции (ГПЭ) от метанового числа топливной смеси.



График, характеризующий зависимость метанового числа различных газовых смесей от их состава, и зависимость изменения мощности ГПЭ от метанового числа топливной смеси

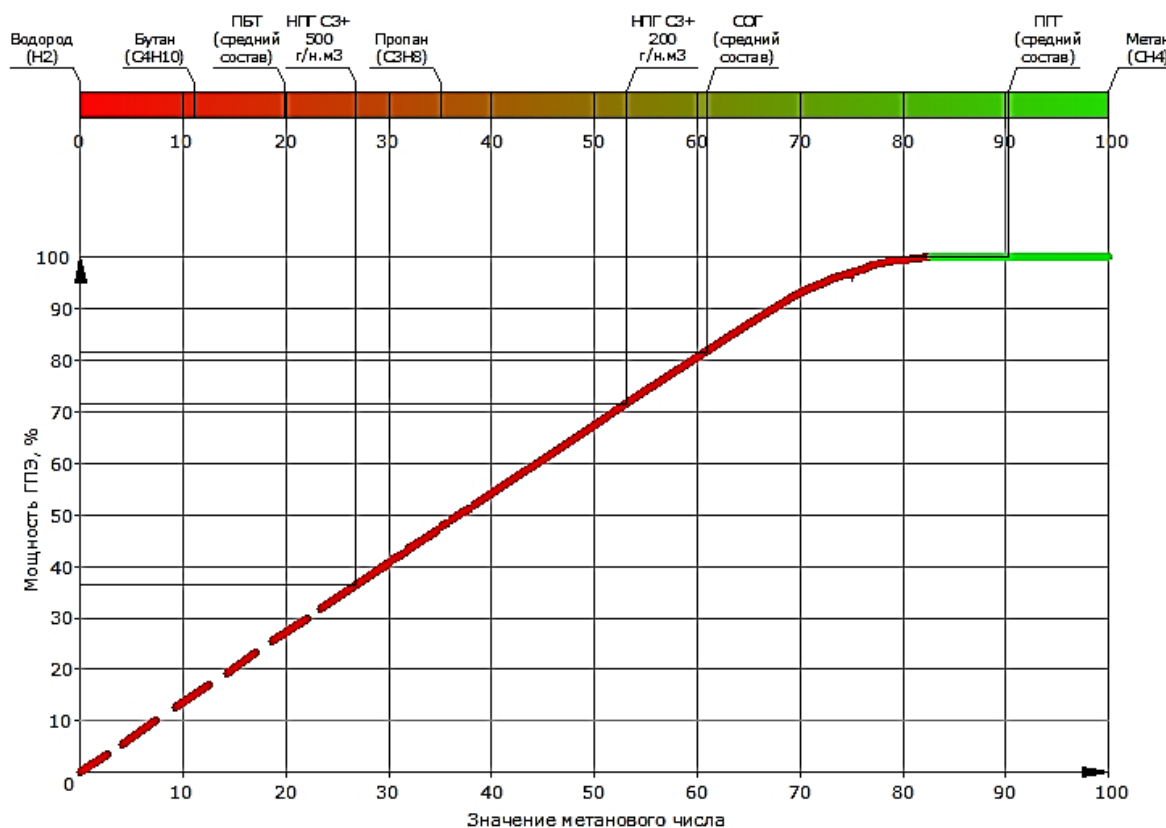


Рис. 1. График, характеризующий зависимость метанового числа различных газовых смесей от их состава, и зависимость изменения мощности ГПС (ГТС) от метанового числа топливной смеси

Другой альтернативой природному газу могут стать сжиженные углеводородные газы (СУГ). Основными составляющими СУГ являются пропан (C3H8) и бутан (C4H10). Сжиженный нефтяной газ могут вырабатывать как из нефти, так и из конденсатной фракции природного газа.

Одним из наиболее важных свойств пропана и бутана, отличающих их от других видов топлива, является образование при свободной поверхности над жидкой фазой двухфазной системы жидкость-пар вследствие возникновения давления насыщенного пара, т. е. давления пара в присутствии жидкой фазы в резервуаре. В процессе наполнения емкости первые порции сжиженного газа быстро испаряются и заполняют весь его объем, создавая в нем определенное давление. При уменьшении давления газ мгновенно испаряется. Испарение сжиженного газа продолжается до тех пор, пока образовавшиеся пары сжиженного газа не достигнут насыщения. Это свойство пропана и бутана позволяет хранить газ в небольших объемах [2].

В настоящее время существуют успешные проекты отопительных котельных, работающих на пропан-бутане [3]. Однако применение СУГ в качестве топлива для мини-ТЭЦ требует проведения дополнительных исследований.

В качестве заключения отметим следующее. Основным топливом для автономных энергетических установок является природный газ. При работе на этом виде топлива они наиболее эффективны в плане вырабатываемой мощности. Но в условиях, когда использование природного газа невозможно или нецелесообразно, заменой могут стать другие виды газа. При этом, в большинстве случаев, при использовании в качестве топлива для мини-ТЭЦ попутного газа или биогаза необходима его предварительная подготовка – очистка от механических примесей, аэрозольных составляющих. В ряде случаев требуется повышение метанового индекса.

Также в ряде случаев эффективным может быть использование СУГ в качестве топлива. Но применение пропан-бутана в двигателях на мини-ТЭЦ требует проведения серьезных исследований несмотря на то, что данное топливо положительно зарекомендовало себя в качестве топлива для автомобильного транспорта и отопительных котельных. Автономность СУГа позволяет двигатель-генератору быть «не привязанным» к газовой трубе, СУГ можно транспортировать автотранспортом на место эксплуатации газовой энергоустановки.

#### Литература

1. Костин Д.А. Эффективность применения энергетических установок на базе поршневых двигателей в энергетических комплексах: дис. ... канд. техн. наук (05.14.01 - Энергетические системы и комплексы) / Д.А. Костин; рук. работы А.В. Разуваев. – Саратов. гос. техн. ун-т. – Саратов, 2017. – 153 с.
2. Виды топлива для ГБО. Пропан, метан / GBO4.ru: Всё о газобаллонном оборудовании. [Электронный ресурс] URL: <https://gbo4.ru/vidy-topliva-dlya-gbo-propan-metan.html> (дата обращения: 15.04.2020).
3. Котельные на пропан-бутане: аргументы «за» и «против» / Технологии безопасности & инженерные системы. – 2005. – № 4. – С. 80-81.

**Моделирование аварии с блокировкой проходного сечения технологического канала в реакторе «Мастер»**

Левченко Валерий Алексеевич, кандидат технических наук, директор;

Кашеев Михаил Васильевич, доктор технических наук, доцент,  
ведущий научный сотрудник;

Дорохович Сергей Леонидович, кандидат технических наук, доцент, главный инженер;

Зайцев Алексей Александрович, кандидат технических наук, заведующий лабораторией

ООО Экспериментальный научно-исследовательский и методический центр

«Моделирующие системы», г. Обнинск

*Рассмотрена безопасность реакторной установки «Мастер» в условиях блокировки проходного сечения технологического канала в виде трубки Фильда. Выполнена оценка возможности расхолаживания отдельного технологического канала в пассивном режиме с учетом наличия теплопроводящей циркониевой матрицы.*

*Сформулирована математическая постановка задачи. Температуры в сборке с усредненными свойствами и в циркониевой матрице (сплав Э-110) описываются дифференциальными уравнениями теплопроводности с соответствующими начальными и граничными условиями. Температуры во внешнем и внутреннем каналах трубки Фильда рассчитываются по точечной модели и зависят только от времени. Математическая постановка также включает уравнение для определения расхода теплоносителя в контуре естественной циркуляции.*

*Разработанная математическая модель реализована в программе ТК. Расчеты показали, что температура топлива остается относительно низкой и не происходит расплавления тепловыделяющих элементов.*

В настоящее время разработана концепция энергоблока с реактором «Мастер» малой мощности (около 30 МВт тепловых) для обеспечения электроэнергией установленной номинальной мощностью 10 МВт автономной сети электропотребителей и/или участия в поддержании баланса мощностей энергосистемы совместно с другими производителями электроэнергии. Проект энергоблока с реактором «Мастер» мощностью 30 МВт(т) имеет все предпосылки к успешному применению.

В данной работе выполнена оценка безопасности реакторной установки «Мастер» в условиях блокировки проходного сечения технологического канала в виде трубки Фильда, окруженного циркониевой матрицей.

Расчет температуры технологического канала при аварии

Рассматривается следующая авария: в некоторый нулевой момент времени происходит блокировка проходного сечения на входе и выходе трубки Фильда.

Прекращается вынужденная конвекция, и из-за энерговыделения система начинает разогреваться. Требуется в первую очередь определить температуру топлива: не расплавятся ли ТВЭЛы? Определяются температуры топлива, циркониевой матрицы (циркониевого сплава Э-110) и температуры во внутреннем и внешнем каналах трубки Фильда.

Схема расчетной модели трубки Фильда представлена на рис. 1. В верхней части внутренней боковой поверхности трубки Фильда предусмотрены отверстия. В результате после прекращения вынужденной конвекции в технологическом канале образуется контур естественной конвекции, как показано на рис. 1.

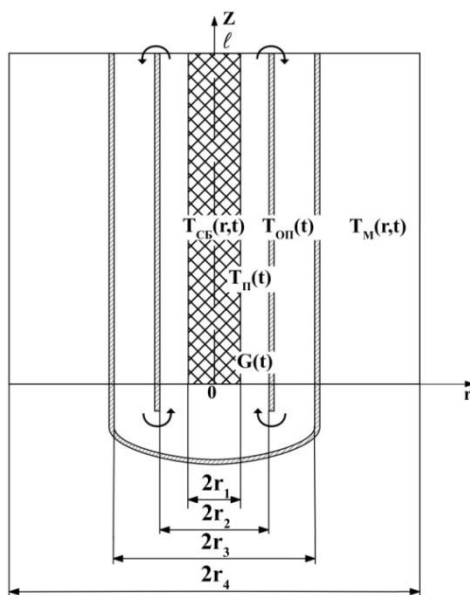


Рис. 1. К вопросу математической постановки задачи

Математическая постановка задачи:

1. Определение температуры сборки.

Температура в тепловыделяющей сборке с усредненными свойствами описывается дифференциальным уравнением теплопроводности [3]

$$\frac{\partial T_{сб}}{\partial t} = a \left( \frac{\partial^2 T_{сб}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_{сб}}{\partial r} \right) + \frac{q_v(t)}{c\rho} \quad (1)$$

с начальным условием

$$T_{сб}(r, 0) = f_1(r) \quad (2)$$

и граничными условиями

$$\frac{\partial T_{сб}(0, t)}{\partial r} = 0 \quad \text{или} \quad T_{сб}(0, t) < \infty, \quad (3)$$

$$-\lambda_{сб} \frac{\partial T_{сб}(r_1, t)}{\partial r} = \alpha_{сб} (T_{сб}(r_1, t) - T_n). \quad (4)$$

В (1) – (4)  $a$  – коэффициент температуропроводности,  $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $c$  – изобарная теплоемкость,  $\text{Дж} / (\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $q_v$  – мощность источников тепла,  $\text{Вт}/\text{м}^3$ ;  $r$  – поперечная координата, м;  $T$  – температура, К;  $t$  – время, с;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;  $\rho$  – плотность,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

В качестве функции  $f_1(r)$  можно использовать распределение температуры в нулевой момент времени.

## 2. Определение температуры циркониевой матрицы.

Дифференциальное уравнение, описывающее температурное поле в циркониевом сплаве Э-110,

$$\frac{\partial T_M}{\partial t} = a_M \left( \frac{\partial^2 T_M}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_M}{\partial r} \right). \quad (5)$$

Начальное условие

$$T_M(r, 0) = f_2(r). \quad (6)$$

Граничные условия

$$-\lambda_M \frac{\partial T_M(r_3, t)}{\partial r} = \alpha_M (T_{\text{оп}} - T_M(r_3, t)), \quad (7)$$

$$T_M(r_4, t) = T_0 \quad (T_0 = \text{const}). \quad (8)$$

Как и в предыдущем разделе, для  $f_2(r)$  можно принять стационарное распределение температуры.

## 3. Определение температуры теплоносителя во внутреннем канале.

Во внутреннем канале источники тепла: поток тепла от сборки, приток тепла с водой из внешнего канала и стоки тепла: поток тепла к внешнему каналу, затраты тепла на подогрев воды от температуры  $T_n^0 = T_n(0)$  до температуры насыщения  $T_s$ , испарение воды при  $T_n = T_s$ , возможный перегрев пара после полного испарения воды и унос тепла  $G c_{p,cm} T_n$ .

В соответствии со словесным описанием по точечной модели внутреннего канала математическая формулировка выражается дифференциальным уравнением первого порядка, которое по сути является уравнением баланса тепла.

$$\begin{aligned}
(c\rho)_n V_n \frac{dT_n}{dt} = & \alpha_{сб} F_{сб} (T_{сб}(r_1) - T_n) - k_1 F_1 (T_n - T_{он}) - m_n c_{p,в} \frac{\Delta T}{\Delta t} \eta(T_s - T_n) - \\
& - r_b \frac{\Delta m}{\Delta t} \eta(m(0) - \sum \Delta m_n) \eta(T_n - T_s) - m c_{p,пп} \frac{\Delta T}{\Delta t} \eta(t - t_s) - G c_{p,см} T_n + G c_{p,в} T_{он}
\end{aligned} \quad (9)$$

с начальным условием

$$T_n(0) = T_n^0.$$

В уравнении (9)  $(c\rho)_n$  – объемная теплоемкость теплоносителя (вода, двухфазная смесь или перегретый пар во внутреннем канале);  $m_n c_{p,в} \frac{\Delta T}{\Delta t} \eta(T_s - T_n)$  – стоки тепла, расходуемого на подогрев воды;  $m_n, c_{p,в}$  – масса и теплоемкость воды;  $\Delta T$  – приращение температуры на шаге  $\Delta t$ ;  $r_b \frac{\Delta m}{\Delta t}$  – стоки тепла на испарение воды;  $r_b \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{V_n (c\rho)_{см} \Delta T}{\Delta t}$ ;  $\Delta m$  – масса воды, испарившейся за время  $\Delta t$ ;  $m c_{p,пп} \frac{\Delta T}{\Delta t} \eta(t - t_s)$  – стоки тепла, необходимого для перегрева пара;  $t_s$  – время окончания испарения воды;  $m, c_{p,пп}$  – масса пара, теплоемкость пара. Отметим, что  $F_1$  – площадь цилиндрической поверхности при  $r = r_2$ , м<sup>2</sup>;  $k_1$  – коэффициент теплопередачи от внутреннего канала к внешнему, Вт/(м<sup>2</sup> × К);  $r_b$  – теплота парообразования, Дж/кг;  $V$  – объем теплоносителя, м<sup>3</sup>.

В уравнении (9) используется единичная функция, определяемая следующим образом:

$$\eta(x) = \begin{cases} 1 & \text{при } x \geq 0; \\ 0 & \text{при } x < 0. \end{cases}$$

В соответствии с определением Коши имеем:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{dT}{dt}.$$

При испарении воды в обоих каналах происходит рост давления в трубке Фильда. Температура на линии насыщения в зависимости от давления вычисляется по формуле справочника [2].

С учетом изложенного выше уравнение (9) примет вид

$$\frac{dT_n}{dt} + (a + c)T_n = aT_{сб}(r_1) + bT_{он}, \quad (10)$$

где  $C_c = V_n (c\rho)_n + m_n c_{p,в} \eta(T_s - T_n) + V_n (c\rho)_{см} \eta(m(0) - \sum \Delta m_n) \eta(T_n - T_s) + m c_{p,пп} \eta(t - t_s)$ ,

$$a = \frac{\alpha_{\text{сб}} F_{\text{сб}}}{C_c}, \quad b = \frac{k_1 F_1 + G c_{p,\text{в}}}{C_c}, \quad c = \frac{k_1 F_1 + G c_{p,\text{см}}}{C_c}.$$

#### 4. Определение температуры теплоносителя во внешнем канале.

Во внешнем канале источниками тепла являются поток от внутреннего канала и тепло, поступившее с водой или пароводяной смесью из того же канала. Стоки тепла: передача тепла к циркониевой матрице и унос тепла с водой.

Соответствующее уравнение имеет вид

$$(V_{\text{он}} (c\rho)_{\text{он}} + m_{\text{он}} c_{p,\text{в}} \eta (T_s - T_{\text{он}})) \frac{dT_{\text{он}}}{dt} = k_1 F_1 (T_{\text{п}} - T_{\text{он}}) + G c_{p,\text{см}} T_{\text{п}} - \alpha_{\text{м}} F_{\text{м}} (T_{\text{он}} - T_{\text{м}}(r_3)) - G c_{p,\text{в}} T_{\text{он}}$$

или

$$\frac{dT_{\text{он}}}{dt} + f T_{\text{он}} = g T_{\text{м}}(r_3) + e T_{\text{п}}, \quad (11)$$

$$\text{где } C_e = V_{\text{он}} (c\rho)_{\text{он}} + m_{\text{он}} c_{p,\text{в}} \eta (T_s - T_{\text{он}}), \quad f = g + \frac{k_1 F_1 + G c_{p,\text{в}}}{C_e}, \quad g = \frac{\alpha_{\text{м}} F_{\text{м}}}{C_e}, \quad e = \frac{k_1 F_1 + G c_{p,\text{см}}}{C_e}.$$

#### 5. Определение расхода теплоносителя при естественной конвекции

Нестационарное движение жидкости в замкнутом контуре описывается уравнением:

$$\frac{1}{l^*} \frac{dG}{dt} + \chi G^2 = \Delta p_{\text{ец}}, \quad (12)$$

где  $G$  – расход жидкости в контуре,  $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ ;  $\frac{1}{l^*} = \oint \frac{d\ell}{S(\ell)}$  – характеризует степень инерционности изменения расхода теплоносителя в контуре;  $S(\ell)$  – проходное сечение канала,  $\text{м}^2$ ;  $\chi$  – размерный параметр сопротивления контура,  $(\text{кг} \cdot \text{м})^{-1}$ ;  $\Delta p_{\text{ец}}$  – напор за счет переменной температуры (плотности) жидкости в поле сил тяжести, Па.

Напор за счет изменения плотности теплоносителя представляется как разница нивелирных напоров на опускном и подъемном участках контура. Сопротивление потоку теплоносителя можно рассчитать с использованием формулы Дарси – Вейсбаха, разделив контур на участки с однородной геометрией и постоянной скоростью жидкости.

Уравнение (12) относится к классу уравнений с разделяющимися переменными. Его решение согласно [1] имеет вид

$$G = \frac{G^0 ab + b^2 \text{th}(abt)}{ab + a^2 G^0 \text{th}(abt)},$$

$$\text{где } a = \sqrt{l^* \chi}, \quad b = \sqrt{l^* \Delta p_{\text{ец}}}.$$

Решение задачи

Задача (1) – (4) была решена методом прогонки [4].

Аналогично решена задача (5) – (8).

Решение системы уравнений (10), (11) с начальными условиями

$$T_{\text{п}}(0) = T_{\text{п}}^0, \quad T_{\text{оп}}(0) = T_{\text{оп}}^0$$

получено в аналитическом виде в квазистационарном приближении с использованием преобразования Лапласа. Расчет ведется дискретно по алгоритму

$$T_{\text{п}}(t_{k+1}) = \left( \frac{B_1}{C} + \frac{1}{\sqrt{D}} \left[ (T_{\text{п}}^0 s_1 + A_1 + \frac{B_1}{s_1}) e^{s_1 t} - (T_{\text{п}}^0 s_2 + A_1 + \frac{B_1}{s_2}) e^{s_2 t} \right] \right) \Big|_{t_k},$$

$$T_{\text{оп}}(t_{k+1}) = \left( \frac{B_2}{C} + \frac{1}{\sqrt{D}} \left[ (T_{\text{оп}}^0 s_1 + A_2 + \frac{B_2}{s_1}) e^{s_1 t} - (T_{\text{оп}}^0 s_2 + A_2 + \frac{B_2}{s_2}) e^{s_2 t} \right] \right) \Big|_{t_k},$$

где  $s_1 = \frac{-(a+c+f) + \sqrt{D}}{2}$ ,  $s_2 = \frac{-(a+c+f) - \sqrt{D}}{2}$ ,  $D = (a+c+f)^2 - 4((a+c)f - be)$ ,

$$A_1 = fT_{\text{п}}^0 + bT_{\text{оп}}^0 + aT_{\text{сб}}(r_1), \quad B_1 = afT_{\text{сб}}(r_1) + bgT_{\text{м}}(r_3), \quad A_2 = (a+c)T_{\text{оп}}^0 + eT_{\text{п}}^0 + gT_{\text{м}}(r_3),$$

$$B_2 = (a+c)gT_{\text{м}}(r_3) + aeT_{\text{сб}}(r_1), \quad C = (a+c)f - be.$$

Результаты расчета

Разработанная математическая модель реализована в программе ТК, по которой выполнен расчет аварии с блокировкой проходного сечения на входе и выходе технологического канала в виде трубки Фильда.

На рис. 2 показано изменение во времени максимальной температуры топлива при нулевом расходе (отсутствие отверстий) и при переменном расходе, обусловленном развитием естественной конвекции. Из рис. 2 видно, что при  $G = 0$  максимальная температура топлива сначала возрастает, достигая максимума 900 К, а затем постепенно уменьшается. При переменном расходе максимальная температура топлива ниже, чем при нулевом расходе. Можно отметить, что естественная конвекция незначительно влияет на температурное состояние топлива.



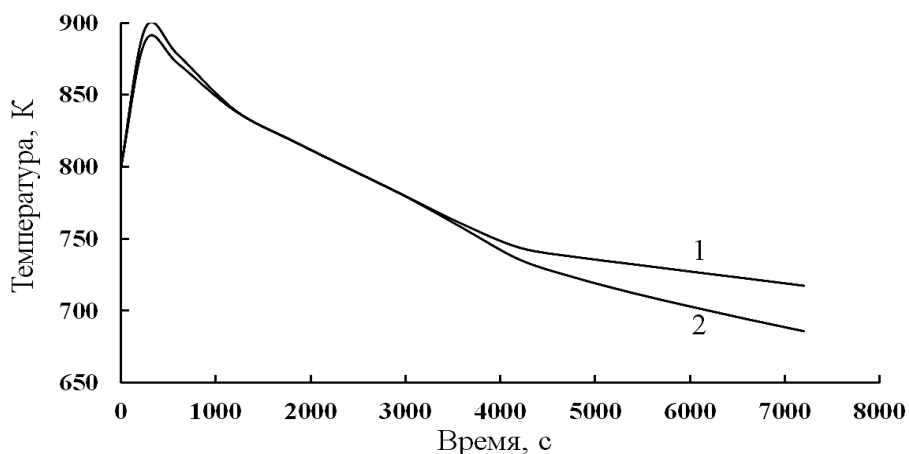


Рис. 2. Зависимость максимальной температуры топлива от времени: 1 –  $G = 0$  ;  
2 – переменный расход

На рис. 3 представлена зависимость от времени температуры теплоносителя во внутреннем канале трубки Фильда при переменном расходе. Сначала происходит нагревание теплоносителя во внутреннем канале. В момент времени 560 с достигается температура кипения теплоносителя. Процесс испарения продолжается до момента времени 2950 с и затем прекращается. В последующем температура теплоносителя во внутреннем канале уменьшается.

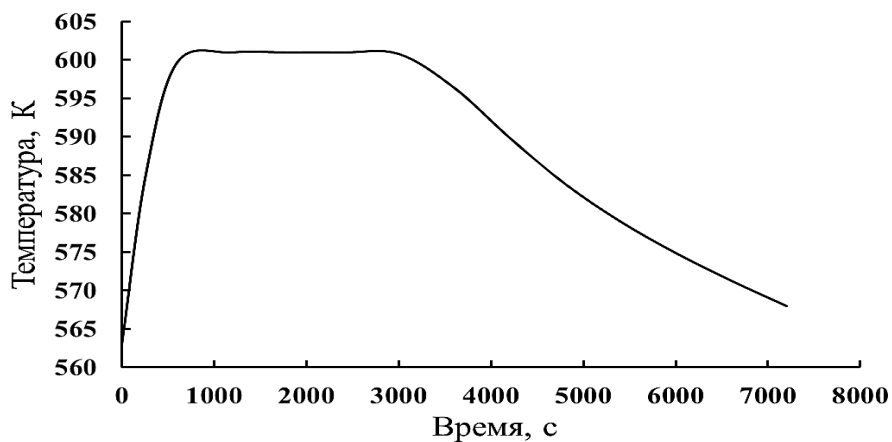


Рис. 3. Зависимость температуры теплоносителя во внутреннем канале трубки Фильда от времени

Во внешнем канале температура кипения теплоносителя не достигается. Максимальная температура теплоносителя составляет 596 К.

На основании результатов расчетов по предложенной математической модели можно сделать вывод о том, что температура топлива остается относительно низкой и не происходит расплавления тепловыделяющих элементов.

Индексы: в – вода; ец – естественная конвекция; м – матрица; оп – опускной; п – подъемный; сб – сборка; см – смесь.

## Литература

1. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям / Э. Камке. Перевод с немецкого С.В. Фомина. – М.: Изд-во «Наука». Главная редакция физико-математической литературы, 1971. – 576 с.
2. Кириллов П.Л. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы) / П.Л. Кириллов, Ю.С. Юрьев, В.П. Бобков. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 360 с.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
4. Самарский А.А. Теория разностных схем / А.А. Самарский. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 616 с.

УДК 621.867

### **Параметры движения грузов на импульсном ленточном конвейере**

Лускань Олег Александрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры  
«Атомная» энергетика»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*Статья посвящена теоретическому исследованию кинематических параметров движения штучных и сыпучих грузов на импульсном ленточном конвейере.*

Гибкие производственные системы являются реальным направлением перехода к автоматизированному производству.

С увеличением технологического оборудования с программным управлением, промышленных роботов и манипуляторов возникает необходимость в новых транспортных системах, которые удовлетворяли бы всем требованиям технологического процесса гибкой производственной системы, легко и быстро переналаживались при переходе на новые изделия между производственными участками или единицами оборудования, где из-за особенностей технологии нельзя использовать конвейеры с последовательным перемещением изделий через весь технологический процесс.

Кроме того, многие погрузочно-разгрузочные и транспортные работы выполняются вручную, снижая заданные темпы, не только из-за отсутствия требуемых средств механизации, но и невозможности быть универсальными к изменяющейся номенклатуре грузов. Сочетание в одной машине операций по транспортированию, погрузке и разгрузке как штучных, так и сыпучих грузов, возможность регулирования производительности, быстрой переналадки, наряду с простотой конструкции и обслуживания, малым временем подготовительных работ, низкими эксплуатационными затратами являются основными задачами проектирования и внедрения мобильных технических средств.

Разработана конструкция импульсного ленточного конвейера [1], предназначенного для горизонтального и пологонаклонного транспортирования как штучных грузов в жесткой и эластичной таре или без неё, так и сыпучих.

Импульсный ленточный конвейер (рис. 1) содержит раму 1, установленную на опорных катках 2 и привод 3 в виде кривошипно-шатунного механизма. На раме смонтированы грузонесущие 4, поддерживающие 5 роликоопоры и барабаны 6, оснащённые механизмами свободного хода 7, которые огибает вертикально замкнутая лента 8.

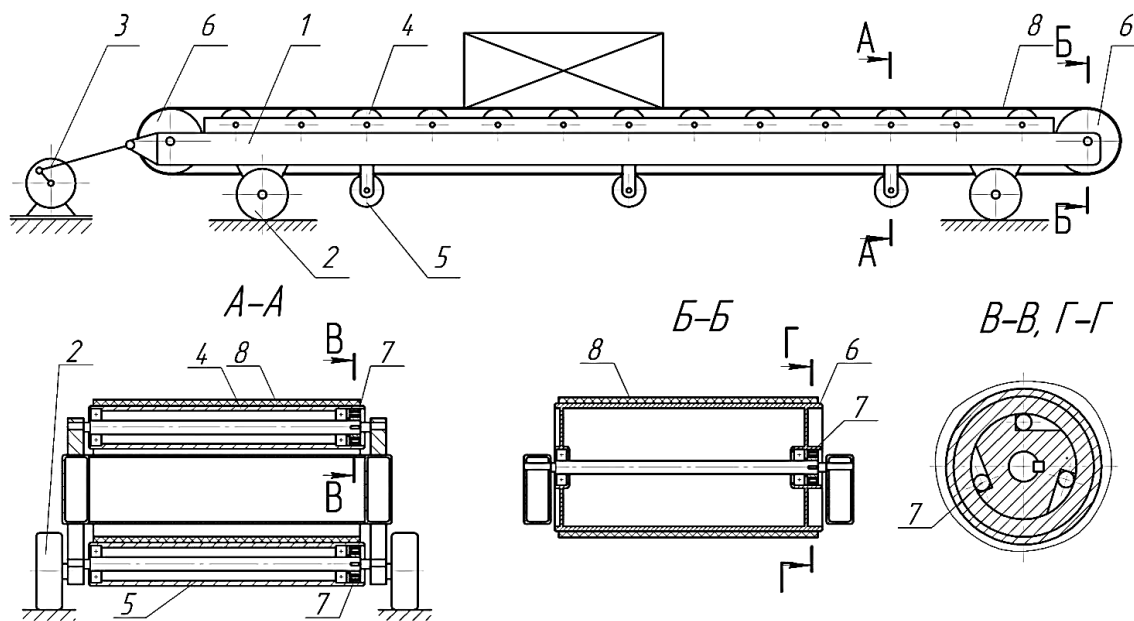


Рис. 1. Импульсный ленточный конвейер

Для осуществления транспортирования включается привод 3, и рама 1 начинает совершать возвратно-поступательные движения в плоскости транспортирования.

При прямом ходе, т. е. когда рама движется в сторону транспортирования, сила инерции груза стремится переместить ленту 8 с грузом в противоположную сторону, вращая роликоопоры 4, 5 и барабаны 6 в направлении, противоположном

транспортированию, чему препятствуют остановы 7. Сила трения между загруженной лентой и заторможенными барабанами и роlikоопорами, преодолевая силу инерции груза перемещает ленту с грузом в сторону транспортирования.

При обратном ходе рамы сила инерции груза меняет свое направление и, преодолевая сопротивление качения по барабанам и роlikоопорам и трение в их цапфах, продолжает перемещаться в сторону транспортирования, так как остановы не препятствуют вращению барабанов и роlikоопор.

Условием совместного движения груза с лентой в направлении транспортирования является то, что сила инерции груза будет меньше силы трения покоя опорной поверхности груза о роlikоопоры конвейера:

$$F_{II} \leq F_{mp} \quad (1)$$

где  $F_{II}$  – сила инерции груза и ленты:

$$F_{II} = ma^{omn} \quad (2)$$

$F_{mp}$  – сила трения покоя опорной поверхности груза о роlikи:

$$F_{mp} = mgf, \quad (3)$$

где  $m$  – погонная масса ленты и груза;  $a^{omn}$  – ускорение ленты с грузом относительно рамы конвейера;  $f$  – коэффициент трения покоя загруженной ленты о роlikоопоры.

Таким образом, относительное ускорение груза при прямом ходе рамы конвейера определится из условия непроскальзывания ленты с грузом по роlikам:

$$a^{omn} \leq gf. \quad (4)$$

Условием пологонаклонного транспортирования груза является то, что сила инерции груза будет больше силы сопротивления от подъема его на высоту и перемещения по роlikам:

$$F_{II} > W \text{ или } a^{omn} m > mg \sin \beta + mg \delta \cos \beta, \quad (5)$$

где  $W$  – общее сопротивление, возникающее при движении ленты с грузом по роlikоопорам;  $\delta$  – приведенный коэффициент сопротивления движению ленты с грузом;  $\beta$  – угол наклона конвейера.

Таким образом, минимальный угол наклона конвейера при подъеме груза на высоту составляет:

$$\beta_{\min} \geq \arcsin \frac{a^{\text{омн}}}{g \sqrt{1 + \delta^2}} - \arctg \delta \quad (6)$$

Максимальный угол наклона конвейера при подъёме груза на высоту определится из условия (1):

$$\beta_{\max} \leq \arcsin \frac{gf - a^{\text{омн}}}{g} \quad (7)$$

Рассмотрение процесса абсолютного движения груза на ленте по роlikоопорам конвейера за период одного оборота кривошипа было проведено на основе принципа Даламбера, при условии, что величина относительного перемещения груза и ленты за цикл колебания рамы не превышает расстояния между роliками [2].

Согласно расчётной схеме (рис. 2), на транспортируемый груз действуют силы: сила тяжести груза  $G_{zp}$ , сила сопротивления перемещения груза по роlikоопорам  $W$ , сила сопротивления от инерции вращающихся частей роlikоопор  $F_C^p$  и сила инерции  $F_{II}$ , поэтому можно записать:

$$F_{II} + W_{gp} + F_C^p = 0 \quad (8)$$

При рассмотрении горизонтального перемещения груза сила тяжести учитывается только силой сопротивления движения загруженной ленты по роlikоопорам.

$$F_{II} = -m\ddot{x}_{zp} \quad (9)$$

где  $\ddot{x}_{zp}$  – абсолютное ускорение груза;

$$F_C^p = \frac{I\varepsilon}{R} z \quad (10)$$

где  $I$  – момент инерции роlikоопоры;  $R$  – радиус инерции роlikоопоры;  $z$  – количество роlikоопор, находящихся под лентой с грузом;  $\varepsilon$  – угловое ускорение роlikоопоры, которое определяется формулой:

$$\varepsilon = \frac{d\omega_p}{dt} \quad (11)$$

где  $\omega_p$  – угловая скорость роlikоопоры.

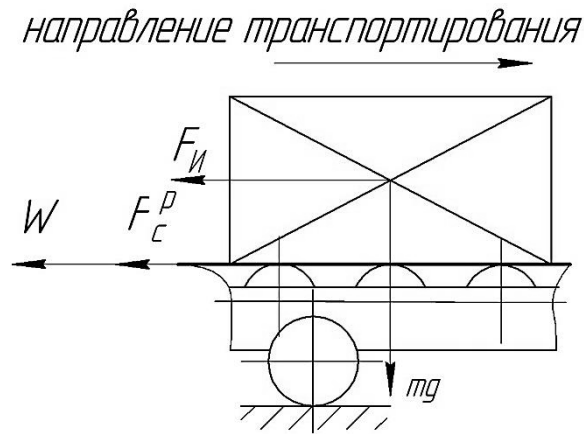


Рис. 2. Расчетная схема к определению закономерности абсолютного движения груза

Понятно, что угловая скорость роlikоопоры будет зависеть от скорости движения ленты с грузом относительно рамы конвейера, поэтому:

$$\omega_p = \frac{\vartheta_{гр}^{отн}}{R}, \quad (12)$$

где  $\vartheta_{гр}^{отн}$  – скорость ленты с грузом по роlikоопорам относительно рамы:

$$\vartheta_{гр}^{отн} = \vartheta_{гр} - \vartheta_{к}, \quad (13)$$

где  $\vartheta_{гр}$  – абсолютная скорость груза;  $\vartheta_{к}$  – абсолютная скорость рамы конвейера.

Основываясь на вышесказанном, уравнение (11) можно записать в виде:

$$\varepsilon = \frac{d\omega_p}{dt} = \frac{1}{R} \cdot \frac{d(\vartheta_{гр} - \vartheta_{к})}{dt} = \frac{1}{R} \cdot \frac{d(\dot{x}_{zp} - A\omega \cos \omega t)}{dt} = \frac{1}{R} (\ddot{x}_{zp} + A\omega^2 \sin \omega t),$$

но масса вращающихся частей роlikоопор определяется как  $m_p = Iz/R^2$ ,

тогда уравнение (11) запишется в виде:

$$F_C^P = \frac{I}{R} (\ddot{x}_{zp} + A\omega^2 \sin \omega t) z = m_p (\ddot{x}_{zp} + A\omega^2 \sin \omega t). \quad (14)$$

Подставляя значения (5), (9) и (14) в (8), получим:

$$-m_{гр} \ddot{x}_{zp} - m_{гр} g \delta - m_p (\ddot{x}_{zp} + A\omega^2 \sin \omega t) = 0. \quad (15)$$

Решая полученное уравнение относительно  $\ddot{x}_{zp}$ , определим закономерность изменения абсолютного ускорения, скорости и пути движения ленты с грузом:

$$\ddot{x}_{zp} = a_{гр} = -\frac{m_{гр}}{m_{гр} + m_p} g \delta - \frac{m_p}{m_{гр} + m_p} A \omega^2 \sin \omega t, \quad (16)$$

$$\dot{x}_{zp} = \mathcal{G}_{gp} = A \omega - \frac{m_{gp}}{m_{gp} + m_p} g \delta t - \frac{m_p}{m_{gp} + m_p} A \omega (1 - \cos \omega t) \quad (17)$$

$$x_{zp} = A \omega t - \frac{m_{gp}}{m_{gp} + m_p} g \delta \frac{t^2}{2} - \frac{m_p}{m_{gp} + m_p} A (\omega t - \sin \omega t) \quad (18)$$

Графическая интерпретация полученных закономерностей представлена на рис. 3.

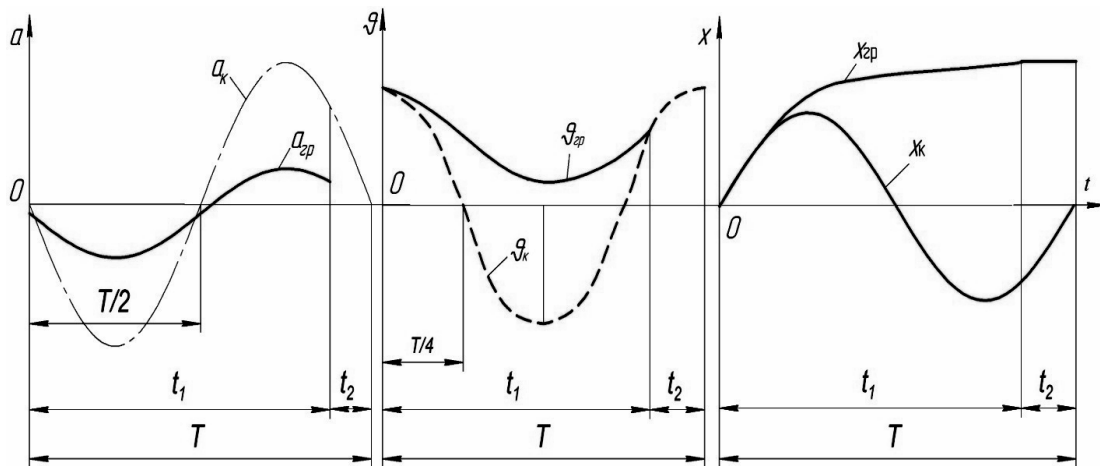


Рис. 3. Графики закономерности ускорения, скорости и перемещения ленты с грузом

Применение инерционного привода позволит снизить энергоемкость ленточного конвейера, а отсутствие фрикционного привода и натяжного устройства позволит упростить конструкцию конвейера. Наиболее целесообразно применять данную конструкцию в качестве питателей с малой скоростью транспортирования сыпучих и штучных грузов, т. к. приводы существующих питателей с низкими скоростями имеют большие передаточные отношения, а следовательно, и габариты.

#### Литература

1. Пат. 2410314 Российская Федерация, МПК В65G 25/08, 15/02 (2006.01) Ленточный конвейер с инерционным приводом / Н.Е. Ромакин, О.А. Лускань, В.И. Кутейкин; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» (СГТУ имени Гагарина Ю.А.) № 2009110604/11; заявл. 23.03.2009; опубл. 27.01.2011, Бюл. № 3.
2. Лускань О.А. Определение рациональных параметров инерционного роликового конвейера: автореф. дис.... канд. техн. наук. (05.05.04 – Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины) / О.А. Лускань; рук. работы Б.П. Супринович. – Саратов. гос. техн. ун-т. – Саратов, 2004. – 149 с.

## **Обоснование условий движения грузов**

### **на двухсекционном импульсном инерционном роликовом конвейере**

Лускань Олег Александрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры  
«Атомная» энергетика»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального  
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*Статья посвящена описанию новой конструкции конвейера, входящего в семейство импульсных инерционных конвейеров, на котором возможно выполнение некоторых технологических операций, а также теоретическому исследованию условий движения штучных грузов на двухсекционном импульсном инерционном роликовом конвейере.*

Создание нового и модернизация существующего транспортирующего оборудования, на котором возможно обеспечение выполнения различных погрузочных, технологических, складских и др. операций при производстве штучных изделий в различных отраслях является весьма актуальным аспектом в совершенствовании комплексной механизации погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ современных отечественных производств.

Отечественными инженерами разработана и запатентована конструкция двухсекционного импульсного инерционного роликового конвейера с двухкривошипным приводом [1], прототипом которого является импульсный инерционный роликовый конвейер с однокривошипным приводом [2], обеспечивающий транспортирование тарных и штучных грузов, имеющих плоскую опорную поверхность, а также грузов цилиндрической формы, расположенных на несущей поверхности конвейера горизонтально или пологонаклонно.

Конструкция двухсекционного импульсного инерционного роликового конвейера (рис. 1) представляет собой раму, выполненную из двух подвижных секций: наружной 1 и внутренней 2, с установленными на них на неподвижных осях 3 и 4 роликами 5, каждый из которых оснащён механизмом свободного хода одностороннего действия 6. Подвижные секции опираются на катки 7 и 8 и имеют двухкривошипный привод 9, обеспечивающий их возвратно-поступательные перемещения в противоположных направлениях.



Для транспортирования груза включается привод 9 и подвижные секции 1 и 2 вместе с грузонесущими роликами начинают совершать прямолинейные возвратно-поступательные движения в противоположных направлениях в установленной плоскости.

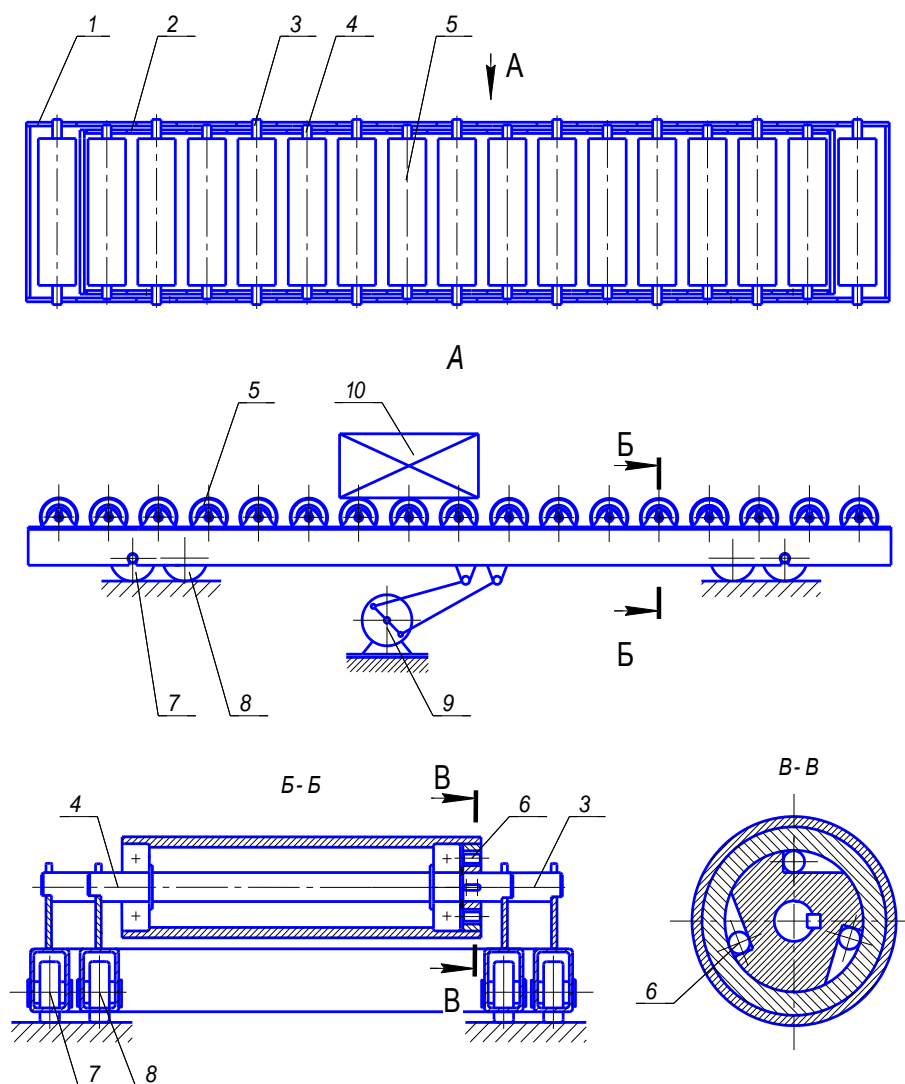


Рис. 1. Схема двухсекционного импульсного инерционного роликового конвейера

При прямом ходе наружной секции, т. е. когда она движется в сторону транспортирования, сила инерции стремится переместить груз 10 в противоположном направлении, но этому препятствуют заторможенные механизмы свободного хода роликов наружной секции. Возникающая сила трения между обечайками роликов и опорной поверхностью штучного груза вовлекает его в совместное движение в направлении транспортирования. В свою очередь, ролики внутренней секции, движущейся в обратном направлении, обкатываются по опорной поверхности груза, так как механизмы свободного хода не препятствуют вращению роликов.

При обратном ходе наружной секции её ролики обкатываются по опорной поверхности груза, так как механизмы свободного хода не препятствуют их вращению,

а внутренняя секция движется в сторону транспортирования груза и возникающая сила трения между обечайками роликов и опорной поверхностью груза способствует дальнейшему перемещению последнего в сторону транспортирования.

Выполнение рамы конвейера в виде наружной и внутренней секций, движущихся в противоположных направлениях позволяет, в отличие от прототипа, сообщать движущую силу транспортируемому грузу не периодически (только при прямом ходе как у прототипа), а непрерывно, что в конечном итоге, при прочих равных условиях, позволяет увеличить среднюю скорость транспортирования до максимальной скорости движения секций или близкой к ней.

Исследование процесса движения штучных грузов, имеющих плоскую опорную поверхность на двухсекционном импульсном инерционном роликовом конвейере, необходимо проводить на основе теории перемещения грузов на инерционных конвейерах с постоянным давлением груза на дно желоба [3] и перемещения грузов на неприводных роликовых конвейерах [4], с учетом влияния конструкций роликов (поверхности) и режимных параметров привода, конструкции которых обуславливают введение условий, при которых груз имеет возможность двигаться по несущей поверхности конвейера в сторону транспортирования [5].

Накопление грузом кинетической энергии для создания относительного движения груза в период хода секций в прямом и обратном направлениях обеспечивается совместным движением груза с несущей поверхностью одной из секций конвейера (рис. 2, 3).

Условием совместного движения груза с одной из секций рамы в направлении транспортирования определяется аналогично условиям, поставленным в работе [5]:

$$F_u \leq F_{\text{тр}} - W_{\text{секц}}, \quad (1)$$

где  $F_u$  – сила инерции груза;  $F_{\text{тр}}$  – сила трения, возникающая между опорной поверхностью груза и роликами;  $W_{\text{секц}}$  – сопротивление движению груза от секции.

$$F_u = m_{\text{гр}} a_{\text{сек.рамы}}, \quad (2)$$

где  $m_{\text{гр}}$  – масса груза;  $a_{\text{сек.рамы}}$  – ускорение секции рамы;

$$F_{\text{тр}} = m_{\text{гр}} g f, \quad (3)$$

где  $f$  – коэффициент трения покоя опорной поверхности груза о ролики.

Таким образом, выражение (1) можно записать в виде:

$$m_{\text{гр}} a_{\text{сек.рамы}} \leq m_{\text{гр}} \frac{g}{2} (f - \vartheta). \quad (4)$$

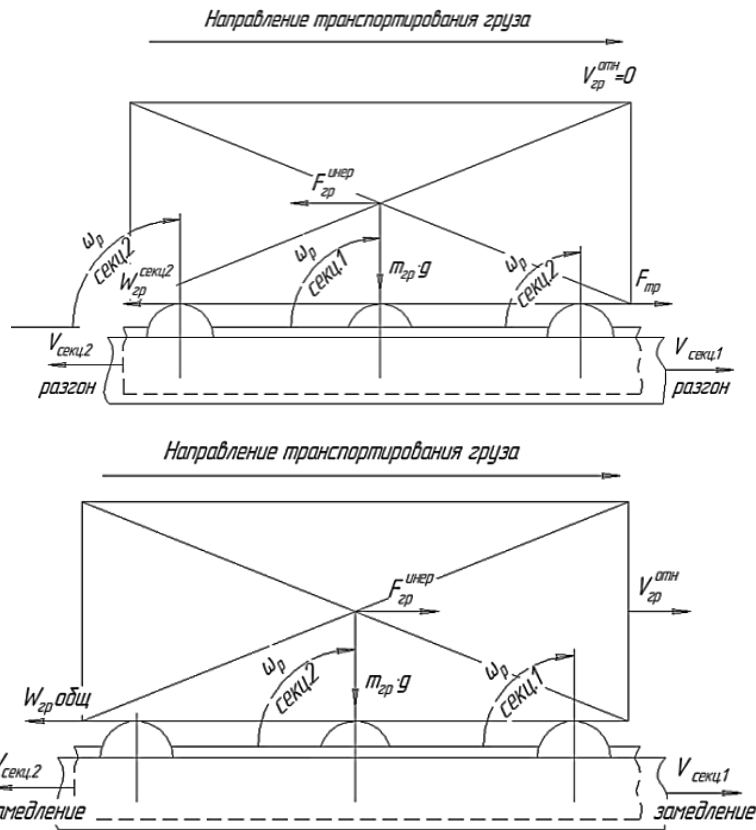


Рис. 2. Схемы к определению условий транспортирования груза при прямом ходе наружной секции и обратном ходе внутренней секции

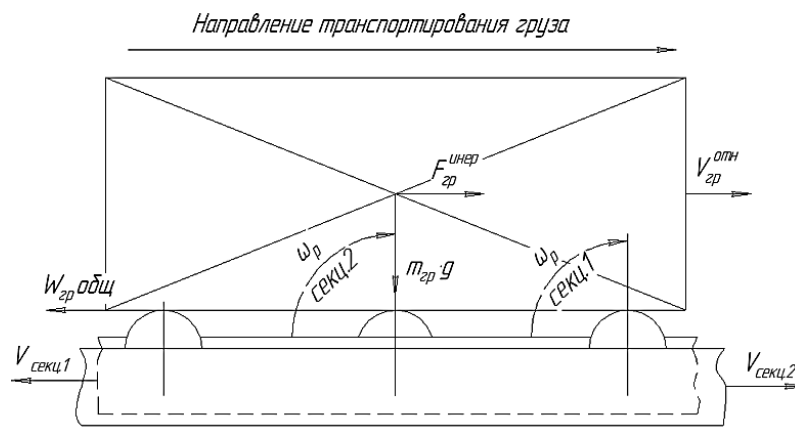


Рис. 3. Схема к определению условий движения груза при обратном ходе наружной секции и прямом ходе внутренней секции

Движение груза в сторону транспортирования относительно несущей поверхности секции, движущейся в обратную сторону:

$$a_{\text{сек.рамы}} \leq \frac{g}{2} (f - \varphi). \quad (5)$$

Совместное движение груза с одной из грузонесущих секций, движущейся в сторону транспортирования, наблюдается по достижении максимального значения скорости секции, после чего сила инерции груза изменит свое направление на противоположное, и груз, преодолевая сопротивление, возникающее при движении по

роликам, начнет относительное перемещение, т. к. механизмы свободного хода в этом случае не препятствуют свободному вращению роликов.

В результате чего условием движения груза при прямом и обратном движении секций являются:

$$F_u > W_{\text{гробщ}}, \quad (6)$$

где  $W_{\text{гробщ}}$  – сила сопротивления движению груза по роликам, определяемая по формуле:

$$W_{\text{гробщ}} = m_{\text{гр}} g w_{\text{гр}}, \quad (7)$$

где  $w_{\text{гр}}$  – приведенный коэффициент сопротивления движению груза по роликам, имеющим возможность свободного вращения в сторону транспортирования при наезде на них груза.

Выражение (6) запишется:

$$m_{\text{гр}} a_{\text{гротн}} > m_{\text{гр}} g w_{\text{гр}}, \quad (8)$$

или

$$a_{\text{гротн}} > g w_{\text{гр}}. \quad (9)$$

При движении одной из секций в сторону, обратную транспортированию груза, необходимо, чтобы выполнялось условие (6) и груз вовлекался в совместное движение за счет силы трения между ним и не вращающимися в этот момент грузонесущими роликами, расположенными на секции, которая перемещается в прямом направлении. Наличие механизмов свободного хода, находящихся в заторможенном состоянии, позволит начать совместное движение груза и одной из секций конвейера в сторону транспортирования и цикл повторяется. Таким образом, выражение (9) позволяет определить максимально допустимые кинематические параметры движения груза, а именно относительные ускорение, скорость и перемещение, необходимые для гарантированного транспортирования груза. Из выражения (9) видно, что значение ускорения груза прямо пропорционально зависит от приведенного коэффициента сопротивления движению груза по вращающимся роликам, на величину которого оказывают непосредственное влияние массы вращающихся частей роликов, допускаемая минимальная масса транспортируемого штучного груза и физико-механические характеристики его опорной поверхности, а также геометрические и физико-механические характеристики грузонесущих роликов.

На основе полученных зависимостей (5) и (9) можно сделать вывод о численных значениях ускорения груза относительно секций конвейера, зависящих от физико-механических свойств транспортируемых изделий, которые определяются пределами:

$$gw_{\text{гр}} < a_{\text{гротн}} \leq \frac{g}{2}(f - w_{\text{секц}}). \quad (10)$$

Условие (10) позволяет сделать вывод о том, что чем меньше будут значения приведенного коэффициента сопротивления  $W_{\text{гр}}$ , тем больше расширятся границы варьирования скоростью груза на конвейере, при условии движения груза без скольжения относительно грузонесущих роликов.

Полученные результаты позволяют расширить знания о современных конструкциях импульсных инерционных конвейеров, как самостоятельных транспортных средств механизации, так и встроенных в другие объекты механизированных систем обслуживания технологических производств.

#### Литература

1. Пат. 2406674 Российская Федерация, МПК В65G 25/04 (2006.01) Инерционный роликовый конвейер / О.А. Лускань, Н.Е. Ромакин, В.И. Кутейкин; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» (СГТУ имени Гагарина Ю.А.) № 2009110605/11; заявл. 23.03.2009; опубл. 20.12.2010, Бюл. № 35 – 5 с.
2. А.с. № 630146 СССР. МКИ В 65 G. Инерционный конвейер для штучных грузов / Н.Е. Ромакин. Бюл. №10, 1978.
3. Спиваковский А.О. Транспортирующие машины: учеб. пособие для машиностроительных вузов / А.О. Спиваковский, В.К. Дьячков. – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1968. – 504 с.
4. Ивановский К.Е. Роликовые и дисковые конвейеры и устройства / К.Е. Ивановский, А.Н. Раковщик, А.Н. Цоглин. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.
5. Лускань О.А. Теоретические основы перемещения грузов импульсными конвейерами: монография / О.А. Лускань. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2010. – 99 с.

## Определение запасов прочности шатунных шеек и щек коленчатого вала высокофорсированного дизеля

Марьина Надежда Леонидовна, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Промышленное и гражданское строительство»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального  
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*Расчет коленчатого вала на усталостную прочность значительно затрудняется действующими резко переменными нагрузками по длине вала и углу поворота, сложностью его геометрической формы и трудностью определения действительных величин податливостей вала и картера.*

Аварийность коленчатых валов все еще велика, причем, как показывают статистические данные, около 80 % поломок коленчатых валов форсированных двигателей носят характер усталостного разрушения от изгибных нагрузок. В связи с этим дальнейшая форсировка дизелей требует проведения специальных исследований, направленных в основном на повышение изгибной усталостной прочности валов.

На шатунные шейки действуют одновременно переменные крутящие и изгибающие моменты; силовая схема колена вала показана на рис. 1.

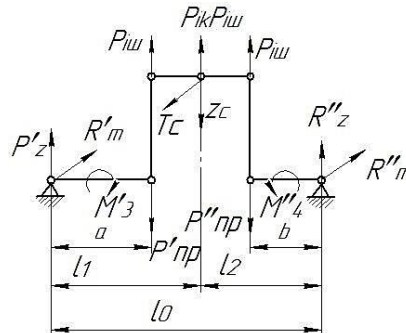


Рис. 1. Схема нагружения колена вала

При определении запасов прочности в таких случаях принято считать изменение нормальных и касательных напряжений синфазным. В данном случае этот вопрос не имеет существенного значения, так как влияние нормальных напряжений от изгиба на величину общего запаса прочности шатунных шеек невелико. С учетом динамического усиления крутящих моментов наиболее напряженной шейкой является 3-я шатунная шейка [1]. Крутящий момент, действующий на эту шейку, равен:

$$M_{кр} = M_{кр3} - R^I_T R, \quad (1)$$

где  $M_{крз}$  – крутящий момент, передаваемый 3-й j коренной шейкой;  $R^I_T$  – реакция от силы  $T_c$  на передней опоре колена;  $R$ – радиус кривошипа.

Приняв максимальное и минимальное значения  $M_{кр}$  за цикл работы двигателя, определяют амплитуду крутящих моментов. Эта амплитуда умножается на коэффициент динамического усиления нагрузки (1,33); затем определяется запас прочности от кручения так, как это делается для коренной шейки.

Далее определяется запас прочности шатунной шейки от изгиба. Изгибающий момент, действующий в плоскости колена, равен:

$$M_z = R'_z l_l \quad (2)$$

где  $R'_z$  – реакция от силы  $Z_c$ .

Моментами от сил инерции вращающихся масс можно пренебречь, так как постоянная слагающая почти не влияет на запас прочности.

Изгибающий момент, действующий в плоскости, перпендикулярной к плоскости колена, с учетом динамического усиления равен:

$$M_T = 1,33 R'_T * l_l. \quad (3)$$

Суммарный переменный изгибающий момент, действующий в плоскости расположения масляного отверстия, определяется по формуле

$$M_0 = M_z \cos\varphi + M_T \sin\varphi, \quad (4)$$

где  $\varphi$  – угол, образованный осью масляного отверстия с положительным направлением силы  $Z_c$  (рис. 2).

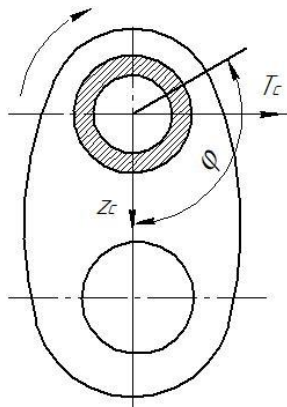


Рис. 2. Определение изгибающего момента в плоскости расположения масляного отверстия

Для выбора максимального и минимального значений момента  $M_0$  его надо вычислить для различных положений коленчатого вала [2].

Во многих случаях можно сразу определить  $M_{0 \max}$  и  $M_{0 \min}$ . Так, например, у многих коленчатых валов современных двигателей масляное отверстие в шатунных шейках из соображений прочности располагается в плоскости, перпендикулярной плоскости колена, т. е. при  $\varphi = 90^\circ$ . В этих случаях  $M_{0 \max} = M_{T \max}$  и  $M_{0 \min} = M_{T \min}$ ,

Средним напряжением изгиба шатунной шейки можно пренебречь, так как влияние этого напряжения на величину общего запаса прочности ничтожно.

Амплитуда напряжений изгиба в шатунной шейке будет:

$$\sigma_a = \frac{M_{o \max} - M_{o \min}}{2W}, \quad (5)$$

где  $W$  – момент сопротивления изгибу сечения шатунной шейки.

Запас прочности от изгиба без учета среднего напряжения определяется по формуле:

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_\sigma}{\varepsilon_\sigma} \sigma_a}, \quad (6)$$

где  $\sigma_{-1}$  – предел усталости материала при изгибе, полученный на лабораторных образцах. Для сталей, идущих на изготовление коленчатых валов,  $\sigma_{-1}$  обычно равно 5000-5500 кг/см<sup>2</sup>;  $\varepsilon_\sigma$  – коэффициент, учитывающий снижение предела усталости за счет абсолютных размеров, при переменном изгибе, как и при кручении, имеет значение 0,8-0,7;  $k_\sigma$  – эффективный коэффициент концентрации напряжений при переменном изгибе вала с поперечным отверстием. Величина этого коэффициента, как и при кручении, лежит обычно в пределах 1,5-2 и зависит от качества обработки отверстия и степени закругления его краев.

Общий запас прочности шатунной шейки определяется по формуле:

$$n = \frac{n_\tau + n_\sigma}{\sqrt{n_\tau^2 + n_\sigma^2}}. \quad (7)$$

В щеках коленчатого вала возникают нормальные напряжения от изгиба и растяжения или сжатия, а также касательные напряжения от кручения. Максимальные и минимальные напряжения в расчетных точках сечения щеки (места сопряжения щеки с шейками) возникают в те моменты, когда на шатунную шейку действуют радиальные силы  $Z_{c \max}$  и  $Z_{c \min}$ . Если колено несимметрично, то амплитуда напряжений будет большей в той щеке, которая находится на большем расстоянии от середины соседней опоры, т. е. если  $a > b$  (рис. 1), то большая амплитуда будет в левой щеке; для нее:

$$\sigma_a = \frac{(Z_{c \max} - Z_{c \min})l_2}{2l_0} \left( \frac{a}{W_{\min}} + \frac{1}{F} \right), \quad (8)$$

где  $W_{\min}$  – момент сопротивления щеки изгибу в плоскости колена;  $F$  – площадь расчетного сечения щеки.



Введение в расчет средних напряжений в щеке изменит величину запаса прочности не более чем на 2 %, поэтому средние напряжения можно не учитывать и определять запас прочности от изгиба по формуле (6).

Величина  $K_\sigma$  в данном случае будет эффективным коэффициентом концентрации напряжений при изгибе вала в плоскости колена у входящего угла и в местах перехода щеки в шейки. Точное значение этого коэффициента для конкретного случая можно найти только испытанием колена при переменном изгибе. Величина этого коэффициента зависит в первую очередь от отношения радиуса галтели к толщине щеки, а при значительном перекрытии шеек от степени этого перекрытия; некоторое влияние на величину этого коэффициента оказывает также форма внутренних полостей шеек. На рис. 3 показана кривая зависимости величины  $\frac{K_\sigma}{\varepsilon_\sigma}$  (входящей в формулу для определения запаса прочности) от величины отношения радиуса галтели к толщине щеки  $\frac{r}{h}$ . Кривая эта построена по нескольким экспериментальным точкам, полученным главным образом в лаборатории фирмы Юнкерс.

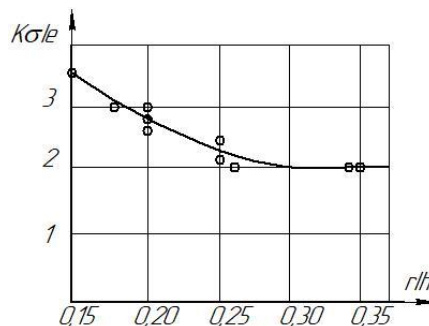


Рис. 3. Зависимость концентрации напряжений от формы перехода шейки в щеку

Запас прочности в щеке от кручения определяется по формуле (6), т. е. также без учета среднего напряжения, практически не изменяющего величины общего запаса прочности щеки. Амплитуда напряжений кручения щеки определяется по максимальному и минимальному значениям тангенциальной силы, действующей на шатунную шейку. Если колесо несимметрично и  $a > b$ , то амплитуда напряжений кручения с учетом динамического усиления равна:

$$\tau_a = \frac{1,33 (T_{c \max} - T_{c \min}) l_2 a}{2 l_0 W_{кр}}, \quad (9)$$

где  $W_{кр}$  – момент сопротивления щеки кручению.

Коэффициент концентрации в галтели щеки при кручении ее близок к 2.

Общий запас прочности щеки определяется по формуле (7).

Наиболее надежным методом сравнительной оценки запасов прочности коленчатых валов является определение запасов прочности путем сравнения предельных нагрузок, полученных при непосредственном испытании валов на усталость, на специальных установках с величинами эксплуатационных нагрузок.

При режимах вне резонанса и даже при умеренных резонансах крутильных колебаний распределение действительных моментов на шейках вала по характеру подобно распределению моментов без динамического усиления.

Коэффициент динамического усиления сил  $T$  и крутящих моментов может быть принят равным 1,33 (для расчетного сечения – 3-й шейки).

Уточнение нагрузки имеет большое практическое значение при расчетах запасов прочности, сочетающихся с экспериментом.

#### Литература

1. Двигатели внутреннего сгорания. Конструкция и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей / под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1984. – 238 с.
2. Дизели: справочник / под общ. ред. В.А. Ваншейдта. – М.: Машиностроение, 1977. – 599 с.

УДК 621.822.273

#### **Определение запасов прочности коренных шеек вала форсированного дизеля**

Марьина Надежда Леонидовна, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Промышленное и гражданское строительство»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*Расчет прочности коленчатого вала представляет одну из труднейших проблем в области расчета деталей машин. В последние годы, с развитием более совершенных методов расчета прочности деталей, работающих при переменных нагрузках, проведено много исследований по выявлению влияния ряда факторов на прочность коленчатого вала форсированного дизеля. Результаты этих исследований уже и теперь позволяют конструировать валы тех же габаритов, но значительно более прочные.*

В настоящее время перед отечественным двигателестроением наряду с увеличением цилиндровой и агрегатной мощностей поставлены перспективные задачи форсирования быстроходных дизелей по частоте вращения коленчатого вала и повышения их надежности. Необходимость обеспечения последней в условиях возросших динамических нагрузок приводит к увеличению размеров коленчатого вала и требует проверки надежности по критерию «усталостная прочность». При сложном режиме циклического нагружения, когда действуют одновременно статические, динамические и вибрационные нагрузки, в материале вала возбуждаются не один, а несколько механизмов повреждаемости.

К таким исследованиям относятся: определение исходной силовой схемы, отвечающей действительным условиям работы коленчатого вала, изучение фактического распределения напряжений и их концентрации в элементах вала, определение усталостной прочности вала в зависимости от применяемого материала, формы вала, технологической обработки, особенно термохимической (азотирование, цементация и др.), сильно влияющей на сопротивляемость материала усталости в зонах концентрации напряжений. Сравнительные испытания колен вала одинаковой геометрической формы (неазотированных и азотированных) показали, что азотирование повышает прочность колена при переменном кручении на 20-40 %, а при переменном изгибе – на 25-60 %. Степень этого упрочнения зависит от формы и материала вала.

В современных методах расчета на прочность коленчатого вала форсированного дизеля учитываются основные факторы, влияющие на прочность: изменяемость нагрузок по времени, эффективные коэффициенты концентрации напряжений, усталостные характеристики материала и др. Результаты расчета еще не дают абсолютно правильной оценки прочности; они скорее характеризуют сравнительную прочность аналогичных конструкций. С уточнением влияния на прочность отдельных факторов расчет позволяет определять абсолютные значения запасов прочности, более близкие к действительным.

Одним из существенных моментов расчета коленчатого вала является уточнение величин действующих на него нагрузок. Коленчатый вал и связанные с ним массы, как известно, образуют упругую систему, в которой возникают дополнительные инерционные нагрузки от различного вида вибраций. В расчете вала пока не может учитываться динамическое усиление изгибающих радиальных нагрузок, так как изгибные колебания недостаточно изучены.

В расчете на прочность обычно исходят из условия, что все существенные резонансы крутильных колебаний коленчатого вала должны быть устранены путем изменений системы или применением демпферов. Однако все же остается динамическое усиление сил, действующих на вал, определяемых из динамического расчета двигателя без учета вибраций. Обычно при расчете коленчатого вала на прочность за расчетный режим принимается номинальный режим; при этом динамическое усиление действующих нагрузок не учитывается.

С другой стороны, определяется, допустимы ли попадающие в эксплуатационную область оборотов резонансные колебания; при этом исходят из весьма упрощенного критерия прочности, а именно допускаемой величины амплитуды напряжений, не учитывая, что эта величина зависит от формы вала, материала, технологической обработки и т. д.

Таким образом, в практике установились две системы расчета: одна – пытающаяся учесть ряд основных факторов, влияющих на прочность, но не учитывающая динамическое усиление нагрузок, другая – учитывающая более точно нагрузки, но зато вводящая менее точно в расчет влияние остальных факторов.

Предлагаемая работа ставит целью объединить эти две системы при расчете на номинальном режиме, коленчатого вала рядного двигателя, т. е. ввести в расчет уточнение нагрузок. Это уточнение касается только крутящих моментов, действующих на коленчатый вал. Как показывают расчеты ряда современных двигателей [1], роль изгиба при определении запасов прочности коренных и шатунных шеек невелика; основное значение имеют переменные напряжения кручения [2]. Очевидно, что в дальнейшем, в процессе разработки метода расчета изгибных колебаний, можно уточнить нагрузки от действующих на шатунные шейки радиальных сил, играющих основную роль при определении запаса прочности щек вала.

Учитывать динамическое усиление нагрузок при номинальном режиме (нагрузки при резонансных режимах должны определяться торсиографированием) было всегда возможно. Методы расчета вынужденных крутильных колебаний системы вала хорошо разработаны. Желательно было найти упрощенный способ оценки динамически усиленных крутящих моментов.

Для этого надо было предварительно произвести ряд расчетов вынужденных крутильных колебаний вне резонанса для достаточно большого числа коленчатых валов, а потом обобщить результаты этих расчетов. При этом громадной, связанной с этим вычислением счетной работы удалось избежать благодаря использованию стенда для электро моделирования крутильных колебаний [3]. Все нагрузки определялись

экспериментально на электрических моделях. Это позволило количественно учитывать динамическое усиление крутящих моментов рядного мотора.

Для того чтобы стала ясна роль исследованного фактора, т. е. крутящей нагрузки, в общем расчете прочности коленчатого вала, необходимо кратко рассмотреть схему этого расчета.

Коленчатый вал рядного дизеля лежит обычно на семи или восьми опорах. Вопрос о том, считать ли вал разрезным или неразрезным при расчете его на прочность, не имеет существенного значения при определении запасов прочности коренных и шатунных шеек. Для коренных шеек запасы прочности получаются практически одинаковыми, для шатунных шеек при расчете вала как разрезного запасы прочности получаются на 5-10 % меньшими, чем при расчете вала как неразрезного. И только для шеек получается значительная разница в величинах запасов прочности, а именно: для крайних шеек запасы прочности при расчете вала как разрезного получаются на 30-40 % меньшими, чем при расчете его как неразрезного, а для промежуточных шеек эта разница достигает сотен процентов.

В действительности такой разницы в запасах прочности промежуточных и крайних шеек нет, так как поломки промежуточных шеек бывают почти также часто, как и крайних. Надо полагать, что упругость опор, деформации картера, некоторая несоосность подшипников, износы шеек и подшипников приводят к тому, что коленчатый вал работает в условиях, близких к тем, которые принимают, пользуясь расчетной схемой разрезного вала. Недостаточная уточненность величин эффективных коэффициентов концентрации напряжений и влияние на прочность вала ряда технологических факторов не оправдывают принятие очень громоздкой расчетной схемы вала как неразрезной системы. Кроме того, поломки шеек достаточно хорошо объясняются малыми их запасами прочности, найденными при расчете вала как разрезного, и никак не могут быть объяснены при запасах прочности порядка 4-6, получающихся при расчете вала как неразрезного. Поэтому при расчете на прочность коленчатый вал обычно принимается разрезным. Запасы прочности определяются для коренных и шатунных шеек в местах масляных сверлений, а для шеек – в местах сопряжений их с шейками. Эти места коленчатого вала являются наиболее напряженными.

Коренные шейки вала нагружаются главным образом крутящими моментами; запасы прочности с учетом изгиба получаются всего на 2-3 % меньшими, чем при определении их только от кручения. Поэтому запасы прочности коренных шеек можно определять только от одного кручения. Из расчета большого числа коленчатых валов

рядных двигателей выяснено, что наиболее напряженными шейками являются шейки 3-я и 5-я (считая от винта); при этом запасы прочности в этих шейках получаются почти одинаковыми. Этот результат получается при расчете без учета динамического усиления крутящих моментов, передаваемых этими шейками. С учетом динамического усиления наиболее напряженной оказывается 3-я шейка, ее запас прочности следует определять из расчета вала.

Из составляемой при расчете двигателя таблицы крутящих моментов, передаваемых коренными шейками, выбираются максимальное и минимальное значения крутящих моментов ( $M_{кр.маx}$ ,  $M_{кр.мин}$ ), передаваемых 3-й коренной шейкой за цикл работы двигателя. По этим значениям крутящих моментов определяется их амплитуда.

$$M_{кр} = \frac{M_{кр.маx} - M_{кр.мин}}{2}, \quad (1)$$

Эта амплитуда умножается на коэффициент динамического усиления, значение которого (как будет показано ниже) можно взять равным 1,33, и определяется амплитуда напряжений:

$$\tau_a = \frac{1,33 M_{кр}}{W_p}, \quad (2)$$

где  $W_p$  – полярный момент сопротивления коренной шейки.

Среднее напряжение равно:

$$\tau_m = \frac{M_{кр.маx} + M_{кр.мин}}{2W_p}. \quad (3)$$

Запас прочности при асимметричном цикле изменения напряжений определяется (2) по формуле

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_\tau}{\varepsilon_\tau} \tau_a + \alpha_\tau \tau_m}, \quad (4)$$

где  $\tau_{-1}$  – предел усталости материала на кручение при симметричном цикле напряжений, полученный на обычных лабораторных образцах;  $k_\tau$  – эффективный коэффициент концентрации напряжений при переменном кручении, в данном случае для вала с поперечным масляным отверстием;  $\varepsilon_z$  – коэффициент, учитывающий снижение предела усталости при кручении от влияния абсолютных размеров детали;  $\alpha_\tau$  – коэффициент, определяемый из следующего выражения:

$$\alpha_\tau = \frac{\tau_{-1} - \tau_{a0}}{\tau_{a0}}, \quad (5)$$

где  $\tau_{a0}$  – предельная амплитуда напряжений материала при пульсирующем цикле, т. е. при изменении напряжений от нуля до максимума.

С ростом среднего напряжения предельная амплитуда при переменном кручении уменьшается незначительно и  $\alpha_\tau$  имеет значение порядка 0,02-0,10, величина  $\frac{k_\tau}{\varepsilon_\tau}$  в формуле (4) имеет значение порядка 2-3, а среднее напряжение  $\tau_m$  меньше, чем амплитуда  $\tau_a$ , поэтому вторым слагаемым в знаменателе формулы (4) можно пренебречь и запас прочности определять по формуле:

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_\tau}{\varepsilon_\tau} \tau_a} . \quad (6)$$

Для сталей коленчатых валов  $\tau_{-1}$  обычно лежит в пределах 3000-3300 кг/см<sup>2</sup>, коэффициент  $\varepsilon_\tau$  для шеек коленчатых валов авиационных двигателей может быть принят 0,8-0,7. Эффективный коэффициент концентрации напряжений  $k_\tau$  мало зависит от диаметра шейки и значительно от чистоты обработки стенок отверстия и закругления краев. Этот коэффициент для шеек коленчатых валов лежит обычно в пределах 1,5-2.

В связи с произведенными исследованиями напрашивается вывод: расчет на прочность коленчатого вала на основании имеющихся в настоящее время предпосылок производится ориентировочно и результаты пока еще носят сравнительный характер. Такой фактор, как упрочнение вала вследствие применения азотирования или цементации, еще не вводится в расчет.

Наиболее надежным методом сравнительной оценки запасов прочности коленчатых валов является определение запасов прочности путем сравнения предельных нагрузок, полученных при непосредственном испытании валов на усталость, на специальных установках с величинами эксплуатационных нагрузок.

#### Литература

1. Орлин А.С. Двигатели внутреннего сгорания. Конструкция и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей / под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1984. – 238 с.
2. Вайншейдт В.А. Дизели: справочник / под общ. ред. В.А. Ваншейдта. – М.: Машиностроение, 1977. – 599 с.
3. Исследование работы подшипников скольжения на основе анализа траектории центра вала / Экспресс-информация «Детали машин». – 1984. – № 5. – С. 6-18.

## **Расчет работоспособности коренных подшипников скольжения коленчатого вала форсированного дизеля**

Марьина Надежда Леонидовна, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Промышленное и гражданское строительство»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*Коленчатый вал и его подшипники скольжения являются основными узлами дизеля, в значительной мере определяющие его надежность. Знание условий работы этих узлов позволяет оценить их работоспособность и вскрыть причины отказов.*

Для подшипников двигателя внутреннего сгорания, подверженных переменным по направленности и величине нагрузкам, существуют методы исследования, выполняемые с помощью компьютерных расчетов. Поскольку коленчатый вал двигателя и его опоры скольжения представляют собой взаимосвязанные части единого механизма, то для решения поставленной задачи необходимо применить модель трибомеханической системы, которая включает все существенные связи.

Данный расчет подшипников скольжения коленчатого вала сводится к расчету:

- векторных диаграмм давлений, действующих на коренные и шатунные шейки;
- векторных диаграмм давлений, действующих на коренные и шатунные подшипники;
- максимальных  $K_{max}$  и средних  $K_{cp}$  удельных давлений на коренные и шатунные шейки.

По векторным диаграммам давлений на подшипники можно определить места для подвода смазки с коренных подшипников на коренные шейки и из шатунных шеек к шатунным подшипникам.

По величине максимальных и средних удельных давлений можно судить о работоспособности подшипников.

Исходные данные:

$P_e = 1768,4$  кВт – эффективная мощность дизеля,

$N = 25$  с<sup>-1</sup> – частота вращения,

$P_{max} = 13,5$  Мпа – максимальное давление сгорания,



$D = 21$  см – диаметр цилиндра,

$S = 21$  см – ход поршня,

$\gamma = 60^\circ$  – угол развала блоков.

Расчет векторных диаграмм давлений на шатунные шейки

Векторные диаграммы давлений на шатунные шейки строятся по значениям суммарных сил  $T_\Sigma$  и  $Z_\Sigma$ , действующих на одно колено.

Определим величину суммарной силы, действующей на шатунную шейку

$$Q^{(\alpha)} = \sqrt{T_\Sigma^2 + (Z_\Sigma + Z_{\text{с.ш.}})^2}$$

где  $Z_{\text{с.ш.}} = -C_{\text{ш.вр}}$  – координата нового начала координат, учитывающая влияние центробежных сил от вращательно движущихся частей.

Силу  $Q^{(\alpha)}$  можно определить по векторной диаграмме.

Расчет векторных диаграмм давлений на коренные шейки

Для расчета векторных диаграмм давлений на коренные шейки необходимо рассмотреть схему нагружения  $i^{20}$  колена действующими силами.

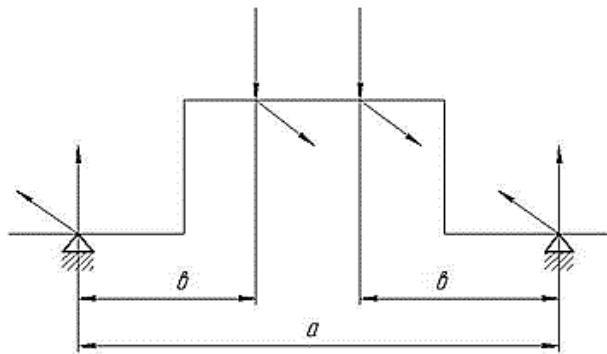


Рис. 1. Расчетная схема  $i$ -того колена коленчатого вала

Собственные реакции на  $i$ -той коренной шейке от  $i$ -того колена.

$$T_{\text{т.}i} = \frac{a-b}{a} T_{\text{пр.}i} + \frac{b}{a} T_{\text{л.}i} = 0,6 T_{\text{пр.}i} + 0,4 T_{\text{л.}i}$$

$$Z_{\text{т.}i} = \frac{a-b}{a} Z_{\text{пр.}i} + \frac{b}{a} Z_{\text{л.}i} = 0,67 Z_{\text{пр.}i} + 0,47 Z_{\text{л.}i}$$

Здесь и далее арабскими цифрами обозначаются шатунные шейки, римскими – коренные.

Эти реакции являются суммарными на первой коренной шейке. Соответственно, на первой коренной шейке суммарными реакциями будут собственные реакции на  $i+1^{\text{ой}}$  коренной шейке от  $i^{20}$  колена.

Собственные реакции  $i$ -той коренной шейки от  $i^{20}$  колена. Определяются путем решения расчетной схемы с учетом сдвига фаз.

Номер цилиндра	1	2	3	4	5	6
Угол сдвига фаз	0°	480°	240°	600°	120°	360°

### Определение удельных давлений на коренные и шатунные шейки

Удельное давление на шейку определяется по формуле:

$$K = \frac{Q^{(\alpha)} \cdot F_n}{d \cdot l},$$

где  $F_n=346,36\text{см}^2$  – площадь поршня;  $d_{ш}=13,488\text{см}$  – диаметр шатунной шейки;  $d_k=14,986\text{см}$  – диаметр коренной шейки;  $l_{ш}=5,2\text{см}$  – рабочая длина шатунной шейки;  $l_k=5,4\text{см}$  – рабочая длина коренной шейки;  $Q^{(\alpha)}$  – суммарная сила, действующая на шейку при угле поворота кривошипа  $\alpha$ .

$Q^{(\alpha)}$  определяется из векторной диаграммы давлений, действующих на шейку вала, с учетом центробежных сил кривошипа, противовесов, или из формул.

Максимальное значение  $Q_{max}^{(\alpha)}$  определяет максимальное удельное давление  $K_{max}$  на шейку. Среднее значение  $Q_{cp}^{(\alpha)}$  определяет среднее удельное давление  $K_{cp}$  на шейку за цикл ( $720^\circ$  поворота коленвала)

$$Q_{cp}^{(\alpha)} = \frac{\sum_{\alpha=h}^{720} Q^{(\alpha)}}{\frac{720}{h}},$$

где  $h$  – шаг расчета в градусах поворота коленвала.

Значения удельных давлений на шейках приведены в табл. 1.

Построение векторных диаграмм давлений на коренные и шатунные подшипники

Векторные диаграммы давлений, действующих на шатунные и коренные подшипники, строятся соответственно по векторам давлений, действующих на шатунные коренные шейки. На векторных диаграммах давлений, действующих на шатунные и коренные шейки, показаны места для сверления масляных отверстий в шейках коленчатых валов (рис. 2-11).

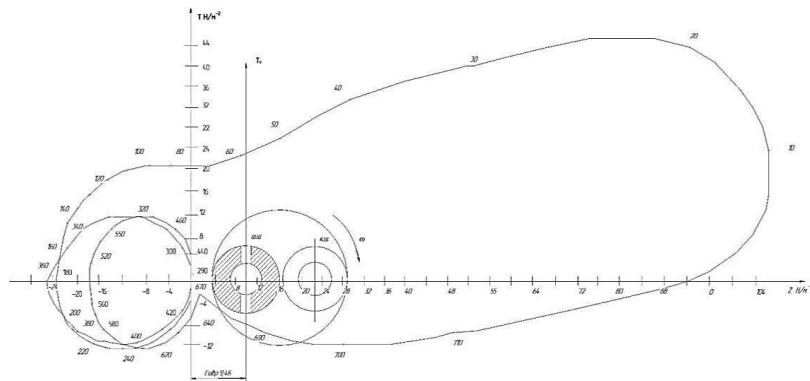


Рис. 2. Векторная диаграмма сил, действующих на шатунную шейку

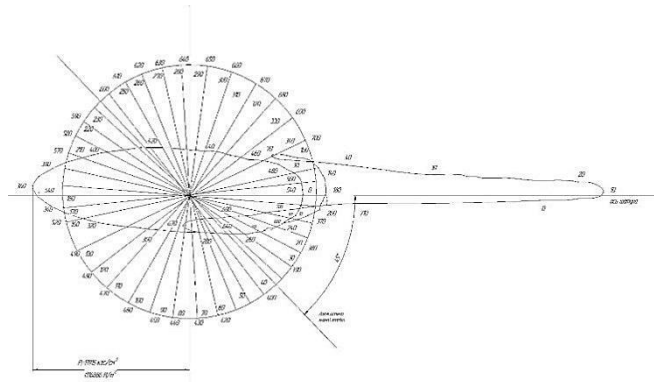


Рис. 3. Векторная диаграмма сил, действующих на шатунный подшипник

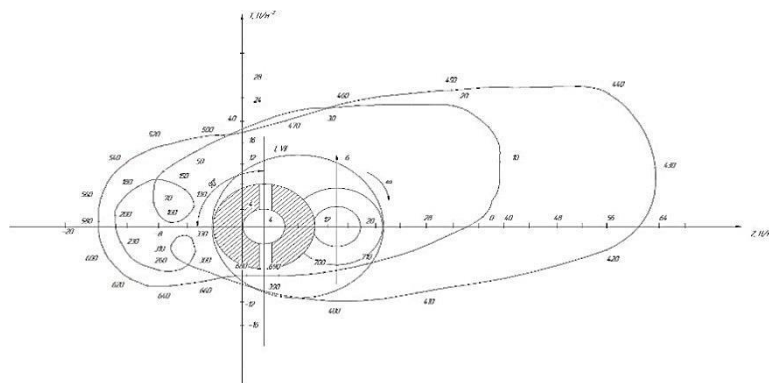


Рис. 4. Векторная диаграмма сил, действующих на первую и седьмую коренные шейки

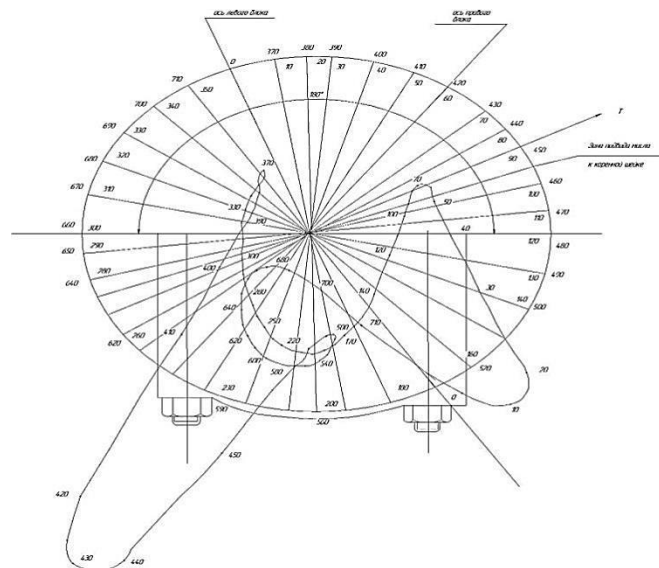


Рис. 5. Векторная диаграмма сил, действующих на первый и седьмой коренные подшипник

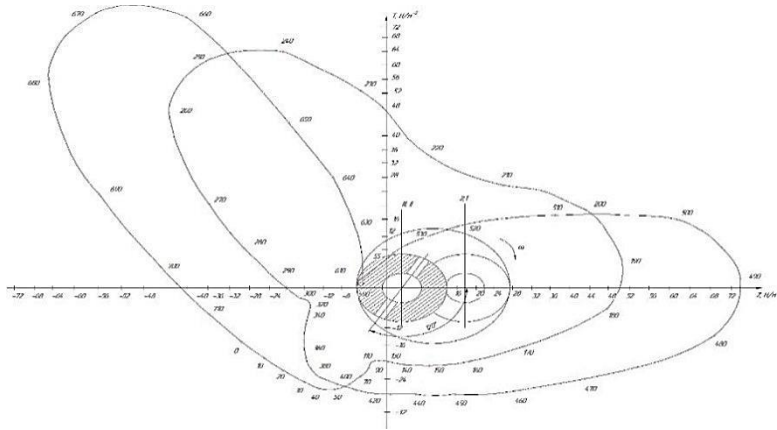


Рис. 6. Векторная диаграмма сил, действующих на третью и вторую коренные шейки

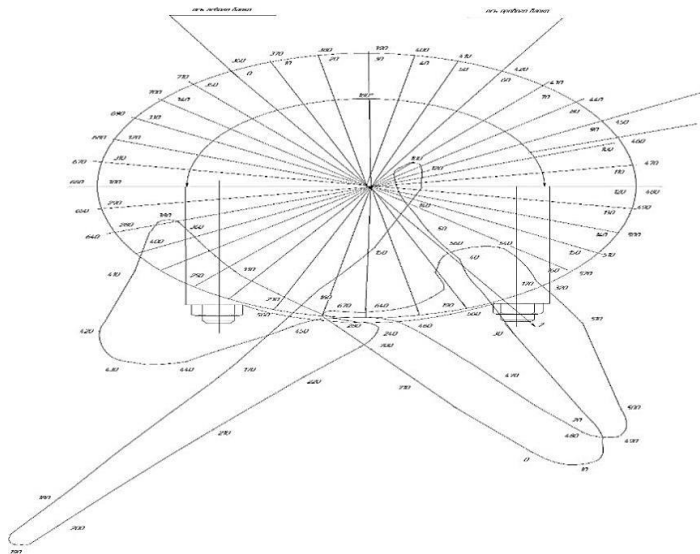


Рис. 7. Векторная диаграмма сил, действующих на вторую и третью коренные шейки

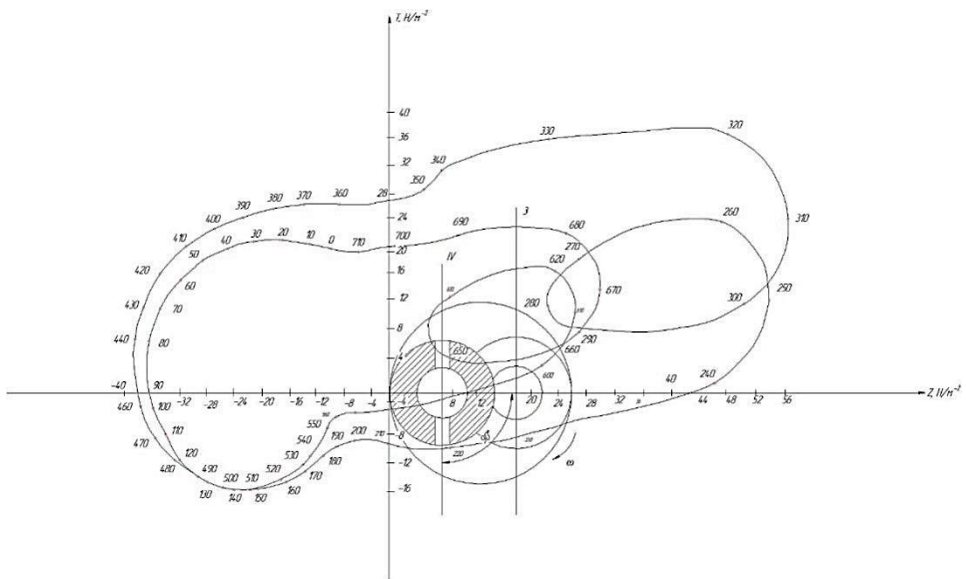


Рис. 8. Векторная диаграмма сил, действующих на четвертую коренную шейку

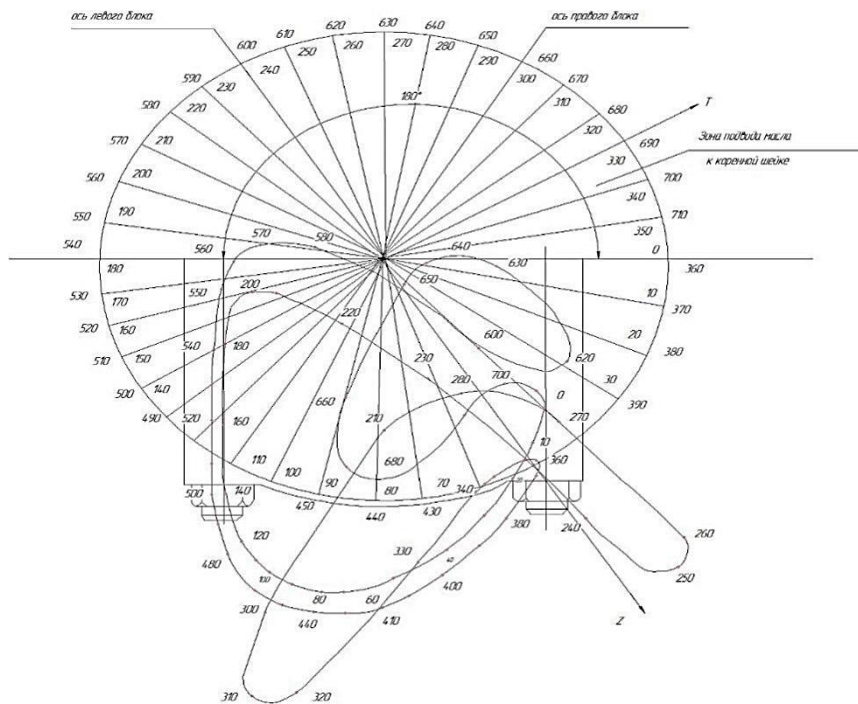


Рис. 9. Векторная диаграмма сил, действующих на четвертый коренной подшипник

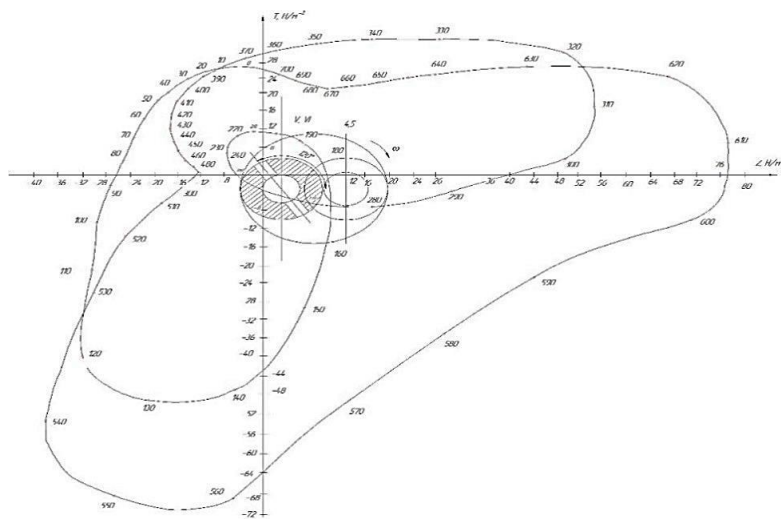


Рис. 10. Векторная диаграмма сил, действующих на пятую и шестую коренные шейки

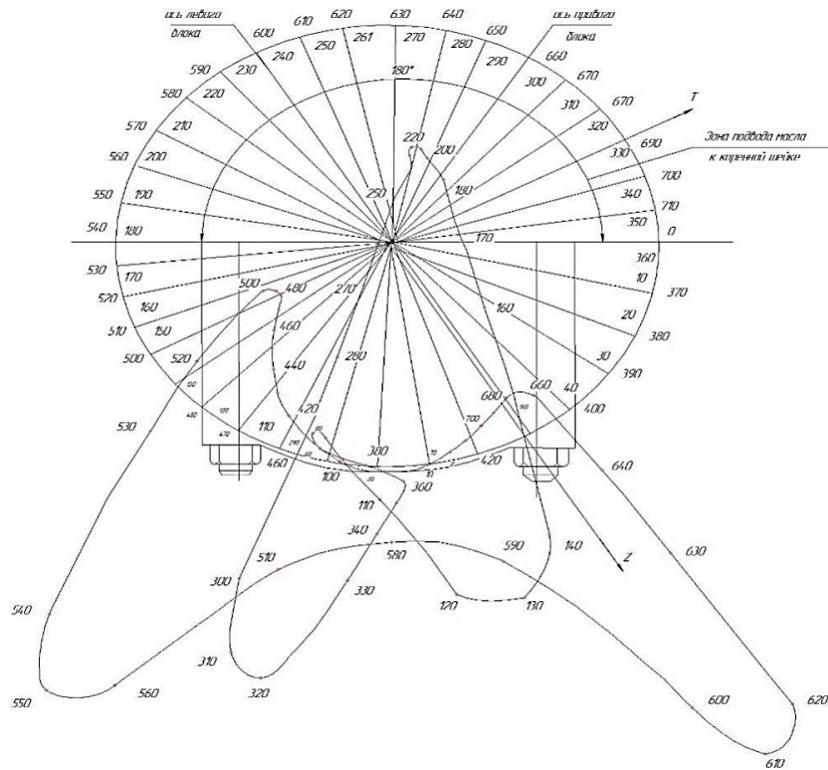


Рис. 11. Векторная диаграмма сил, действующих на пятый и шестой коренные подшипники

На векторных диаграммах давлений, действующих на шатунные и коренные подшипники, показаны места для отвода масла с шатунных подшипников к поршневому пальцу по стрелю шатуна и места для подвода масла с коренных подшипников в шейке вала.

Сила инерции, действующая на шатунную шейку коленвала

Приведенная центробежная сила вращающихся частей шатуна.

$$C'_{ш.вр.} = 2 m_{ш.вр.} \cdot R \cdot w^2 = 2 \cdot 0,00365 \cdot 0,105 \cdot 157,08^2 = 18,92 \text{ кгс/см}^{-2} \quad (185,6 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2)$$

$$m_{ш.вр.} = \frac{M_{ш.вр.}}{F_n} = \frac{1,264}{346,36} = 0,00365 \text{ кгс. сек}^2/\text{м} \cdot \text{см}^2 \quad (0,0358 \cdot 10^4 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}),$$

где  $M_{ш.вр.} = 1,264 \text{ кгс} \cdot \text{м}^{-1} \text{сек}^2$  – масса вращающейся части шатуна, отнесенная к кривошипной головке;  $R = 0,105 \text{ м}$  – радиус кривошипа;  $w = 157,08 \text{ сек}^{-1}$  – угловая скорость коленвала при частоте вращения  $25 \text{ с}^{-1}$ .

Приведенная центробежная сила шатунной шейки

$$C'_{ш.ш.} = m_{ш.ш.} \cdot \frac{w^2 R}{F_n} = 1,27 \cdot \frac{157,08^2 \cdot 0,105}{346,36} = 9,5 \text{ кгс см}^{-2} \quad (93,2 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2)$$

$$m_{ш.ш.} = \frac{\rho d^2}{4g} \cdot \gamma \cdot l = \frac{3,14 \cdot 13,488^2}{4 \cdot 9,81} \cdot 0,00785 \cdot 11,5 = 1,27 \text{ кгс см}^{-1} \text{сек}^2 \quad (12,46 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2)$$

где  $g = 9,81$  – ускорение силы тяжести;  $\gamma = 0,00785$  – плотность стали;  $l = 11,5 \text{ см}$  – длина шатунной шейки с галтелями.

Приведенная центробежная сила щеки.

$$C'_{\text{пр.ш.}} = \frac{F \cdot h \cdot \gamma \cdot w^2 \cdot \rho_{\text{ш.}}}{g \cdot F_n} = \frac{438 \cdot 4,6 \cdot 0,00785 \cdot 157,08^2 \cdot 4,55}{981 \cdot 346,36} = 5,2 \text{ кгс} \cdot \text{см}^{-2} (51 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2)$$

где  $F=438 \text{ см}^2$  – площадь щеки;  $h=4,6 \text{ см}$  – ширина щеки;  $\rho_{\text{ш.}}=4,55 \text{ см}$  – расстояние от центра тяжести щеки до оси шатунной шейки;

Общая сила инерции, действующая по направлению радиуса кривошипа

$$C' = C'_{\text{ш.вр.}} + C'_{\text{ш.ш.}} + 2C'_{\text{пр.в.}} = 18,92 + 9,5 + 2 \cdot 5,2 = 38,82 \text{ кгс} \cdot \text{см}^{-2} (380,82 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2)$$

Сила инерции, действующая на коренную шейку от одного кривошипа (без учета противовесов).

$$C'_1 = \frac{C'}{2} = \frac{38,82}{2} = 19,41 \text{ кгс} \cdot \text{см}^{-2} (190,41)$$

Приведенная центробежная сила противовеса

$$C'_{\text{пр.пр.}} = 16,12 \text{ кгс} \cdot \text{см}^{-2} (158,14 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2)$$

Смещение центра векторных диаграмма сил, действующих на коренную шейку с учетом центробежных сил инерции кривошипа  $C'_1$  и противовеса  $C'_{\text{пр.пр.}}$ .

Таблица 1

Удельное давление на шатунных и коренных шейках

Шейки		$K_{\text{max}} \text{ Н/м}^2 \cdot 10^{-1}$	$K_{\text{ср}} \text{ Н/м}^2 \cdot 10^{-1}$
шатунные		495,8	149,85
Коренные	I	267,07	84,13
	II	393,76	142,09
	III	393,76	142,09
	IV	238,00	130,11
	V	338,80	136,28
	VI	338,80	136,28
	VII	267,07	84,13

### Литература

1. Марьина Н.Л. Механизм усталостного разрушения коленчатых валов форсированных дизелей / Н.Л. Марьина // Тяжелое машиностроение. – 2011. – № 7. – С. 22-24.
2. Косырев С.П. Механизм усталостного разрушения материала коленчатых валов форсированных дизелей / С.П. Косырев, Н.Л. Марьина // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2013. – № 3. – С. 38-41.

**Повышение эффективности автономного электроснабжения изолированных удаленных территорий за счет использования когенерации и адаптивных эксплуатационных режимов в гибридных электростанциях**

Михайлин Александр Борисович,

кандидат технических наук, доцент, научно-технический консультант

ООО «ВТР Инжиниринг», г. Санкт-Петербург

*Рассмотрены проблемы генерации энергии в условиях изолированных удаленных территорий. На основе анализа технико-экономических показателей традиционных систем генерации и специфики использования возобновляемых источников энергии в изолированных системах оценен потенциал повышения эффективности энергоснабжения за счет полезного использования попутной тепловой энергии в гибридных энергосистемах. Приведены примеры реализованных технических решений и проектных проработок систем полезной утилизации тепла дизельных электроагрегатов в составе комбинированных систем. Акцентируется внимание на целесообразности использования адаптивных алгоритмов управления комплексом энергетического оборудования с целью оптимизации его использования и повышения надежности.*

В 2019 г. утвержден и в настоящее время реализуется «План мероприятий по модернизации неэффективной дизельной генерации в изолированных и труднодоступных территориях» [1]. Особенность данного плана связана с его масштабностью, обусловленной большим количеством и многообразием объектов дотационной локальной генерации, используемых на упомянутых территориях (630 объектов автономной генерации в 23 регионах). Сроки реализации названного плана являются достаточно сжатыми (2020...2025 гг.). При этом уже до конца 2021 года планируется провести модернизацию и ввести в эксплуатацию не менее 15 процентов объектов, имеющих потенциал повышения эффективности. В этой связи актуальным является освещение проверенных на практике доступных технических решений, которые могут быть полезными при решении проблем в контексте поставленной задачи.

В качестве одного из перспективных средств повышения эффективности распределенной энергетики в Плане [1] упомянуто объединение (гибридизация) автономных электростанций на основе тепловых двигателей (ЭС) с возобновляемыми источниками энергии в составе, так называемых, автономных гибридных электростанций (АГЭС). Модернизация ЭС путем такого объединения требует учета особенностей функционирования и взаимного влияния всего предполагаемого к объединению энергетического оборудования и, в первую очередь, реально имеющегося



базового [3, 4]. В этой связи, на основе анализа доступных данных Аналитического центра [2] выбраны существенные информативные интегральные показатели и признаки, характеризующие технологический уровень и режимы работы действующих ЭС удаленных территорий. Вычисленные значения показателей приведены ниже в табл. 1.

Таблица 1

Комплексные технико-экономические показатели объектов генерации - ЭС на изолированных и удаленных территориях

Показатели	Установленная мощность генерирующего оборудования ЭС, кВт / Количество генерирующих агрегатов, шт. //коэффициент использования	Суммарная выработка электрической энергии ЭС, тыс. кВт·ч за год / Удельные фактические расходы на выработку, руб./кВт·ч	Суммарные субсидии на компенсацию выпадающих доходов, млн руб. за год / Удельная субсидия (расчетная величина), руб./ кВт·ч	Неравномерность нагрузки ЭС в средние режимные сутки, по отношению «Зимний максимум» / «Летний минимум» // Средняя за год доля энергии на собственные нужды, процентов
Год				
Признаки сопоставляемых объектов				
1	2	3	4	5
Обобщенные данные по 630 объектам 23 регионов				
2016	537345	10566332,76 / 54,10	15514,19 / 1,49	2,83
2018	687959	10400477,91 / 59,73	21307,63 / 2,05	2,97
Данные по группам объектов распределенной генерации республики Саха (Якутия) (139 объектов по состоянию на 2019 год)				
Первая группа - объекты дизельной генерации (только электрической энергии)	148045 / 540// 0,153	198258,50 / 76,06	6155,71 / 31,05	6,44 //20,83
Вторая группа - объекты генерации с частичным использованием энергии газа, угля, возобновляемых источников, попутной выработкой тепла	41132 /164//0,178	64154,15 /60,46	1743,06 /27,17	4,76 // 20,32

Технологическую основу ЭС изолированных и удаленных территорий (табл. 1) составляют дизельные электроагрегаты (ДЭА). Существенно меньшую долю составляют электроагрегаты с газопоршневыми двигателями (ГПЭА) или иными тепловыми двигателями, использующими в качестве топлива доступные местные

ресурсы – нефть и уголь. Еще меньшую долю составляют ветровые (ВЭС) и солнечные (СЭС) электростанции.

В силу специфики условий и характеристик доступного для реального использования оборудования средние удельные расходы на выработку электрической энергии действующих ЭС достигают 76 рублей за киловатт-час. Соответственно, средние удельные субсидии на компенсацию выпадающих доходов достигают 31 рубля за киловатт-час. Такие реалии связаны не только с дороговизной используемого топлива из-за больших накладных расходов, но и с особенностями режимов работы ЭС в локальных изолированных системах. Так, все ЭС, показатели анализа которых приведены в табл. 1, являются многоагрегатными в силу необходимости набора необходимой мощности и обеспечения надежной работы в условиях существенной неравномерности сезонных и суточных режимов потребления энергии. В этой связи показательно, что отношение среднего потребления электрической энергии (максимальное зимнее к минимальному летнему потреблению) в режимные сутки, характеризующее неравномерность сезонного потребления энергии, составляет величину от 2,83 до 6,44 (табл. 1, стб. 5). По этой причине количество электроагрегатов в составе ЭС варьируется в широких пределах (от 2 до 16). Отрицательным сопутствующим фактором, обусловленным этим, является невысокое значение коэффициента использования установленной мощности ДЭА в составе ЭС, не превышающее 18 процентов (табл. 1, стб. 2).

Другая негативная особенность действующих ЭС связана со значительными энергетическими потерями, в том числе на собственные нужды. Львиная доля этих потерь связана с технологической необходимостью обогрева в зимнее время. Например, для объектов республики Якутии, с ее суровым климатом, величина этих потерь превышает 20 процентов от выработки энергии (табл. 1, стб. 5).

Оба названных фактора влекут увеличение эксплуатационных расходов на содержание ЭС, соответственно, увеличивают упомянутые выше удельные фактические расходы на выработку полезной энергии и компенсирующие доплаты (табл. 1, стб. 3, 4).

Существенно, что при гибридизации ЭС, ВЭС и СЭС в составе АГЭС полезный результат достигается не только за счет непосредственного полезного использования условно бесплатной возобновляемой энергии. Имеет место еще и важный синергетический эффект, обусловленный применением накопителей электрической энергии, входящих, как правило, в состав автономных ВЭС и СЭС. Накопители позволяют увеличить полезную долю выработки возобновляемой энергии, выровнять

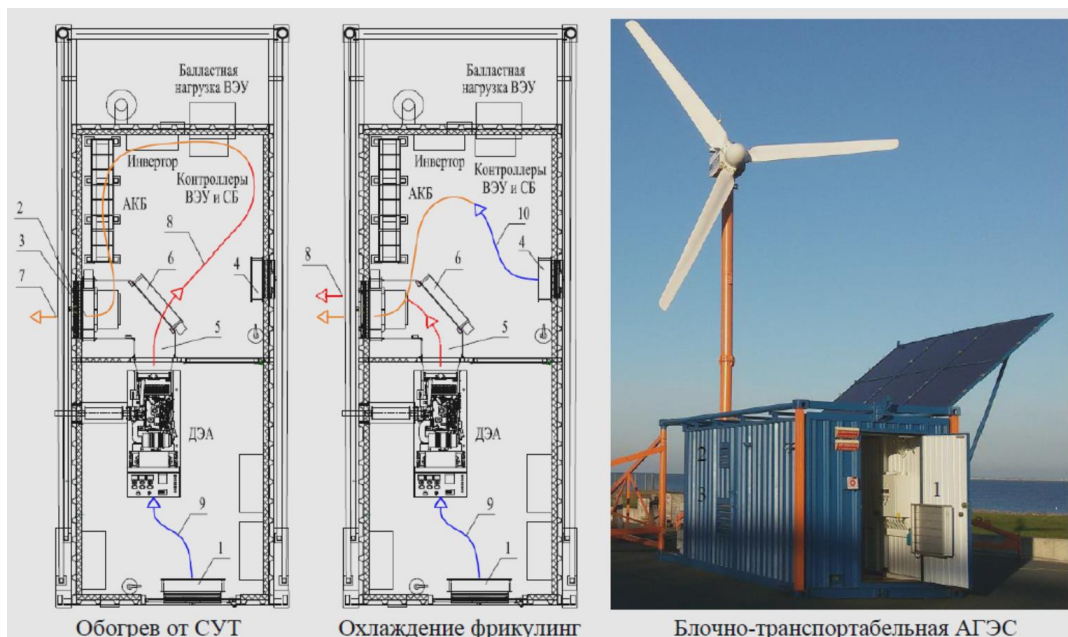
суточную нагрузку на ДЭА и таким образом оптимизировать их эксплуатационный режим работы в составе АГЭС. Несмотря на относительную дороговизну оборудования ВЭС и СЭС оно окупаемо. В табл. 1 объекты генерации Республики Якутия, содержащие в качестве элементов источники возобновляемой энергии, выделены в отдельную (вторую) группу. Сопоставление значений их технико-экономических показателей с ЭС на основе только дизельных генераторов (первая группа) показывает целесообразность такого комплексирования. Действенным способом повышения эффективности генерации в АГЭС является полезное использование доступного попутного тепла, неизбежно образующегося в процессе работы тепловых двигателей ДЭА и ГПЭА (когенерация). В табл. 2 в качестве примера приведены значения показателей энергетического баланса трех электроагрегатов, подобранных, исходя из анализа диапазона мощностей агрегатов, используемых в действующих ЭС удаленных территорий.

Таблица 2

Показатели энергетического баланса ДЭА и ГПЭА

Энергетический баланс	ДЭА				ГПЭА	
	кВт	%	кВт	%	кВт	%
Энергия топлива	40	100	681	100	831	100
Энергия на маховике	14	34	286	42	322	39
Электрическая энергия	11	27	246	36	276	33
Отвод тепла в систему водяного охлаждения	13	32	196	29	193	23
Отвод тепла в систему выхлопа	10	26	177	26	266	32
Отвод тепла в помещение (технологические потери)	4	9	13	2	50	6

Из табл. 2 следует, что весь суммарный потенциал попутной тепловой энергии в 1,5...2,1 раза превышает потенциал генерируемой электрической энергии, его реально доступная доля примерно равна уровню электрической генерации, как для ГПЭА, так и ДЭА. В контексте проблем автономной генерации позитивно то, что выработка попутного тепла в СУТ пропорциональна электрической нагрузке. В зимнее время, когда сезонная электрическая нагрузка ЭС увеличивается, соответственно, увеличивается и доля доступного попутного тепла. В случае его использования только для обеспечения собственных нужд ЭС вполне достаточным может быть использование СУТ с частичной (долевой) утилизацией тепла, т. е. с отбором его либо только от системы водяного охлаждения, либо только от системы выхлопа. На рис. 1 показано техническое решение долевой СУТ блочно-транспортной АГЭС малой мощности с целью обогрева ее аппаратного (аккумуляторно-инверторного) отсека попутным теплом от воздушно-водяной системы охлаждения ДЭА.



*Рис. 1. СУТ АГЭС с отбором тепла от системы охлаждения ДЭА:  
 1 – впускной воздушный клапан дизельного отсека; 2 – многорежимный вытяжной вентилятор; 3 – выпускной воздушный клапан; 4 – впускной воздушный клапан фрикулинга аппаратного отсека; 5 – рециркуляционный короб; 6 – регулируемый рециркуляционный клапан; 7 – теплый воздух; 8 – горячий воздух; 9 – наружный воздух в отсек ДЭА; 10 – наружный воздух в систему фрикулинга аппаратного отсека*

Исполнительными элементами СУТ (рис. 1) являются электроприводы воздушных клапанов 3, 4, 6 и вытяжного вентилятора 2, которые управляют воздушными потоками 7, 8 и 10. Решение данной СУТ является бюджетным в силу отсутствия дорогих теплообменников. Использованные решения не требуют какого-либо вмешательства в штатные системы выхлопа и охлаждения ДЭА. Адаптивная система управления СУТ использует в качестве исходных технологических сигналов параметры режимов работы АГЭУ, температуры внутри отсеков, давление в рециркуляционном коробе 5 и двух уровневый сигнал системы газового контроля аккумуляторного отсека. В процессе работы ДЭА необходимости в дополнительном электрообогреве аппаратного отсека нет, что существенно (более, чем в два раза) снижает расход энергии на собственные нужды АГЭС в холодное время года.

Аналогичное решение – посредством целенаправленной организации воздушных тепловых потоков – может быть реализовано и в случае многоагрегатных ЭС. Если генерирующие агрегаты ЭС располагаются в отдельных контейнерах, типовое расстояние между которыми, исходя из противопожарных требований, составляет 3 метра, то для организации взаимного обогрева могут быть использованы теплоизолированные воздушные каналы (рукава) с отсекающими противопожарными клапанами.

На рис. 2 показано решение СУТ с долевым использованием тепла для обогрева административного бытового контейнера (АБК) от системы выхлопа трехагрегатной ЭС с единичной мощностью ДЭА по 240 кВт в составе АГЭС с ВЭУ. По условиям проекта СУТ обеспечивает обогрев АБК по существующим нормам при наружной температуре  $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$  при полной электрической нагрузке одного из ДЭА, минимизируя за счет этого потери электрической энергии на собственные нужды.

Ключевым в решении СУТ (рис. 2) является выбор теплообменников К1 (тип КУВИ Б20.100 с повышенными эксплуатационными свойствами [5]), и предусмотренная возможность включения в тепловую схему технологической электрической нагрузки – аккумулятора тепла К5. Основная функция К5 состоит в выравнивании графика потребления тепла АБК и реализации планового эксплуатационного режима поочередной полной нагрузки ДЭА с целью профилактики закоксовывания дизелей и очистки котлов утилизаторов. Данные режимы являются целесообразными для обеспечения надежности функционирования теплосилового оборудования [6].

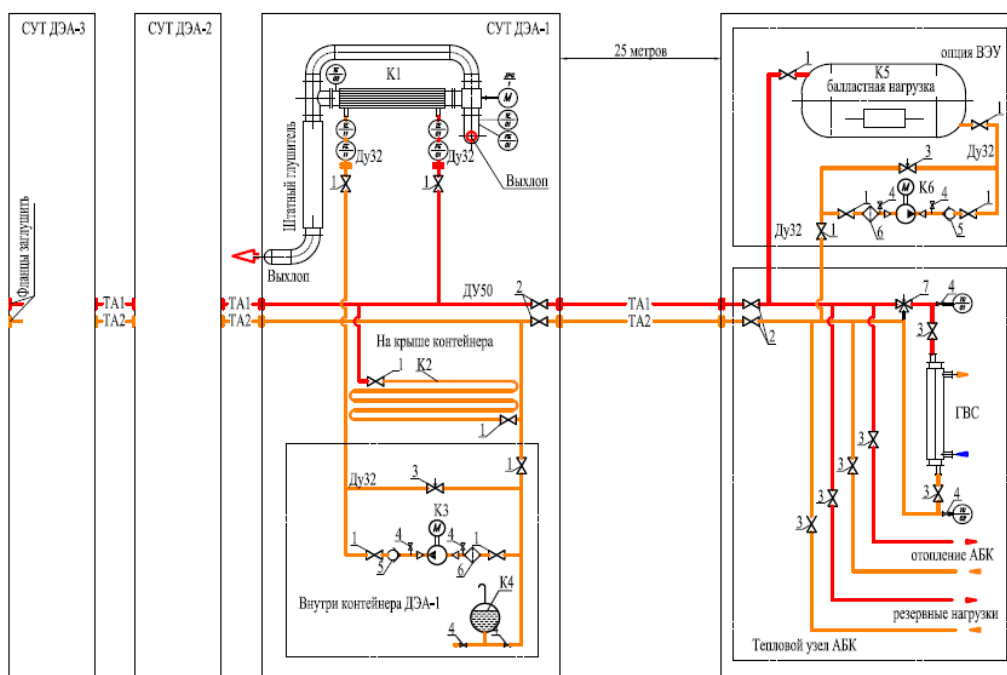


Рис. 2. СУТ АГЭС с отбором тепла от системы газов ДЭА:

*К1 – котел утилизатор тепла выхлопных газов; К2 – охладитель протечки контура утилизатора; К3 – циркуляционный насос котла утилизатора; К4 – бак подпора контура утилизатора; К5 – балластная электрическая нагрузка с функцией утилизации сбросного тепла и аккумуляирования тепловой энергии; К6 – циркуляционный насос контура балластной нагрузки; 1 – шаровый кран полнопроходный ДУ32; 2 – шаровый кран полнопроходный ДУ50; 3 – клапан балансировочный ДУ-32; 4 – шаровый кран 1/2"; 5 – обратный клапан ДУ32; 6 – фильтр насоса ДУ32; 7 – клапан трехходовой ДУ50*

Опциональная функция К5 – дополнительная электрическая нагрузка ВЭС с целью повышения полезного использования ветровых генераторов и обеспечения режима их буревой защиты в комплексе АГЭС с адаптивно- интеллектуальной системой управления.

#### Литература

1. План мероприятий по модернизации неэффективной дизельной (мазутной, угольной) генерации в изолированных и труднодоступных территориях (утв. Правительством РФ 15.08.2019 N 7456п-П9) // Правительство России: официальный сайт. – Москва. [Электронный ресурс] URL: <http://government.ru/news/37701> (дата обращения: 15.04.2020).

2. Информация об объектах генерации в изолированных и труднодоступных территориях. Объекты генерации в Республике Саха (Якутия) / Информационные материалы Аналитического центра // Министерство энергетики Российской Федерации: официальный сайт. – Москва. [Электронный ресурс] URL: <https://minenergo.gov.ru/node/16540> (дата обращения: 15.04.2020).

3. Михайлин А.Б. Гибридная система электроснабжения на мысе Сеть-Наволоок / А.Б. Михайлин // по реализованному проекту автономной ветро-дизельной системы электроснабжения радиотехнического поста проводки судов / Академия энергетики. – 2010. – № 5 (37). – С. 46-56.

УДК 681.514

#### **Исследование работоспособности системы управления токарной обработкой при изменении параметров объекта управления**

Мостовой Владимир Дмитриевич, заведующий лабораторией кафедры  
«Атомная энергетика»;

Бирюков Владимир Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры  
«Атомная энергетика»;

Орлов Егор Николаевич, студент направления «Машиностроение»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального  
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*В работе приведены материалы по исследованию работоспособности системы управления в условиях неустойчивости параметров процесса токарной обработки.*

Одной из особенностей процесса токарной обработки, как объекта управления силой резания, положением резца по поперечной оси и др., является нестабильность параметров процесса по каналам продольной и поперечной подач. Это обуславливает низкую эффективность существующих адаптивных систем управления процессом резания с классическими исполнительными механизмами – двигателями продольной и поперечной подач.

В данной работе приведены результаты анализа устойчивости и качества работы, предложенной авторами в [1] взаимосвязанной системы управления процессом токарной обработки нежестких валов с дополнительным быстродействующим исполнительным механизмом по каналу: продольная подача – сила резания при изменении параметров объекта управления в выявленных диапазонах. Средние значения и диапазоны изменения коэффициентов передачи и постоянных времени при описании объекта по каналам продольная подача – сила резания и глубина резания – сила резания моделями первого порядка и вторых постоянных времени при описании данных каналов моделями второго порядка для учета транспортного запаздывания приведены в табл. 1. Анализ проводился методом математического моделирования в системе Simulink пакета MatLab. Предварительно при средних значениях параметров моделей объекта управления были найдены параметры регуляторов, обеспечивающих типовые качественные показатели работы системы.

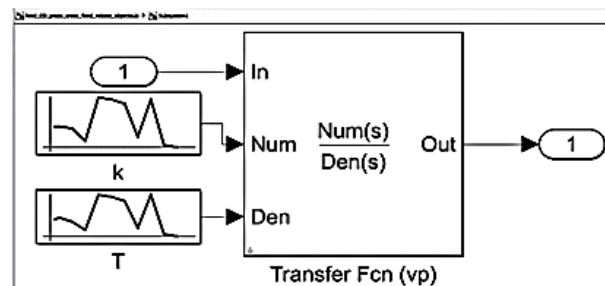
Таблица 1

Оценки параметров объекта управления при описании объекта управления моделями первого и второго порядка для учета транспортного запаздывания

По силе резания		
Параметр	W1(p)	W2(p)
Среднее значение k, Н/(мм/об)	315	const 1
Дисперсия k, Н <sup>2</sup> /(мм/об) <sup>2</sup>	6136 (2σ =156)	
Среднее значение T1, T2, сек	0,15	0,15
Дисперсия T1, T2, сек <sup>2</sup>	0,0025 (2σ =0,1)	0,0025 (2σ =0,1)
По поперечному положению		
Среднее значение k, Н/(мм)	180	const 1
Дисперсия k, Н <sup>2</sup> /(мм/об) <sup>2</sup>	225(2σ =30)	
Среднее значение T1, T2, сек	0,15	0,15
Дисперсия T1, T2, сек <sup>2</sup>	0,0025 (2σ =0,1)	0,0025 (2σ =0,1)

При моделировании передаточные функции объекта управления заменялись субмоделями, в которых вместо постоянных параметров моделей вводились временные ряды коэффициентов k и постоянных времени T. Причем временные

ряды изменения коэффициентов и постоянных времени подбирались так, чтобы на выходе объекта управления при единичном входном воздействии был временной ряд по спектральному составу, близкий к временному ряду экспериментального возмущающего воздействия [2]. Структурная схема математической модели объекта управления (ММ ОУ) представлена на рис.1 в виде субмодели.



*Рис. 1. Математическая модель объекта управления с переменными параметрами в виде блок-схемы*

Также в процессе моделирования учитывалась нестабильность параметров канала взаимосвязи объектов управления силой резания по поперечной подаче и силы резания по глубине резания через упругие элементы механической системы станка. Для этого параметры модели второго порядка изменялись в пределах  $\pm 30\%$  от экспериментально полученных значений [1]. Дисперсии параметров моделей специально задавались в более широких диапазонах, чем были определены при аппроксимации экспериментальных данных [2].

Таким образом, при моделировании системы управления к возмущению по силе резания дополнительно добавлялись возмущения по изменению параметров объекта управления.

Моделирование системы при переменных параметрах объекта управления показало, что учет транспортного запаздывания путем использования моделей второго порядка снижает качество регулирования при имеющихся настройках регуляторов, но корректировка параметров регуляторов позволяет поднять качественные показатели почти до начального уровня.

При этом найденные параметры ПИД-регуляторов (рис. 2) позволяют эффективно отрабатывать возмущающие воздействия как при описании объекта управления моделями первого, так и второго порядка.



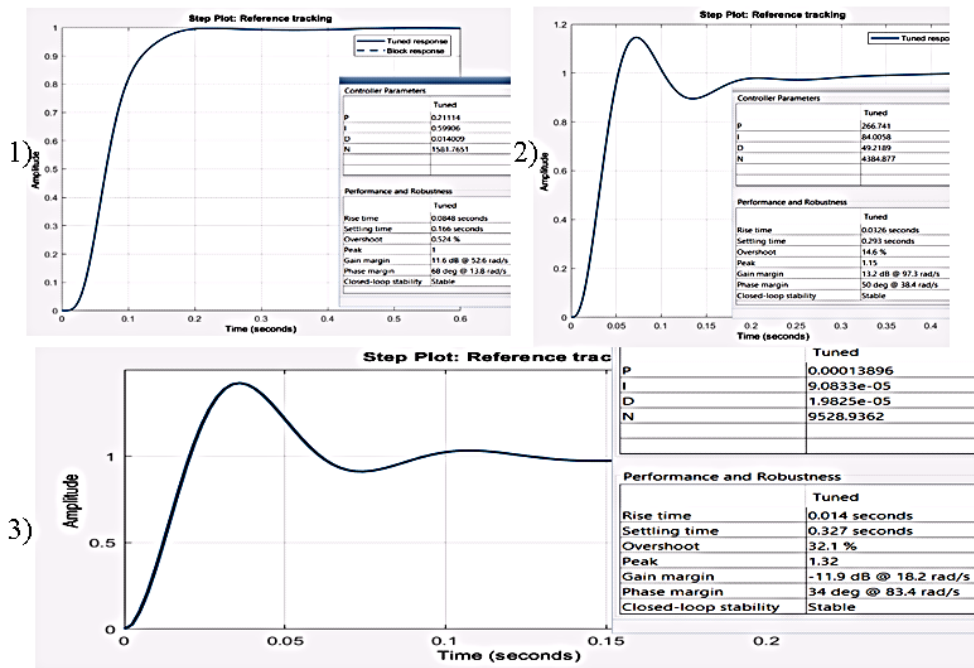


Рис. 2. Параметры настройки регуляторов при ММ ОУ с транспортным запаздыванием для (1) контура управления силой резания с электродвигателем, (2) следящего контура, (3) быстродействующего контура управления силой резания с пьезоактюатором

При анализе устойчивости системы были построены годографы Найквиста для разомкнутой системы при ряде параметров объекта управления, которые показали, что система с изменением параметров в рассмотренном диапазоне устойчива. Пример годографа приведен на рис. 3, запас устойчивости составляет порядка 0,98 по модулю.

При этом коэффициент эффективности по СКО силы резания снизился незначительно: с 25 до 22-24, а по СКО поперечного положения режущего инструмента с 21 до 17-19.

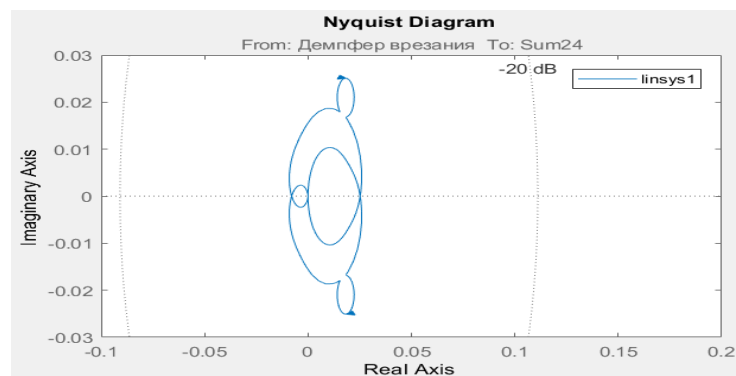


Рис. 3. Годограф Найквиста для разомкнутой системы управления силой резания

Проведенный анализ эффективности исходной системы и предложенной системы с быстродействующим исполнительным механизмом по продольной подаче показал, что: при изменении параметров объекта в достаточно широком

диапазоне и при учёте транспортного запаздывания путем его аппроксимации рядом Паде система с дополнительным быстродействующим исполнительным механизмом по продольной подаче имеет высокую степень робастности и обеспечивает эффективную работу.

Выводы: субмодели

1. Исходная система управления силой резания по продольной подаче с приводом продольной подачи в качестве исполнительного механизма неустойчива при изменении параметров объекта управления в экспериментально выявленных диапазонах.

2. Повышенное быстродействие работы контура управления с быстродействующим исполнительным механизмом позволяет сохранять качественные показатели работы системы при изменении параметров объекта управления в экспериментально выявленных диапазонах.

3. Диапазон эффективной работы системы управления по АЧХ по возмущению при максимальных значениях постоянных времени объекта управления (наиболее неблагоприятные условия) составляет 0-8 Гц, что с учетом спектральной плотности возмущающего воздействия говорит об эффективности системы управления.

#### Литература

1. Мостовой В.Д. Многомерная взаимосвязная система управления процессом токарной обработки нежестких валов / В.Д. Мостовой, В.П. Бирюков // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Молодежная наука: вызовы и перспективы». – Самара: СамГТУ, 2019. – С. 147-150.

2. Мостовой В.Д. Построение моделей процесса токарной обработки по управляющим воздействиям / В.Д. Мостовой, В.П. Бирюков // Сборник трудов II Международной научно-практической конференции «Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2019. – С. 66-72.

**Автоматизированный технологический процесс токарной обработки нежестких валов на основе многомерной системы управления**

Мостовой Владимир Дмитриевич, заведующий лабораторией кафедры  
«Атомная энергетика»;

Бирюков Владимир Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры  
«Атомная энергетика»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*В работе приведены возможные варианты реализации технологического процесса токарной обработки нежестких валов, которые становятся доступны при использовании системы адаптивного управления.*

Токарная обработка нежестких валов по траекториям предыскажения позволяет компенсировать бочкообразность, возникающую по причине ограниченной жесткости технологической системы станка без применения дополнительных средств технологического оснащения, например, люнетов. От точности расчета данной траектории и ее реализации зависит точность обработанных валов. Кроме того, возникающие в процессе случайные возмущения на силу резания приводят к дополнительным упругим деформациям и отклонениям размера валов.

Применение предложенной в [1] многоконтурной системы управления, способной отрабатывать данные возмущения, позволяет реализовать технологический процесс по траекториям предыскажения с большей точностью и производительностью. При этом в зависимости от точности заготовки и требуемых качественных показателей структура технологического процесса (количество проходов и т. д.) может изменяться. В статье рассматриваются возможные варианты на примере обработки валов диаметром 23,6 мм, длиной 325мм, аналогичных рассматриваемым в [1], используемых в качестве дорнов при изготовлении трубок из композиционных материалов.

На рис. 1 представлена структурная схема предлагаемого технологического процесса обработки вала по траекториям предыскажения. Предусмотрена обработка в 4 прохода. Траектории рассчитываются по математическим моделям деформации при номинальных режимах обработки. Первые 3 прохода обеспечивают уменьшение отклонения заготовки от исходных значений  $\begin{matrix} +0,4 \\ -0,7 \end{matrix}$  до  $\begin{matrix} +0,1 \\ -0,1 \end{matrix}$ , требуемых для осуществления четвертого прохода с заданной точностью.

Однако в процессе обработки идет накопление погрешности обработки под действием неконтролируемых возмущений проходов  $f_1-f_4$ , неадекватности моделей расчета траекторий предсказания  $e_{mi}$ , и их реализаций, погрешностей измерений изделий  $e_{ni}$ . Поэтому для обеспечения реализации данного технологического процесса используется предложенная автоматизированная система управления, включающая следующие системы отработки заданных траекторий предсказания (на 1, 2... 4 проходах), систему для отработки накопленных погрешностей от неконтролируемых возмущений на 1-4 проходах и систему управления по обратной связи путем корректировки траектории 4-го прохода следующей детали по результатам измерения текущей детали после 4-го прохода.

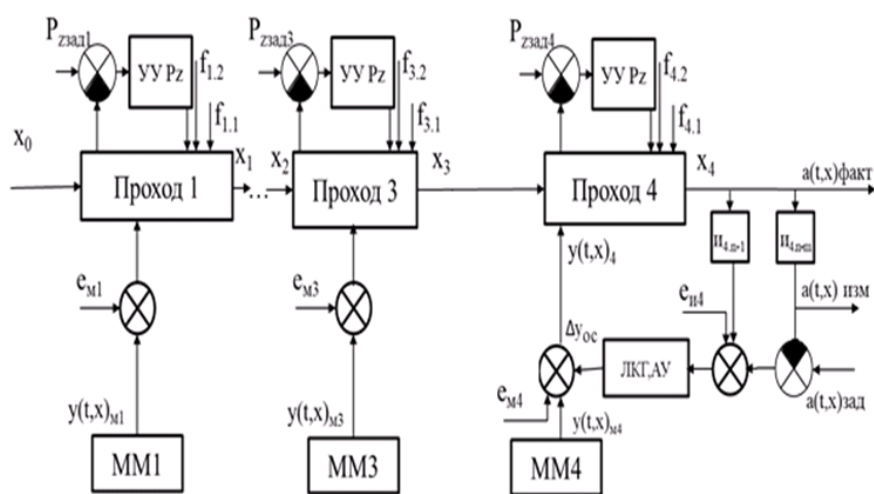


Рис. 1. Структура технологического процесса

$e_{mni}$  -ошибки математических моделей;  $e_{u,n}$  -ошибки измерения;  $e_{ay,yu}$  -ошибки расчёта управляющего воздействия и аппроксимации

Первый вариант обработки (рис. 1 и рис. 2 вариант 1) предполагает обработку валов по траектории предсказания  $MM1-4y(t,x)_n. мод$  на четырех проходах при всех классах точности заготовки, включая нормальную «В1». При этом в случае токарной обработки заготовок высокой точности «А0» обеспечивается более высокая точность получаемых валов.

На основании измерений профиля детали после четвертого прохода  $И_{4,n-1}$  контуром управления по обратной связи с ЛКГ регулятором производится корректировка траектории предсказания на 4-м проходе  $\Delta y(t,x)_4$  при обработке следующей детали. При этом случайные возмущающие воздействия  $f_{1.1}f_{4.1}$  стабилизируются системой управления силой резания с дополнительным быстродействующим контуром с пьезоэлементом, который также позволяет устранять автоколебания [2]. Возмущения на профиль обрабатываемых дорнов  $f_{1.2}f_{4.2}$

отрабатываются по прямому каналу корректировки  $\Delta u_n$  и по обратной связи контуром с ЛКГ регулятором [1].

При этом для устранения систематических ошибок, связанных с измерением деталей на станке, вносится поправка на основании измерений вала после съема на измерительной машине, обработанного на предыдущих проходах  $i_{4,n-m}$ .

Производительность процесса может быть увеличена путем использования заготовок повышенного класса точности, что позволяет уменьшить количество проходов (варианты 3, 4 на рис. 2).

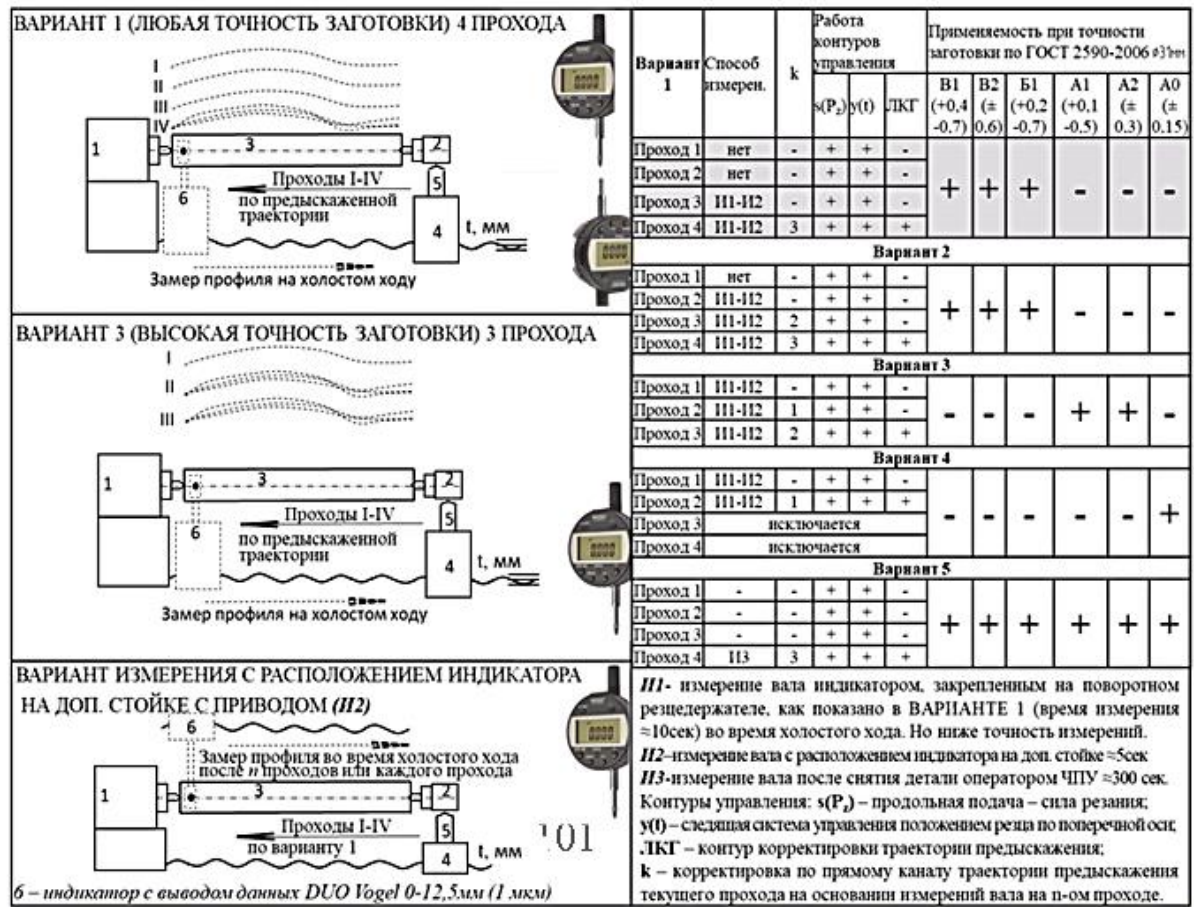


Рис. 2. Варианты реализации технологического процесса

Одним из возможных вариантов является применение алгоритма корректировки траектории для последующего прохода по результатам измерения текущего, например, для варианта 2 предполагается корректировка траектории третьего прохода по прямому каналу на основании измерений на втором проходе и т. д.

Пятый вариант реализации системы управления с замером детали после снятия со станка (метод «ИЗ») является наиболее затратным по времени, но может быть осуществлен при помощи стандартных средств измерения, например, пассаметров с погрешностью не более 2 мкм. Точность обработки будет соответствовать точности первого варианта, т. к. время, затрачиваемое на измерение, будет влиять только на

производительность обработки. При высокой точности используемых заготовок и применении высокоточного станочного оборудования типа DMG достаточно измерений каждой 2-й, 3-й или n-ой детали в зависимости от требуемой точности получаемых деталей и точности заготовок.

Таким образом, система управления в зависимости от требований к точности позволяет реализовать различные варианты управления процессом обработки. При этом производительность обработки может быть повышена до 30 % за счёт повышения интенсивности режимов резания.

Выводы. Предложенный технологический процесс позволяет:

1. повысить режимные параметры обработки и снизить на 30 % ее продолжительность (с 20 до 14 минут) для рассматриваемых валов;
2. сузить колебания размера детали с 0,378 до 0,018 мм (по 7 качеству) относительно классической технологии;
3. исключить последующую операцию шлифования и дополнительно повысить производительность обработки.

#### Литература

1. Кравченко С.А. Обеспечение точности автоматизированной системы управления продольным профилем нежестких валов при токарной обработке путем повышения эффективности обратной связи: диссертация автореф. дис. ... канд. техн. наук (05.13.06 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами в машиностроении) / С.А. Кравченко; рук. работы В.П. Бирюков. Саратовский государственный университет. – Саратов, 2013. – 179 с.

2. Мостовой В.Д. Реализация фильтра высокой частоты для развязки контуров управления силой резания по обратной связи / В.Д. Мостовой, В.П. Бирюков // Автоматизация. Современные технологии. – 2019. – № 12. – С. 544-549.

**Повышение эффективности обучения студентов навыкам конструирования путем практического освоения изготовления деталей и сборок на станках лазерной резки по дереву**

<sup>1</sup>Мурин Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Атомная энергетика»;

<sup>2</sup>Ризаев Владимир Вячеславович, инженер по ремонту

<sup>1</sup>Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково;

<sup>2</sup>«Балаковоатомэнергоремонт» – филиал Акционерного общества «Атомэнергоремонт»,  
г. Балаково

*В материале рассматривается вопрос повышения эффективности освоения навыков конструирования и проектирования изделий в САД системах студентами направления «Машиностроение» путем внедрения станков для лазерной резки по дереву.*

При изучении дисциплин, связанных с проектированием деталей или конструированием изделий и механизмов в САД системах, а также с процессами изготовления деталей, подбором режимов резания, изучением допусков и посадок, важную роль в усвоении материала играет подкрепление теоретических знаний прикладным опытом и навыками. За это отвечают практические и лабораторные занятия, а также практики на производстве. Однако студенты на практических занятиях зачастую выполняют работу только на компьютерах, а изучить реальный технологический процесс могут на производственной практике, которая разорвана с теоретическим материалом значительным промежутком времени.

Одним из вариантов получения практического опыта является изготовление готовых деталей и сборок изделий по чертежам студентов непосредственно в процессе обучения, что дает неоценимый опыт в проектировании и конструировании.

Ограничениями в изготовлении деталей по чертежам студентов являются стоимость и время изготовления, техника безопасности. Стоимость изготовления складывается из стоимости оборудования, материалов, оплаты работы оператора станка. При этом, чем сложнее оборудование, тем выше стоимость его обслуживания. Также важно учитывать время изготовления изделия. Для группы из 20 студентов время изготовления деталей должно определяться минутами.

В настоящее время существует несколько вариантов решения данной проблемы:

1. Использовать металлообрабатывающие станки.
2. Использовать станки для 3d-печати.
3. Использовать станки для лазерной резки.

Каждый вариант имеет свои преимущества и недостатки. Применение металлообрабатывающих станков является наиболее приближенным для направления «Машиностроение» решением, но является самым дорогим, при этом время изготовления деталей достаточно большое. Кроме того, для работы на станке требуется оператор.

Станки для 3d-печати дешевле металлообрабатывающих, квалификация оператора может быть намного ниже, обслуживание не сложное, однако время изготовления отдельного изделия определяется часами. Данный недостаток можно решить путем увеличения парка станков, но это влечет за собой увеличение стоимости данного варианта.

Лазерные станки для резки по дереву имеют относительно невысокую стоимость, при этом обладают высокой производительностью процесса. Стоит также отметить, что после резания изделие не требует дополнительной обработки [1]. Обучение оператора занимает несколько часов, а стоимость обслуживания и материалов не высокая. При этом студенты получают опыт работы, практически, по всем вопросам конструирования деталей и изделий. Основной проблемой данного решения является ограниченный набор доступных материалов для обработки – фанера толщиной 3-4 мм, картон, бумага.



*Рис. 1. Общий вид станка лазерного станка*

Основным рабочим инструментом станка (рис. 1) является лазер. Сфокусированный лазерный луч, управляемый компьютером, обеспечивает высокую концентрацию энергии и позволяет разрезать практически любые материалы независимо от их теплофизических свойств. В процессе резки, под воздействием лазерного луча, материал разрезаемого участка плавится, сгорает, испаряется или выдувается струей газа [2]. В зависимости от параметров, задаваемых при работе,



можно получать резание или гравирование материала. Для работы станка достаточно загрузить чертеж детали в ЧПУ, задать скорость резания и мощность лазера.

Лазерный станок позволяет:

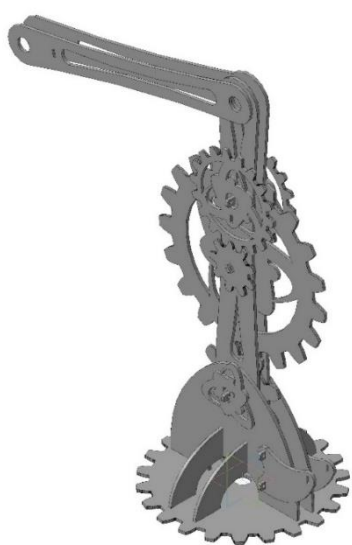
- Производить различные трафареты из фанеры.
- Выжигать рисунки, маркировки и наносить гравировку на дерево.
- Выполнять фрезерные операции (выточка пазов, углублений, фасок и т. п.)

(продвинутые станки).

- Резать трехмерные изделия (продвинутые станки).

Рассмотрим примеры изделий студента 4 курса направления «Машиностроение». Для изучения принципов работы зубчатых колес, их передаточных отношений, моментов и скоростей была сконструирована и собрана лампа, отличающаяся наличием нескольких степеней свободы, что потребовало разработки нескольких систем приводов. Для этого была спроектирована 3d-модель лампы с механизмом вращения (рис. 2а), выверены размеры и собираемость изделия, затем поэтапно вырезаны части конструкции, собраны отдельные механизмы и проверены гипотезы прочностных характеристик. В результате был получен готовый образец лампы (рис. 2б).

Кроме проектирования различных конструкций имеется возможность для создания робототехнических устройств с электрическими приводами и датчиками. Разработка таких конструкций позволяет студентам получить навыки проектирования с применением стандартных изделий (двигателей, металлических шестеренок, валов, салазок), а также поиска способов лучшего крепления деталей между собой.



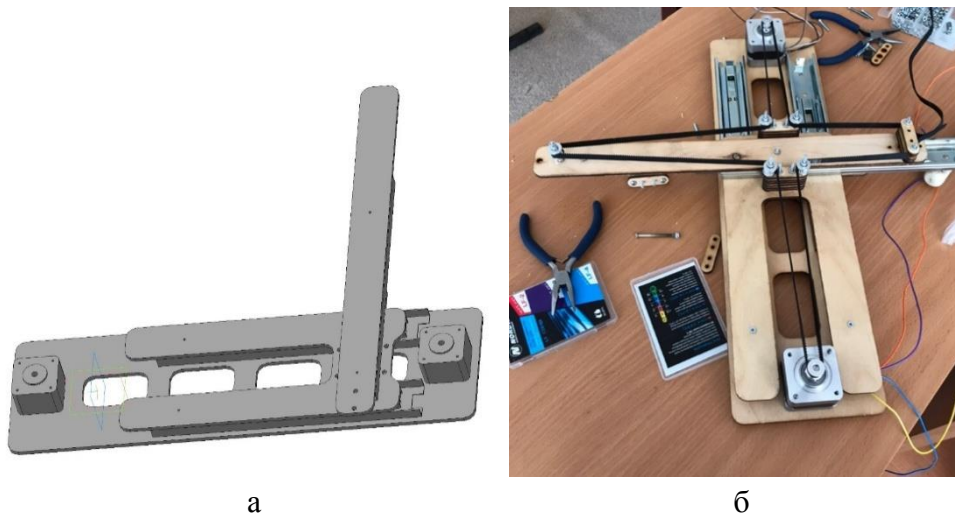
а



б

Рис. 2. Лампа:  
а – 3d-модель; б – готовое изделие

На рис. 3 представлена 3d-модель робота-манипулятора и готовое изделие с установленными двигателями, направляющими и шкивами.



а б  
*Рис. 3. Робот с консольной конфигурацией:  
а – 3d-модель; б – готовое изделие*

Полученный опыт работы позволяет студентам научиться не допускать типовых ошибок конструирования изделий:

- правильно рассчитывать допуски с обеспечением собираемости изделий и необходимых степеней подвижности;
- анализировать и обеспечивать работоспособность и прочность разрабатываемых конструкций;
- при внесении изменений в размеры деталей корректировать размеры других деталей;
- оценивать важность всех конструктивных элементов. Даже маленькие ошибки в проектировании не позволяют собрать сборку в целом, а слесарная доработка готовых изделий значительно увеличивает время сборки изделия.

Эффективным стимулом в решении данных вопросов является то, что малые досадные ошибки отодвигают студентов в конец очереди на резку изделий, и они начинают тщательнее проверять свои чертежи.

Внедрение лазерного станка позволяет расширить теоретические и практические знания в области конструирования и проектирования изделий и механизмов, получить опыт в решении задач по расчету необходимых допусков, расчету зубчатых колес, их передаточных отношений, проверке кинематики проектируемых изделий.

#### Литература

1. Лазерная резка // Википедия. 2009-2020. [Электронный ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=104873687> (дата обращения: 19.04.2020).

2. К вопросу использования лазерного оборудования в цехах гибких автоматизированных производств / М.А. Яшина [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 12-7. – С. 1301-1306. [Электронный ресурс] URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=11033> (дата обращения: 20.04.2020).

3. Михайлин А.Б. Опыт разработки, мониторинга и эксплуатационного сопровождения гибридных электростанций на основе альтернативных источников энергии / А.Б. Михайлин // Материалы XV Международной конференции «Состояние развития энергетики связи СПРЭС-2014». – С. 90-98.

4. Новые теплообменные аппараты с пониженной загрязняемостью / С.Н. Валиулин [и др.] // Новости теплоснабжения. – 2004. – № 5.

5. Михайлин А.Б. Оценка надежности систем децентрализованного энергоснабжения объектов военной инфраструктуры / А.Б. Михайлин, В.О. Сайданов, О.Л. Мартемьянов // Двигателестроение. – 2019. – № 4. – С. 32-37.

УДК 620+621.311

**Эффективность автономных энергокомплексов на базе  
традиционных и возобновляемых энергоресурсов с учетом  
экономии органического топлива**

Николаев Юрий Евгеньевич, доктор технических наук, профессор кафедры  
«Тепловая и атомная энергетика»;

Игнатов Владимир Юрьевич, аспирант кафедры  
«Тепловая и атомная энергетика»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов

*Выполнена оценка экономических показателей энергокомплекса, состоящего из газотурбинной установки и ветроэнергетической установки при расчете по внутренней и равновесной мировой цене на топливо. Разработана методика расчета энергетических и экономических показателей энергокомплекса. Построена зависимость изменения интегрального эффекта по годам расчетного периода.*

В соответствие со стратегией развития энергетики России до 2035 г. предусматривается дальнейшее наращивание энергетических мощностей на тепловых

электростанциях, сооружение источников на возобновляемых энергоресурсах, в первую очередь для энергоснабжения удаленных потребителей, использующих дорогое и привозное жидкое топливо [1, 2, 3]. При этом срок окупаемости капиталовложений составляет 5-9 лет. Для ветроэнергетических установок (ВЭУ) малой мощности (100-500 кВт), обеспечивающих электрической энергией небольшие поселения сроки окупаемости возрастают до 26 и более лет [4]. Такие показатели не способствуют активному строительству возобновляемых источников энергии (ВЭИ).

За рубежом сооружение источников на ВИЭ субсидируется на государственном уровне, что позволяет получать показатели окупаемости на уровне 6,8-16,3 лет [5]. В России также предусмотрено стимулирование ВИЭ, например, при подключении их к электрическим сетям общего пользования. Однако, таких преференций недостаточно для масштабного ввода ВЭИ. Для сокращения сроков окупаемости таких установок предлагается учитывать в показателях эффективности стоимость замещенного органического топлива, рассчитанного по внутренним или мировым равновесным ценам. Поскольку эта составляющая стоимости будет снижать суммарные затраты, то экономические показатели сооружения таких установок улучшатся. Замещенное органическое топливо от сооружения ВИЭ реализуется на внутреннем или внешнем рынке, а вырученные средства, аккумулированные частично или полностью в государственных банках, могут расходоваться на субсидирование строительства новых источников, использующих возобновляемые энергоресурсы.

Надежное энергоснабжение удаленных потребителей и малых городов требует сооружения комбинированных источников, использующих как возобновляемые энергоресурсы, так и традиционные на органическом топливе, которые компенсируют недовыработку энергии на ВИЭ. Поэтому в статье выполнена оценка экономических показателей энергокомплекса на основе газотурбинных установок (ГТУ) и ветроэнергетических установок (ВЭУ), вырабатывающих электрическую и тепловую энергию. В качестве критерия эффективности принят интегральный эффект, руб.:

$$\mathcal{E}_{ин} = \sum_{t=1}^T (R_t - Z_t) (1 - n)(1 + E)^{-t}, \quad (1)$$

$$R_t = C_{э} \mathcal{E}_{п}^r + C_Q Q_{п}^r + C_T^{зам} \Delta B_r^{ВЭУ}, \quad (2)$$

$$Z_t = C_T V^r + p_{ВЭУ} K_{ВЭУ} + p_{ГТУ} K_{ГТУ} + p_{ПК} K_{ПК} + K_{ВЭУ} + K_{ГТУ} + K_{ПК}, \quad (3)$$

где  $R_t$  – выручка от реализации электрической и тепловой энергии в год  $t$ , руб./год;  $Z_t$  – дисконтированные затраты в год  $t$ , руб.;  $n$  – коэффициент, учитывающий налоги;  $E$  – норма дисконта;  $T$  – срок эксплуатации энергокомплекса, год;  $C_{э}$ ,  $C_Q$  – стоимость электрической и тепловой энергии, руб./кВт ч, руб./ГДж;  $\mathcal{E}_{п}^r$ ,  $Q_{п}^r$  – годовой отпуск электрической и тепловой энергии, кВт ч/год, ГДж/год;  $C_T^{зам}$  – стоимость замещенного

топлива, руб./кг у.т.;  $\Delta B_{\text{вэу}}^{\text{г}}$  – экономия топлива от работы ВЭУ, кг у.т./год;  $C_{\text{т}}$  – стоимость топлива, сожженного в ГТУ и пиковом котле, руб./кг у.т.;  $B^{\text{г}}$  – годовой расход топлива в ГТУ и ПК, руб./год;  $p_{\text{вэу}}$ ,  $p_{\text{гту}}$ ,  $p_{\text{пк}}$  – коэффициенты, учитывающие отчисления от капиталовложений в ВЭУ, ГТУ и ПК, 1/год;  $K_{\text{вэу}}$ ,  $K_{\text{гту}}$ ,  $K_{\text{пк}}$  – капитальные вложения в ВЭУ, ГТУ и ПК, руб.

Количественные показатели работы энергокомплекса определены с учетом суточного электрического графика нагрузки потребителей, посуточного изменения скорости ветра, среднемесячных температур наружного воздуха и тепловой нагрузки в месте расположения.

Суточное количество электрической энергии, отпущенное потребителю, кВт ч/сут.:

$$\mathcal{E}_{\text{п},j}^{\text{с}} = \sum_{i=1}^{24} N_{\text{п},i} \tau_i, \quad (4)$$

где  $N_{\text{п},i}$  – электрическая нагрузка потребителей в  $i$  – час суточного периода,  $j$  – месяца, кВт.

Суточная выработка электрической энергии ВЭУ определяется по выражению, кВт ч/сут.:

$$\mathcal{E}_{\text{вэу},j}^{\text{с}} = \sum_{i=1}^{24} N_{\text{вэу},i} \tau_i, \quad (5)$$

где  $N_{\text{вэу},i}$  – электрическая мощность ВЭУ в  $i$  – час суточного периода  $j$ - месяца, кВт,  $\tau_i$  – продолжительность  $i$  – периода, ч/сут.

Суточное количество электрической энергии, вырабатываемое ГТУ, в  $j$  – месяце, кВт ч/сут.:

$$\mathcal{E}_{\text{гту},j}^{\text{с}} = \mathcal{E}_{\text{п},j}^{\text{с}} - \mathcal{E}_{\text{вэу},j}^{\text{с}}. \quad (6)$$

Годовое количество электрической энергии, вырабатываемое ВЭУ, кВт ч/год:

$$\mathcal{E}_{\text{вэу}}^{\text{г}} = \sum_{j=1}^{12} \mathcal{E}_{\text{вэу},j}^{\text{с}} n_j, \quad (7)$$

где  $n_j$  – число суток в  $j$  – месяце.

Годовое количество электрической энергии, вырабатываемое ГТУ, кВт ч/год:

$$\mathcal{E}_{\text{гту}}^{\text{г}} = \sum_{j=1}^{12} \mathcal{E}_{\text{гту},j}^{\text{с}} n_j. \quad (8)$$

Годовой расход топлива ГТУ, кг у.т./год:

$$B_{\text{гту}}^{\text{г}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{вэу}}^{\text{г}}}{Q_{\text{н}}^{\text{г}} \eta_{\text{гту}}}. \quad (9)$$

Тепловая нагрузка потребителя в  $j$  – месяце определялась по среднемесячной температуре наружного воздуха, кВт ч/сут.:

$$Q_{п,j}^c = (Q_{от,j} + Q_{гвс,j})24, \quad (10)$$

где  $Q_{от,j}$ ,  $Q_{гвс,j}$  – тепловые нагрузки отопления и горячего водоснабжения, кВт.

Тепловая нагрузка котлов-утилизаторов, кВт ч/сут.:

$$Q_{ку,j}^c = \mathcal{E}_{зм,j}^c / y_{с,j}, \quad (11)$$

где  $y_{с,j}$  – удельная выработка энергии ГТУ на тепловом потреблении.

Тогда тепловая нагрузка пикового котла в  $j$  - месяце, кВт ч/сут.:

$$Q_{пк,j}^c = Q_{п,j}^c - Q_{ку,j}^c. \quad (12)$$

Годовые показатели отпуска теплоты, кВт ч/год:

$$Q_{п}^r = \sum_{j=1}^{12} Q_{п,j}^c n_j, \quad (13)$$

$$Q_{ку}^r = \sum_{j=1}^{12} Q_{ку,j}^c n_j, \quad (14)$$

$$Q_{пк}^r = \sum_{j=1}^{12} Q_{пк,j}^c n_j, \quad (15)$$

$$V_{пк}^r = \frac{Q_{пк}^r}{Q_{н}^p \eta_{пк}}. \quad (16)$$

Годовое количество сэкономленного топлива при работе ВЭУ, кг у.т./год:

$$\Delta V_{вэу}^r = \frac{\mathcal{E}_{вэу}^r}{Q_{н}^p \eta_{гту}}, \quad (17)$$

где  $Q_{н}^p$  – теплота условного топлива, кДж/кг у.т.,  $\eta_{гту}$  – среднегодовое значение электрического КПД ГТУ.

Капитальные затраты в элементы энергокомплекса рассчитаны по выражениям, руб.:

$$K_{вэу} = k_{вэу} N_{вэу}^y, \quad (18)$$

$$K_{гту} = k_{гту} N_{гту}^y, \quad (19)$$

$$K_{пк} = k_{пк} (Q_{п}^{\max} - Q_{ку}^{\min}), \quad (20)$$

где  $k_{вэу}$ ,  $k_{гту}$ ,  $k_{пк}$  – удельные стоимости ВЭУ, ГТУ и ПК, руб./кВт,  $Q_{п}^{\max}$  – максимальная тепловая нагрузка потребителя, кВт,  $Q_{ку}^{\min}$  – минимальная тепловая мощность котлов-утилизаторов ГТУ в зимний период, кВт.

Используя приведенные зависимости, выполнены расчеты количественных годовых показателей энергокомплекса, расположенного в Среднем Поволжье с максимальной электрической нагрузкой потребителя  $N_{п}^{\max} = 16000$  кВт, максимальной тепловой нагрузкой  $Q_{п}^{\max} = 80000$  кВт при величине суммарной мощности ВЭУ 4000 кВт. Ветропарк включает 10 ветрогенераторов, расположенных в башнях высотой 50 м

единичной мощностью по 400 кВт. Используя почасовое изменение скорости ветра на указанной высоте и характеристику ветрогенератора, рассчитана вырабатываемая электрическая мощность ветропарком за средние сутки каждого месяца. Используя суточный график электрической нагрузки, определена потребность в электрической энергии и выработка энергии ГТУ. Количество тепловой энергии, отпускаемое для целей отопления и горячего водоснабжения потребителей, определено по среднемесячным температурам наружного воздуха. Обеспечение тепловой нагрузки потребителя осуществлялось за счет котлов-утилизаторов ГТУ и пиковых котлов. Результаты среднесуточных и годовых расчетов количественных показателей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Количественные показатели работы энергокомплекса

Месяц	$\mathcal{E}_{\text{вэу},j}^c$ , тыс. кВт ч/сут.	$\mathcal{E}_{\text{гту},j}^c$ , тыс. кВт ч/сут.	$Q_{\text{п},j}^c$ , тыс. кВт ч/сут.	$Q_{\text{ку},j}^c$ , тыс. кВт ч/сут.	$Q_{\text{пк},j}^c$ , тыс. кВт ч/сут.
январь	41,4	204,4	1468,8	454,1	1014,7
февраль	45,7	200,1	1452,0	444,7	1007,3
март	41,2	204,5	1269,6	454,4	815,2
апрель	36,3	209,4	940,8	465,3	475,5
май	36,0	160,6	384,0	356,8	27,2
июнь	31,9	164,7	384,0	365,3	18,7
июль	17,7	179,0	384,0	397,7	0
август	27,4	169,3	384,0	376,2	7,8
сентябрь	23,7	172,9	384,0	384,2	0
октябрь	32,6	213,1	938,4	473,6	464,8
ноябрь	30,6	215,1	1185,6	478,0	707,6
декабрь	34,0	211,72	1348,8	470,5	878,3
год	21196,0	82190,0	318990,0	155320,0	163706,0

Из табл. 1 следует, что ВЭУ обеспечивает покрытие около 20 % выработки электрической энергии. За счет утилизации продуктов сгорания ГТУ обеспечивается 49 % годовой тепловой нагрузки. При этом в отдельные периоды времени (июль, сентябрь) выработка теплоты котлами-утилизаторами превышает потребность в тепловой энергии, что приводит к частичному выпуску продуктов сгорания без утилизации.

С использованием данных табл. 1 рассчитаны годовые расходы топлива ГТУ, ПК и замещаемого топлива от работы ВЭУ. При электрическом КПД ГТУ, изменяющемся в зависимости от температуры наружного воздуха и величины нагрузки в пределах 0,25-0,28, КПД ПК 0,92,  $V_{\text{ГТУ}}^{\Gamma} = 32,5$  млн. кг у.т./год,  $V_{\text{ПК}}^{\Gamma} = 22,24$  млн. кг у.т./год,  $\Delta V_{\text{вэу}}^{\Gamma} = 9,82$  млн. кг у.т./год.

Капиталовложения в ВЭУ, ГТУ и ПК определены при удельных стоимостях  $k_{вэу} = 100000$  руб./кВт,  $k_{гту} = 65000$  руб./кВт,  $k_{пк} = 1500$  руб./кВт [6, 7]. Абсолютные значения в указанные установки составили  $K_{вэу} = 4\ 000$  млн. руб.,  $K_{гту} = 1560$  млн. руб.,  $K_{пк} = 63,5$  млн. руб. В экономических расчетах приняты:  $r_{вэу} = 0,02$  1/год,  $r_{гту} = 0,12$  1/год,  $r_{пк} = 0,03$  1/год,  $E = 0,1$ ,  $T = 25$  лет. Срок строительства энергокомплекса 2 года. Результаты экономических расчетов интегрального эффекта, индекса доходности, внутренней нормы доходности, срока окупаемости показаны в табл. 2 и на рис. 1. Расчеты выполнены при внутренней стоимости природного газа 5 руб./кг у.т. и мировой равновесной стоимости 15 руб./кг у.т.

Таблица 2

Экономические показатели энергокомплекса

Стоимость топлива	Интегральный эффект, млн руб.	Индекс доходности	Внутренняя норма доходности	Срок окупаемости, год
$C_t = 5$ руб./кг у.т.	1058,7	1,57	0,17	14,5
$C_t = 15$ руб./кг у.т.	1779,2	1,96	0,2	10,5

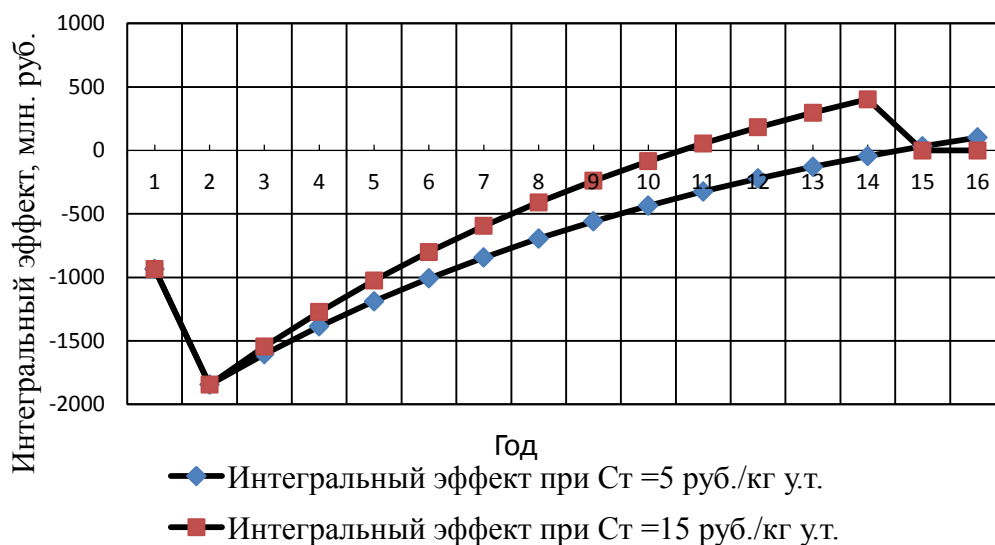


Рис. 1. Определение дисконтированного срока окупаемости

Из рассмотрения полученных результатов следует, что наилучшие экономические показатели ( $\mathcal{E}_{ин} = 1779,2$  млн. руб., индекс доходности 1,96, внутренняя норма доходности 0,2 и срок окупаемости 10,5 года от начала строительства) получились при замещении природного газа, который может быть продан зарубежным странам по равновесной цене 15 руб./кг у.т.



## Выводы:

1. Предложено для повышения экономической эффективности возобновляемых источников энергии оценивать замещенное органическое топливо по внутренним и мировым равновесным ценам, которое может быть продано внутри страны или за рубеж. Полученную выручку можно использовать для масштабного строительства источников на возобновляемых энергоресурсах.
2. Разработана методика расчета энергетических и экономических показателей энергокомплекса на базе ветроэнергетических установок, газотурбинных установок и пиковых котлов.
3. Наилучшие экономические результаты получены при продаже замещенного топлива зарубежным странам.

## Литература

1. Стратегические перспективы электроэнергетики России / А.А. Макарова [и др.] // Теплоэнергетика. – 2017. – № 11. – С.40-52.
2. Интегрированные схемы энергоснабжения на базе ТЭЦ и ВЭС / В.А. Стенников [и др.] // Промышленная энергетика. – 2016. – № 11. – С. 57-62.
3. Безруких П.П. Ветроэнергетика: Справочно-методическое издание / П.П. Безруких, П.П. Безруких (мл.), С.В. Грибков; под общей редакцией П.П. Безруких. – М.: «Интехэнерго-Издат», «Теплоэнергетика», 2014. – 304 с.
4. Возобновляемая энергетика: экономические оценки инвестиций: учебно-методическое пособие / К.С. Дегтярев [и др.]; под ред. А.А. Соловьева. – М.: «КДУ», «Университетская книга», 2018. – 86 с.
5. Chang B. Evaluation of Wind and Solar Energy Investments in Texas / B. Chang, K. Starcher. // Renewable Energy. – 2018. – 27 p.
6. Adnan Z. Amin, 2017. Renewable power generation costs in 2017. In: Adnan Z. Amin, (Ed.), IRENA Working Paper. International Renewable Energy Agency (IRENA). [Электронный ресурс] URL:<https://ru.nangs.org...irena-renewable-power-generation-costs...> (дата обращения: 12.04.2020).
7. Quinna R. A parametric investigation into the effect of low induction rotor (LIR) wind turbines on the levelised cost of electricity for a 1 GW offshore wind farm in a North Sea wind climate / R. Quinna, G. Schepersb, B. Bulderb // Energy Procedia. – 2016. – P. 164-172.

### Основные характеристики различных типов ядерных реакторов

Разуваев Александр Валентинович, доктор технических наук, профессор кафедры  
«Атомная энергетика»;

Акинфиева Алена Андреевна, студент специальности  
«Атомные станции: проектирование, эксплуатация, инжиниринг»;

Белостропова Вероника Эдуардовна, студент специальности  
«Атомные станции: проектирование, эксплуатация, инжиниринг»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального  
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*В данной статье рассмотрены основные типы реакторов, используемых на атомных электростанциях, и приведены их краткие характеристики.*

Производство энергии во всех ядерных реакторах основано на ядерном делении, но конструкция реакторов может отличаться. В мире используется шесть основных типов реакторов (табл. 1). Различные конструкции используют разные концентрации урана для топлива, разные замедлители и теплоносители.

Наиболее распространенным типом реактора является реактор с водой под давлением (ВВЭР), представляющий 250 из 392 реакторов в мире, работающих в настоящий момент.

Таблица 1

Основные типы реакторов в мире

Тип реактора	Вид топлива	Замедлитель	Теплоноситель
Водо-водяной ядерный реактор (ВВЭР)	UO <sub>2</sub>	Вода	Вода
Кипящий водо-водяной реактор (BWR)	UO <sub>2</sub>	Вода	Вода
Тяжеловодный водо-водяной ядерный реактор «CANDU» (PHWR)	UO <sub>2</sub>	Тяжелая вода	Тяжелая вода
Газоохлаждаемый реактор (GCR)	U, UO <sub>2</sub>	Графит	Углекислый газ, гелий, азот
Реактор большой мощности канальный (РБМК)	UO <sub>2</sub>	Графит	Вода
Реактор на быстрых нейтронах (БН)	PuO <sub>2</sub> и UO <sub>2</sub>	-	Жидкий натрий

В ВВЭР используют легкую воду для замедления нейтронов и отвода тепла реактора. Вода в контуре первичного охлаждения находится под высоким давлением, что позволяет ей не превращаться в пар даже при высокой температуре. Эти реакторы используют  $U^{235}$  с обогащением от 3 % до 4,5 %. Мощные насосы циркулируют воду по трубам, передавая тепло воде второго контура. Полученный пар приводит в движение турбину, а она, в свою очередь, генератор (рис. 1).

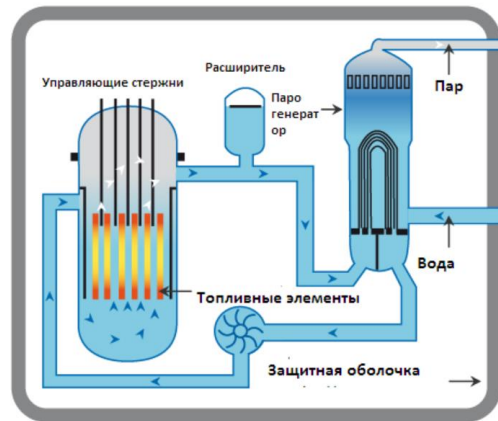


Рис. 1. Схема водо-водяного энергетического реактора

Реакторы с кипящей водой ВВР используют  $U^{235}$  с обогащением от 2 % до 4 % и составляют около 20 % всех ядерных энергетических реакторов. ВВР приняты в таких странах, как США, Япония и Швеция. В ВВР легкая вода действует как охлаждающая жидкость и замедлитель. Базовая конструкция ВВР аналогична ВВЭР, за исключением того, что в ней используется только один единственный контур, в котором вода находится под более низким давлением. Хотя отсутствие парогенератора упрощает конструкцию, радиоактивность может загрязнить турбину. А поскольку вода вокруг активной зоны реактора всегда содержит некоторые следы радионуклидов, в случае необходимости вентиляции любой выпущенный пар может содержать радиоактивные продукты (рис. 2) [1].

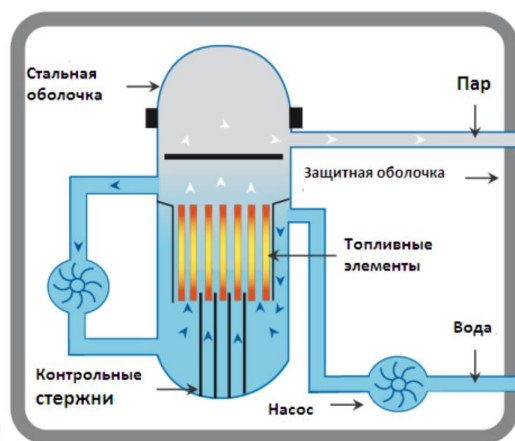


Рис. 2. Схема кипящего водо-водяного реактора

Реакторы с тяжелой водой под давлением (PHWR), также известные как реакторы CANDU, представляют около 12 % реакторов в мире и используются на всех канадских атомных электростанциях. Они используют тяжелую воду как охлаждающую жидкость и замедлитель, а природный уран – в качестве топлива. Тяжелая вода относится к воде, в которой обычные атомы водорода (содержащие только 1 протон в ядре) заменяются более тяжелыми атомами водорода (содержащими 1 протон и 1 нейтрон в ядре), что помогает в достижении более эффективного процесса деления. Тяжелая вода поглощает наименьшее количество нейтронов по сравнению с обычным замедлителем, поэтому она меньше всего подавляет цепную реакцию. Внутри напорных труб, заполненных ураном, тяжелая вода забирает тепло из реактора и передает его в соседний контур, чтобы образовать пар и привести в движение турбогенератор для производства электроэнергии. Одним из главных преимуществ реактора CANDU является то, что смену топлива можно производить, не останавливая реактор (рис. 3) [2].

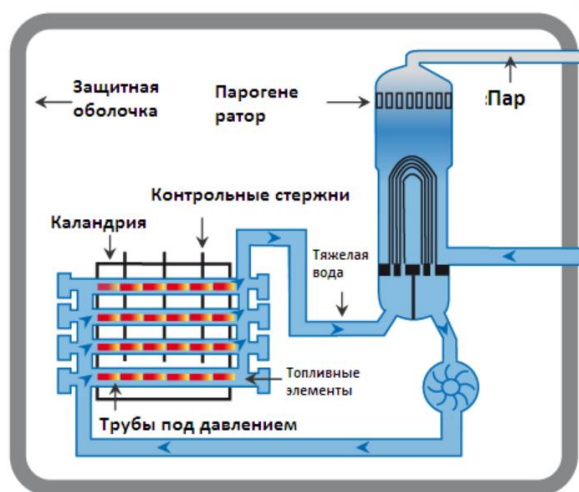


Рис. 3. Схема тяжеловодного ядерного реактора

Реакторы с газовым охлаждением (GCR) используются только в Великобритании. Существует два типа, Magnox (названный из магниевого сплава, используемого для оболочки топливных элементов) и усовершенствованный реактор с газовым охлаждением (AGR). Оба типа используют углекислый газ в качестве охлаждающей жидкости и графит в качестве замедлителя. Magnox использует природный уран в качестве топлива, в то время как AGR использует обогащенный уран. Как и реакторы CANDU, эти конструкции можно заправлять в процессе эксплуатации [3].

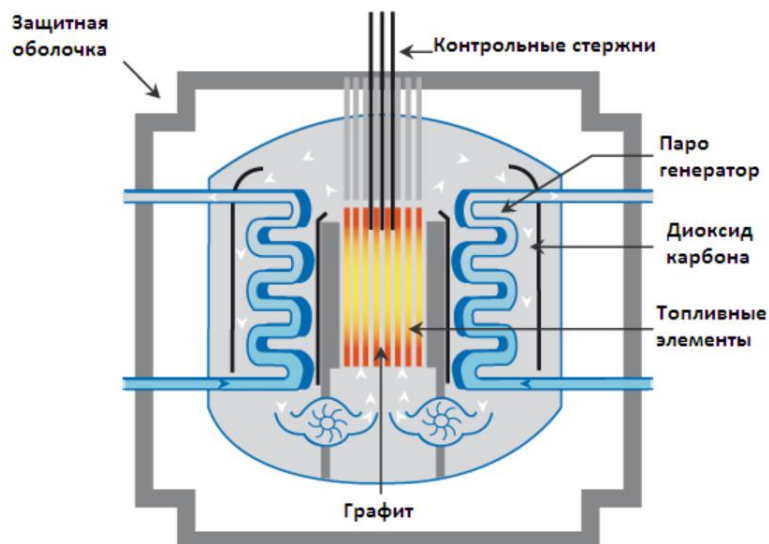


Рис. 4. Схема газоохлаждаемого реактора

Реактор большой мощности канальный (РБМК) используется с обычной водой в качестве теплоносителя и графитом в качестве замедлителя. Как и в случае с ВВР, охлаждающая жидкость кипит, когда она проходит через реактор, и полученный пар подается непосредственно в турбогенераторы. Хорошо известная авария 1986 года в Чернобыле (Украина) произошла с реактором такого типа (рис. 5) [4].

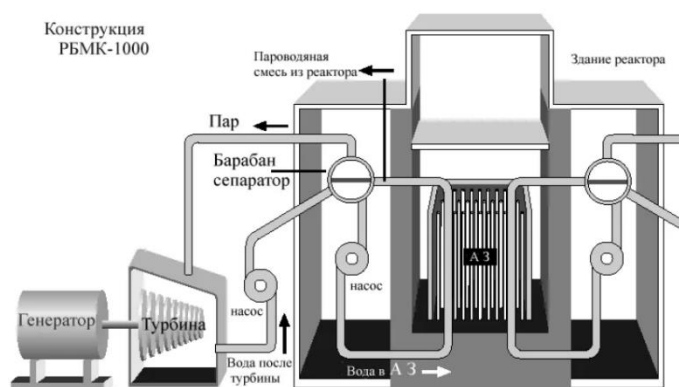


Рис. 5. Схема реактора типа РБМК

Реакторы на быстрых нейтронах (БН) используют быстрые нейтроны для преобразования таких материалов, как уран-238 и торий-232, в делящиеся материалы, которые затем подпитывают реактор. Этот процесс, в сочетании с утилизацией, может увеличить имеющиеся запасы ядерного топлива в очень долгосрочной перспективе (рис. 6) [5].

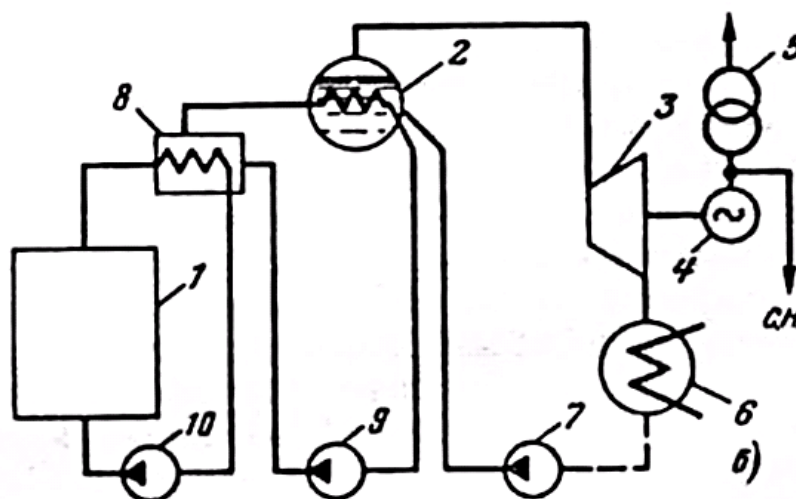


Рис. 6. Малые модульные реакторы. Схема реактора на быстрых нейтронах:  
 1 – реактор; 2 – парогенератор; 3 – турбина; 4 – генератор; 5 – трансформатор;  
 6 – конденсатор; 7 – питательный насос; 8 – теплообменник натриевых контуров;  
 9 – насос нерадиоактивного натрия; 10 – насос радиоактивного натрия

Тщательный мониторинг производительности завода, анализ опыта эксплуатации, программы модернизации и переоборудования предлагают хорошие перспективы для продления жизни реакторов. Во многих странах решения о сроке службы станции принимаются путем периодического продления лицензий на эксплуатацию, которые включают всесторонний анализ безопасности с использованием новейших методов и требований безопасности. Реакторы следующего поколения будут рассчитаны на более длительные периоды до 60 лет.

По окончании срока эксплуатации атомные электростанции должны быть выведены из эксплуатации и снесены. Их участки должны быть очищены или дезактивированы перед выпуском для общего пользования. Полное снятие с эксплуатации обычно занимает несколько десятилетий. Требуется время, чтобы уровень радиации снизился до уровня, который позволит работникам по выводу из эксплуатации работать при низкой дозе облучения [6].

#### Литература

1. Кипящий реактор. [Электронный ресурс] URL: <http://knowledge.su/k/kipyaschiy-reaktor> (дата обращения: 30.03.2020).
2. CANDU Canada Deuterium Uranium (Тип реактора PHWR). [Электронный ресурс] URL: <https://lektsia.com/2x8696.html> (дата обращения: 29.03.2020).
3. Высокотемпературный газоохлаждаемый реактор ГТ-МГР. [Электронный ресурс] URL: [https://ozlib.com/856235/tehnika/vysokotemperaturnyy\\_gazohlazhdaemyy\\_reaktor](https://ozlib.com/856235/tehnika/vysokotemperaturnyy_gazohlazhdaemyy_reaktor) (дата обращения: 29.03.2020).

4. Реактор РБМК. Электронный ресурс] URL: [https://studopedia.ru/11\\_45737\\_reaktor-rbmk.html](https://studopedia.ru/11_45737_reaktor-rbmk.html) (дата обращения: 31.03.2020).

5. Реакторы на быстрых нейтронах. [Электронный ресурс] URL: <https://www.ippe.ru/nuclear-power/fast-neutron-reactors> (дата обращения: 31.03.2020).

6. Атомная электростанция: устройство и влияние на окружающую среду. [Электронный ресурс] URL: <https://militaryarms.ru/ugrozy-dlya-zhizni-na-planete/aes/> (дата обращения: 30.03.2020).

УДК 621.039.5.

### **Сравнительный анализ реакторов на быстрых нейтронах**

Разуваев Александр Валентинович, доктор технических наук, профессор кафедры

«Атомная энергетика»;

Акинфиева Алена Андреевна, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация, инжиниринг»;

Белостропова Вероника Эдуардовна, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация, инжиниринг»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*В данной статье рассмотрены основные характеристики реакторов на быстрых нейтронах, приведены основные достоинства и недостатки, а также проведен сравнительный анализ данного типа реактора.*

Глобальный интерес к реакторам на быстрых нейтронах (БН) растет с момента их создания в 1960 году. В России данный тип реактора установлен на 3 и 4 энергоблоках Белоярской АЭС, а в 2030 году планируется запуск реактора и на 5 энергоблоке. Однако основным видом реакторов по-прежнему остаются реакторы на тепловых нейтронах. Ученые считают, что одной из основных проблем атомной энергетики в ближайшее время будет нехватка природного топлива, которое необходимо для проведения цепной реакции деления. Более перспективным считается применение ядерных реакторов с использованием БН, при котором возможно воспроизводство топлива [1].

Содержание небогатого  $^{235}\text{U}$  в мире составляет менее 1% по сравнению с природным  $^{238}\text{U}$  (99 %). Поэтому в перспективе значительно более выгодно

использовать топливо на природном  $^{238}\text{U}$ , благодаря которому реактор на БН способен производить топливо для реакторов на тепловых нейтронах (ВВЭР, РБМК), которых в мире на сегодняшний день большинство. Это происходит при делении  $^{238}\text{U}$  в активной зоне и превращении его в  $^{239}\text{Pu}$ , который можно выделить химическим образом и подготовить к дальнейшему использованию в качестве топлива в ядерном реакторе [2].

Реакция получения  $^{239}\text{Pu}$  [3] :

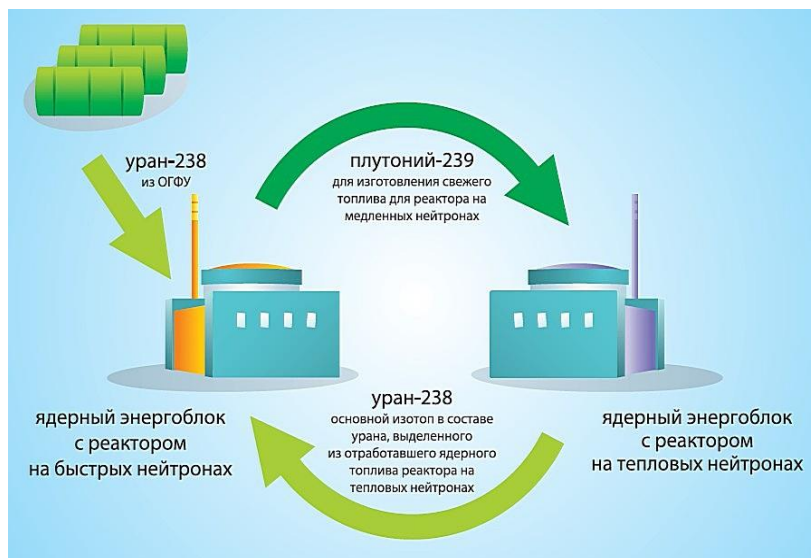
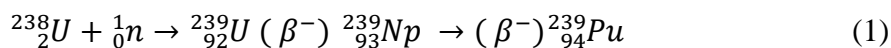


Рис. 1. Замыкание топливного цикла

Реакторы на быстрых нейтронах имеют высокую удельную мощность и в качестве теплоносителя используют жидкий металл, такой как натрий, свинец или свинец-висмут с высокой проводимостью и температурой кипения около 500-550 °С при атмосферном давлении.

Конструкция реакторов на БН должна обеспечивать отсутствие химического взаимодействия (например, натрий-вода), а используемые материалы должны предусматривать возможность коррозии металлов.

Реакторы на БН способны производить больше топлива, чем потребляют, что является одним из их главных преимуществ. К примеру, на 10 килограммов делящегося изотопа производится 12-13 килограммов эффективного ядерного топлива [4].



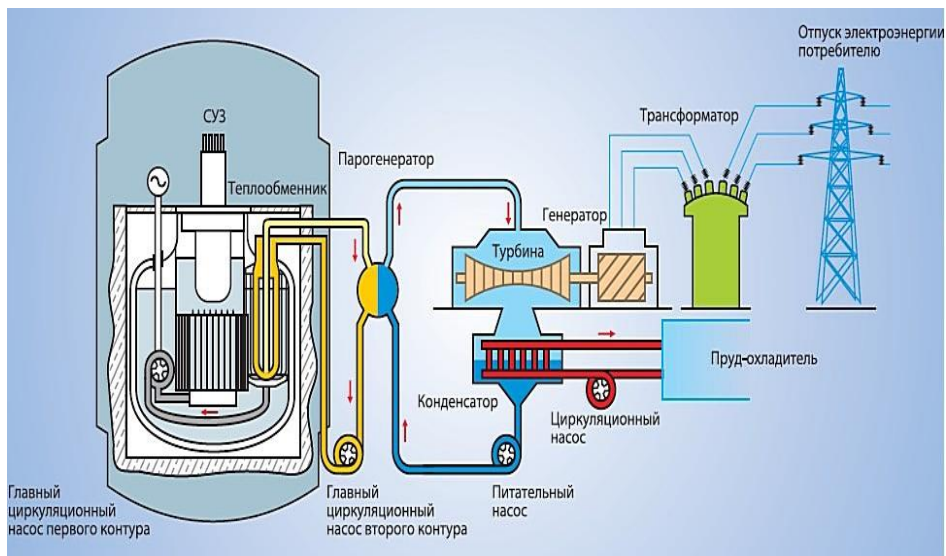


Рис. 2. Схема ядерного энергоблока с реактором на быстрых нейтронах БН-600 (Белоярская АЭС)

По сравнению с реакторами с водяным замедлителем, реакторы на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем обладают многими преимуществами в отношении производительности и безопасности. Эти преимущества включают в себя:

- Более чем 100-кратное снижение потребления природного урана за кВтч.
- Уменьшение более чем в 1000 раз долговечных ядерных отходов на кВтч.
- Низкое первичное давление натрия.
- Две независимые системы холодного отключения в случае отказа оборудования.
- Высокая скорость нарастания выходной мощности.
- Быстрый ремонт путем замены модуля.
- Длительный срок эксплуатации.
- Увеличенная продолжительность топливной кампании.
- Высокий коэффициент полезного действия благодаря множеству независимых систем теплопередачи и систем выработки электроэнергии.
- Возможность использования реакторов на БН для безопасной утилизации отработавшего топлива из CANDU и других ядерных реакторов с водяным охлаждением.
- Выделение дополнительного стартового топлива для других ядерных реакторов.
- Потенциал для образования топлива для деления U-233 из тория и топлива для термоядерного синтеза H-3 из Li-6.

Приведем некоторые сравнительные характеристики реакторов БН-600 и ВВЭР-1000.

Таблица 1

Сравнительные характеристики реакторов БН-600 и ВВЭР-1000

Параметр	БН-600	ВВЭР-1000
Тепловая мощность, МВт	1470	3000
Электрическая мощность, МВт	600	1000
Теплоноситель	Натрий	Вода
Температура теплоносителя на входе в реактор, °С	380	289
Температура теплоносителя на выходе из реактора, °С	550	323
Давление теплоносителя на входе в реактор, МПа	1	16,3
Топливо	PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>

К недостаткам реакторов на БН можно отнести эрозию труб, которую вызывает теплоноситель, в основном это жидкий натрий. От реакторов теплообменники находятся в изолированном состоянии. Реакторы типа ВВЭР и РБМК характеризуются наличием такого эффекта, как «йодная (ксеноновая) яма», сущность которой заключается в том, что в результате распада изотопа <sup>135</sup>I скапливается изотоп ксенона <sup>135</sup>Xe. Данный изотоп активно поглощает нейтроны, что приводит к снижению эффективности реакторов данного типа. Для реакторов на БН «йодная яма» не характерна.

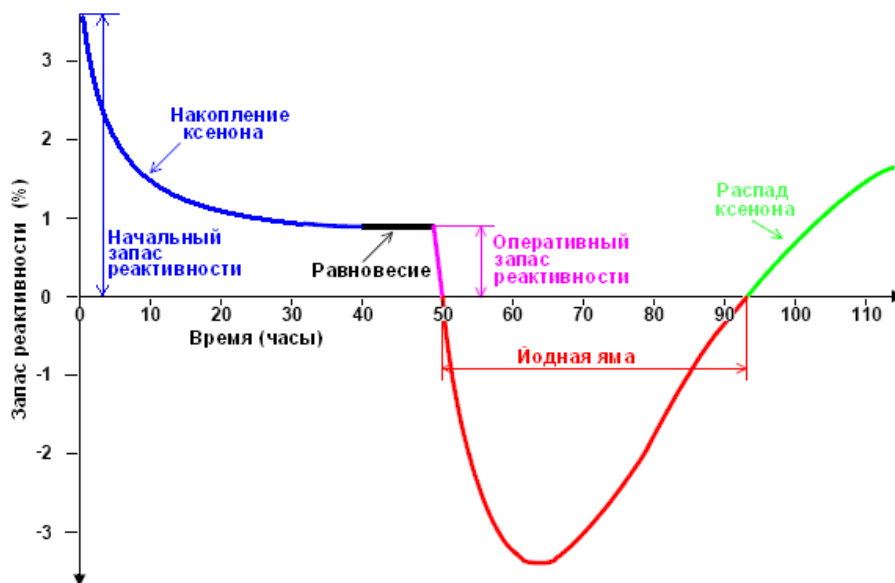


Рис. 3. Йодная яма

На периферии активной зоны (АЗ) реактора на БН есть отдельная зона производства оружейного плутония, которая позволяет удалять плутоний из АЗ. После выгорания определенного количества ядерного топлива из АЗ реактора извлекают ТВС и отправляют часть на переработку оружейного плутония  $^{239}\text{Pu}$ .

Общепризнанно, что для долгосрочного развития ядерной энергетики потребуется технология быстрых реакторов с замкнутым топливным циклом. Реакторы на БН реализуют один из этапов замкнутого ядерного топливного цикла, в котором к  $^{238}\text{U}$  добавляются примеси, для получения обогащенного урана  $^{235}\text{U}$ . В отработавшем ядерном топливе присутствуют опасные радионуклиды с большим периодом полураспада, но поток нейтронов высокой энергии в реакторах этого типа способен сжигать эти долгоживущие радионуклиды [3]. Это имеет огромное значение для решения проблемы обращения с радиоактивными отходами атомной энергетики.

Применив замкнутый цикл с выжиганием радионуклидов, можно решить проблему обезвреживания отходов атомной энергетики, уменьшив тем самым их объем, который подлежит захоронению.

В настоящее время на международном уровне активно разрабатываются быстрые реакторы с натриевым, свинцовым, свинцово-висмутовым, а также с газовым теплоносителем в соответствии с более высокими стандартами безопасности, устойчивости, экономики, физической защиты и устойчивости к распространению ядерного оружия [5].

Реакторы на быстрых нейтронах предлагают перспективу гораздо более эффективного использования ресурсов урана, что значительно продлит ядерно-энергетические программы и обеспечит существенные улучшения в управлении ядерными отходами. Переход атомной энергетики на быстрые реакторы позволит создать безопасную энергетическую технологию, которая в полной мере будет отвечать требованиям устойчивого развития человеческого общества и приведет к улучшению технико-экономических показателей.

#### Литература

1. Реакторы на быстрых нейтронах. [Электронный ресурс] URL: <https://www.ipp.e.ru/nuclear-power/fast-neutron-reactors> (дата обращения: 16.03.2020).
2. Плутониевый топливный цикл. [Электронный ресурс] URL: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-4/part-1/section-5/5-2> (дата обращения: 16.03.2020).

3. Митенков Ф.М. Реакторы на быстрых нейтронах и их роль в становлении «большой» атомной энергетики / Ф.М. Митенков // Наука и жизнь. – 2005. – № 3. – С. 7-8.

4. Акатов А.А. Будущее ядерной энергетики. Реакторы на быстрых нейтронах / А.А. Акатов, Ю.С. Коряковский. – М.: АНО «ИЦАО», 2012. – С. 11-15.

5. Коровкин С.В. Реакторы на быстрых нейтронах и их роль в становлении «большой» атомной энергетики / С.В. Коровкин // Атомная стратегия. – 2018. – № 140. – С. 3-4.

УДК 621.311

### **Технологии Smart Grid в атомной энергетике**

Распопов Дмитрий Алексеевич, аспирант;

Белюсов Павел Анатольевич, кандидат технических наук, доцент отделения

«Ядерной физики и технологий»

Обнинский институт атомной энергетики – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Обнинск

*В данной статье описана актуальность создания и применения Smart Grid для предприятий атомной отрасли. В статье описан эксперимент, в котором с помощью созданного прибора Smart Socket – Smart Energy были собраны данные с датчиков тока и напряжения с нескольких различных потребителей электрической энергии. Использовались методы и алгоритмы интеллектуального и спектрального анализа, метод главных компонент и современные технологии машинного обучения для разработки метода идентификации потребителя электрической энергии по характеристикам тока и напряжения.*

Проблема обеспечения требуемого уровня качества электрической энергии в электроэнергетических системах потребителей электрической энергии всегда была актуальна и на сегодняшний день не потеряла своего значения. Атомная энергетика России является частью общей энергосистемы страны. Доля атомной генерации в общем энергобалансе России в последние пять лет стабильно растёт и по итогам 2019 года составила 20,35 %.

В электрическую сеть АЭС подключено большое количество электрического оборудования. Это оборудование может стать источником нелинейных искажений и оказывать влияние не только друг на друга, но и на всю энергосистему в целом. В результате такого воздействия в электрической сети могут происходить колебания и

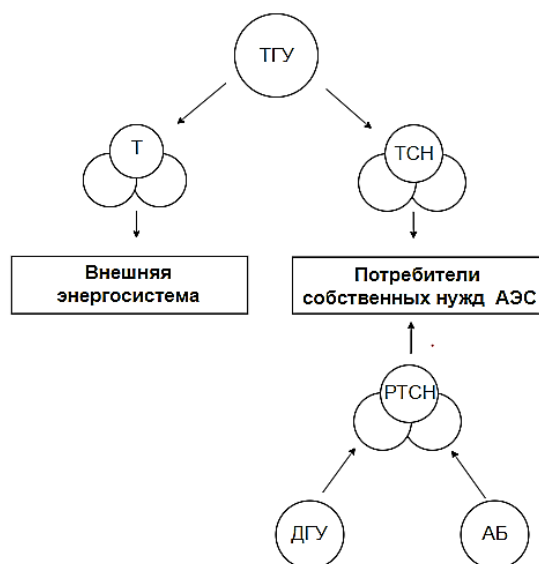
отклонения характеристик электроэнергии, которые могут приводить к коротким замыканиям, а в последствии к пожарам и связанным с ними тяжелым аварийным ситуациям.

Для минимизации последствий негативного влияния электрического оборудования друг на друга и энергосистему в целом необходимо использовать новейшие технологии, инструменты, методы и цифровые интеллектуальные решения мировой науки и техники. Одним из таких современных и быстроразвивающихся решений являются интеллектуальные сети, получившие за рубежом название «Smart Grid» [1]. «Интеллектуальное» управление электросетью обеспечивает автоматизацию, мониторинг и контроль состояния электрической сети в режиме реального времени. Интеллектуальные сети способны в режиме онлайн выполнять задачи сбора и анализа большого количества данных [2]. На АЭС такими данными являются значения, полученные с соответствующих датчиков технологических и шумовых характеристик оборудования энергосистемы.

В настоящее время процесс внедрения интеллектуальных систем электроснабжения начинает стремительно развиваться. В России можно привести уже множество примеров внедрения интеллектуальных сетей и связанных с ними положительных эффектов. Но среди всех этих примеров нет ни одного, связанного с атомной энергетикой. Именно поэтому актуальной задачей в настоящее время является внедрение интеллектуальных сетей электроснабжения на предприятия атомной отрасли. Внедрение таких систем на АЭС способно в значительной степени повысить общую энергоэффективность всей атомной отрасли.

#### АЭС с точки зрения Smart Grid

Энергетическая система АЭС состоит как из производителей (генерирующее оборудование), так и потребителей электроэнергии. На атомных станциях можно выделить 3 вида генерирующего оборудования: турбогенераторы, дизель-генераторы и внешнюю электросеть. Потребителями является все остальное оборудование и системы, которые входят в систему электроснабжения собственных нужд (СН) АЭС. Упрощенная блок-схема энергетической система АЭС приведена на рис. 1.



*Рис. 1. Упрощенная блок-схема узла энергетической системы АЭС:  
ТГУ – турбогенераторная установка; ДГУ – дизель-генераторная установка; Т – трансформатор; ТСН – трансформатор собственных нужд; РТСН – резервный трансформатор собственных нужд; АБ – аккумуляторные батареи*

По данной схеме можно заметить, что наличие на АЭС особо ответственных электроприемников, требующих повышенной надежности электроснабжения, определяет необходимость трех источников питания: ими являются генераторы АЭС, энергосистема, с которой АЭС должна иметь связь не менее чем по трем линиям, и автономный аварийный источник (ДГУ и АБ).

Нормальное электроснабжение собственных нужд (СН) на АЭС осуществляется от генераторов через трансформаторы собственных нужд (СН), которые подключаются на ответвлении от них [3]. Также обязательным является наличие выключателя у генераторов. В случае исчезновения рабочего питания, не связанного с полной потерей напряжения на АЭС, резервирование электроснабжения собственных нужд происходит от энергосистемы через соответствующие резервные трансформаторы.

Важной особенностью оборудования, входящего в состав Smart Grid систем является возможность самодиагностики, т. е. возможность производить не только контроль, но и прогнозировать состояние объекта. Реализация этой задачи особенно актуальна для контроля и прогнозирования технического состояния генерирующего оборудования на АЭС.

#### Материалы и методы

На рис. 2 показан прибор Smart Socket – Smart Energy Systems, разработанный на грант в ИАТЭ НИЯУ МИФИ, который позволяет оцифровывать данные тока и напряжения с соответствующих датчиков с максимальной частотой до 2 МГц.



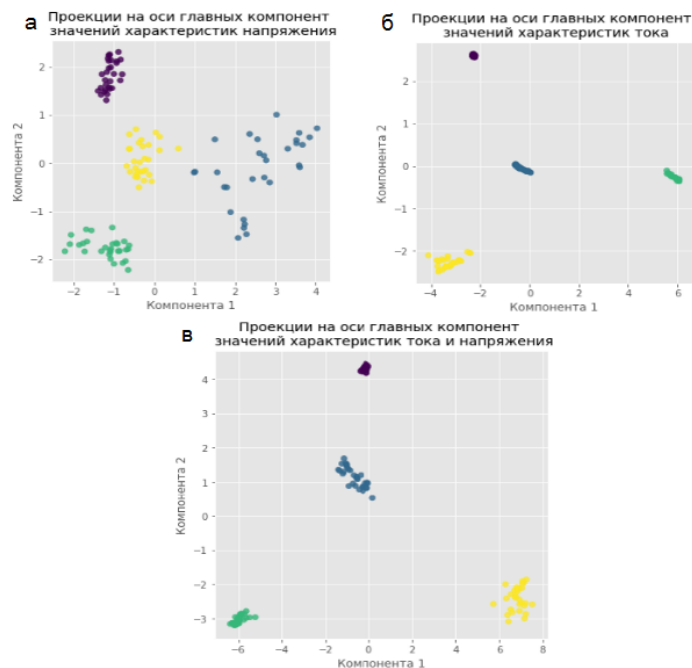
*Рис. 2. Прибор Smart Socket – Smart Energy Systems*

В качестве объектов контроля для проведения эксперимента были выбраны 4 потребителя электрической энергии. В результате эксперимента были получены данные, содержащие значения силы тока и напряжения, оцифрованные с разными частотами от 5 кГц до 2 МГц.

Во время проведения эксперимента данные о характеристиках тока и напряжения снимались с соответствующих датчиков в течении каждых 30 секунд и записывались в отдельные текстовые файлы, которые затем были преобразованы в 2 матрицы – одна со значениями для электрического сигнала напряжения, а другая со значениями для электрического сигнала силы тока для каждого электропотребителя.

#### Результаты

С помощью спектрального, корреляционного и статистического анализов, методов понижения размерности (метод главных компонент) и современных методов машинного обучения был разработан алгоритм распознавания и идентификации типа потребителя электрической энергии для интеллектуальных систем. Основной особенностью данного алгоритма являлось то, что информативными признаками в работе выступали параметры тока и напряжения, снятые с потребителей на разных частотах дискретизации и под разными нагрузками. Реализация метода главных компонент на рис. 3 ниже показывает, что данные с различных потребителей электроэнергии хорошо разбиваются на 4 кластера (сколько было и потребителей электроэнергии в эксперименте) как по параметрам тока, так и напряжения в электрической сети. Это наблюдение использовалось для реализации алгоритма идентификации электропотребителей.



*Рис. 3. Проекция на оси главных компонент информативных частот со спектров  
 а – силы тока; б – напряжения; с – силы тока и напряжения*

С помощью спектрального анализа данных из характеристик тока и напряжения были выделены информативные частоты, соответствующие пикам на спектральных характеристиках и использовавшиеся в качестве признаков для алгоритма распознавания потребителей. Затем был обучен алгоритм градиентного бустинга дерева решений XGBoost, в результате обучения которого было установлено, что наиболее информативными признаками оказались частоты, полученные с характеристик напряжения, а не тока. Эти частоты оказались следующие: 250 Гц, 1050 Гц, 150 Гц.

Главной особенностью научного исследования в данной работе является то, что идентификация типа потребителя электрической энергии, с помощью алгоритма машинного обучения XGBoost, осуществляется с использованием характеристик напряжения, а не тока. Опираясь на знание теории и законов электротехники для определения типа электропотребителя должно быть достаточно лишь данных со значениями характеристик силы тока, исходя из того факта, что чем мощнее является оборудование, тем большее количество тока оно потребляет. Но на практике очень часто случается, что в электрической сети могут присутствовать несколько одинаковых по мощности и по характеристикам электроприборов. В данной ситуации распознавание и идентификация типа потребителя невозможна лишь по значениям силы тока, и поэтому очень важно применять и другие признаки, например, информативные значения частот со спектров характеристик напряжения. Благодаря выделению таких признаков процесс идентификации типа потребителя электрической



энергии возможен при различных условиях, а с помощью современных методов машинного обучения увеличивается и оптимизируется скорость алгоритма классификации, сопровождаемая высокой точностью предсказания.

#### Литература

1. Кобец Б.Б. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции SmartGrid / Б.Б. Кобец, И.О. Волкова. – М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.
2. Лютаревич А.Г. Вопросы моделирования устройств обеспечения качества электрической энергии / А.Г. Лютаревич [и др.] // Омский научный вестник. Серия «Приборы, машины и технологии». – 2013. – № 1 (117). – С. 168-173.
3. Старшинов В.А. Электрическая часть атомных электростанций: учебно-методический комплекс / В.А. Старшинов. – Москва, 2012. – 157 с.

УДК 621.436-232.001.5

### **Сравнительный анализ норм времени при механической обработке деталей на универсальных станках и станках с ЧПУ**

Романова Анастасия Владимировна, студент специальности  
«Машиностроение»;

Кудашева Ирина Олеговна, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Атомная энергетика»

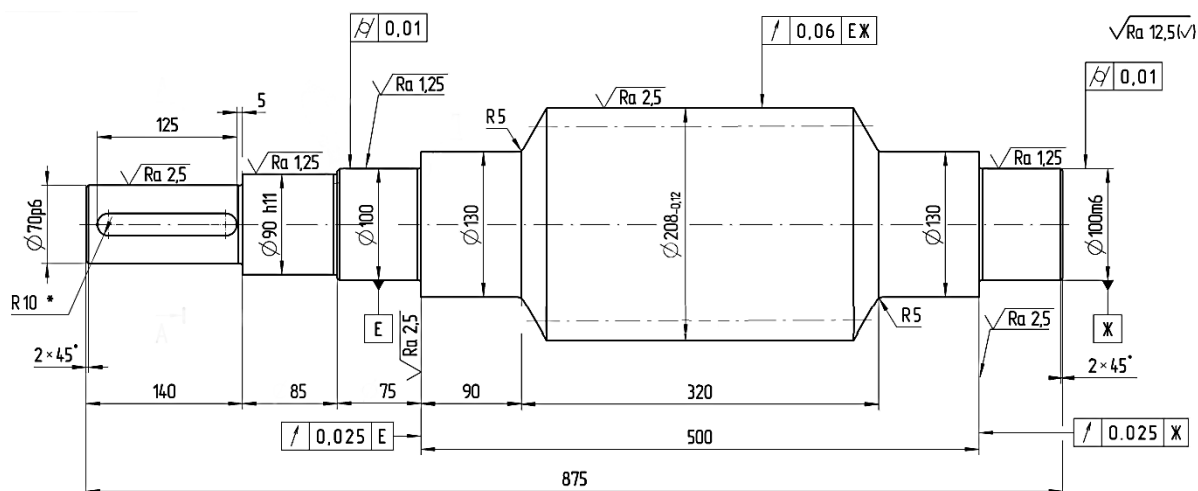
Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» г. Балаково

*В данной статье рассматривается влияние технологического оборудования на время механической обработки детали. Производится расчет и сравнительный анализ норм времени при механической обработке деталей на универсальных станках и станках с числовым программным управлением.*

Предварительно известно, что важное значение для быстрой переналадки имеет внедрение станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Данные станки позволяют обеспечить автоматизацию процесса обработки деталей, а также быструю перестройку станка с одной детали операции на другую. Станки с ЧПУ позволяют с высокой точностью обрабатывать детали сложной конфигурации. При этом от сложности обрабатываемой детали почти не зависит время наладки станка. Для

автоматизации мелкосерийного производства применяют станки с ЧПУ, которые позволяют повысить эффективность обработки за счет сокращения времени обслуживания станка и обработки детали, а также сокращение затрат на заработную плату работников, так как количество обслуживающего персонала уменьшится [1]. Целью данной работы является проверка эффективности применения станков с ЧПУ на конкретном технологическом процессе механической обработки детали «Червяк», чертеж которой представлен на рис. 1.

«Червяк» представляет собой деталь, входящую в червячную передачу. Червячная передача (зубчато-винтовая) – механическая передача, движение в которой преобразуется по принципу винтовой пары с присущим ей повышенным скольжением, осуществляющаяся зацеплением червяка и сопряженного с ним червячного колеса. Применяется для передачи вращательного движения между валами, оси которых перекрещиваются в пространстве под углом  $90^\circ$  [3]. Червячные передачи чаще всего применяются в червячных редукторах, а также подъемно-транспортных механизмах.



1. Гр. III HB 212-248 ГОСТ 8479-70
2. Поверхности витков 35...45 HRC
3. Общие допуски по ГОСТ 30893.1 : H14, h14,  $\pm IT14/2$
4. Для контроля твердости разрешается выполнить площадку на поверхности диаметра вершин витков червяка
5. \* Размер для справок

Рис. 1. Чертеж детали «Червяк»

В машиностроении нормируется время при обработке деталей, где учитывается время на нужды работника, время на обработку детали, а также время на обслуживание станка. Предприятия стараются минимизировать время обработки деталей, поэтому производят расчеты норм времени. Для того чтобы их рассчитать, необходимо знать технологический процесс изготовления детали, а также режимы резания для обработки. Технологический процесс позволяет узнать количество применяемого оборудования и инструментов, а также количество проходов на обрабатываемой поверхности.

Расчетные значения режимов резания позволяют узнать применяемые для обработки деталей подачу, скорость, глубину резания, мощность электродвигателя для обработки на данной операции, что позволяет правильно подобрать оборудование. Анализ перечисленных параметров позволяет произвести расчет норм времени с использованием стандартизированных значений.

Требования к точности определения нормы времени на операцию зависят от типа производства. Наиболее точно определяют норму времени на операцию при массовом производстве, менее точно – при серийном и приближенно – при единичном и мелкосерийном с широкой номенклатурой работ.

Используя [2] для определения общей нормы времени на механическую обработку одной детали, предварительно определяют отдельно по каждой операции норму штучного времени  $t_{шт}$ :

$$t_{шт} = t_0 + t_B + t_{т.об} + t_{о.об} + t_{\phi} \quad (1)$$

где,  $t_0$  – основное (технологическое) время, мин;  $t_B$  – вспомогательное время, мин;  $t_{т.об}$  – время на техническое обслуживание рабочего места, мин;  $t_{о.об}$  – время на организационное обслуживание рабочего места, мин;  $t_{\phi}$  – время на физические потребности, мин.

Основная формула основного (технологического) времени имеет следующий вид [2]:

$$t_0 = \frac{l_0 + l_{вр} + l_{п}}{n \cdot s} \cdot i, \text{ мин} \quad (2)$$

где,  $l_0$  – длина обрабатываемой поверхности, мм;  $l_{вр}$  – длина врезания инструмента, мм;  $l_{п}$  – длина перебега инструмента, мм;  $n$  – число оборотов шпинделя в минуту;  $s$  – подача за один оборот, мм;  $i$  – число проходов.

Сумма штучного времени по всем операциям составляет общее время обработки детали:

$$T_{шт} = \sum t_{шт}$$

Норма времени на обработку данной партии деталей  $T_{п}$  (для одной операции) определяется по формуле:

$$T_{п} = t_{шт} \cdot n + T_{п.з} \quad (3)$$

где  $n$  – количество деталей в партии, шт;  $T_{п.з}$  – подготовительно-заключительное время на всю партию деталей, мин;

Норма общего калькуляционного времени на одну штуку или штучно калькуляционного времени на операцию  $t_k$ , равна

$$t_k = \frac{T_{\Pi}}{n} = t_{шт} + \frac{T_{\Pi.з}}{n} \quad (4)$$

При обработке детали «Червяк» на универсальных станках технологический процесс имеет следующий вид:

000 Заготовительная (штамповка на ГКМ)

005 Фрезерно-центровальная (Фрезерно-центровально-обтачной станок 2Г942.18)

010 Токарная черновая (Токарно-винторезный станок 16К20)

015 Токарная чистовая (Токарно-винторезный станок 16К20)

020 Фрезерная (Шпоночно-фрезерный станок 6Д91)

025 Термообработка (закалка, отпуск)

030 Шлифовальная (Круглошлифовальный станок ME1332A)

035 Моечная

040 Контрольная

Используя формулы 1-4, рассчитаем нормы времени на фрезерно-центровальную операцию.

При фрезеровании торцов:

$$t_{о.фр} = \frac{(l_0 + l_{вр} + l_{\Pi})}{S_z \cdot z \cdot n} = \frac{100 + 2 + 105}{0,12 \cdot 8 \cdot 852} = 0,25 \text{ мин} \quad (5)$$

где  $l_{вр} = 2$  мм;  $l_{\Pi} = 105$  мм;  $l_0 = 100$  мм.

При центрировании отверстий:

$$l_{вр} = \frac{d}{2} \operatorname{ctg} 2j + (0,5 - 1,0) \quad (6)$$

$l_{вр} = 2,5$  мм;  $2j = (116 - 118^\circ)$ ;

$$t_{о.центр} = \frac{20 + 2,5}{0,08 \cdot 2517} = 0,11 \text{ мин} \quad (7)$$

Операционное время:

$$t_{оп} = t_{о.фр} + t_{о.центр} + t_B = 0,25 + 0,11 + 0,22 = 0,58 \text{ мин} \quad (8)$$

где,  $t_B = 0,22$  мин

Время на обслуживание рабочего места:  $t_{обсл} = 6$  мин

Время перерывов на отдых и личные надобности:  $t_{\phi} = 2,5$  мин

Штучное время:

$$T_{шт} = t_o + t_B + t_{обсл} + t_{\phi} = 0,58 + 0,22 + 6 + 2,5 = 9,3 \text{ мин} \quad (9)$$

Подготовительно-заключительное время на партию деталей:  $t_{\Pi-з} = 12$  мин

Определим партию запуска деталей.

$$n = \frac{N \cdot y}{r} = \frac{9780 \cdot 5}{256} = 191,02 \text{ деталей} - \text{принимаем } 191 \text{ детал.}, (10)$$

где, N – годовая программа выпуска деталей; y – количество запасных дней; r – количество рабочих дней в году.

Месячный выпуск равен:

$$m = \frac{9780}{12} = 815 \text{ деталей.} (11)$$

Штучно-калькуляционное время

$$T_{\text{шт.к.}} = t_{\text{шт}} + \frac{t_{\text{п-з}}}{n} = 9,38 + \frac{12}{158} = 9,36 \text{ мин} (12)$$

Проведем анализ технологического процесса изготовления детали «Червяк» с использованием станка с ЧПУ. Технологический процесс примет следующий вид:

000 Заготовительная (штамповка на ГКМ)

005 Фрезерно-центровая (Фрезерно-центровально-обтачной станок 2Г942.18)

010 Токарно-фрезерная-программная (Токарно-фрезерный обрабатывающий центр с ЧПУ NT 6600/4000CG)

015 Термообработка (закалка, отпуск)

020 Шлифовальная (Круглошлифовальный станок ME1332A)

025 Моечная

030 Контрольная

Расчетные формулы при нормировании операций механической обработки на станках с ЧПУ незначительно отличаются от формул нормирования операций на универсальных станках, так как к основным данным добавляются параметры, учитывающие автоматическую работу станка. Таким образом, расчет примет вид:

$$T_{\text{шт.к.}} = t_{\text{шт}} + \frac{t_{\text{пз}}}{n} = 1,09 + \frac{12}{191} = 1,15 \text{ мин} (13)$$

$$T_{\text{шт}} = (T_{\text{ца}} \cdot T_{\text{в}} \cdot k_{\text{тв}}) \cdot \left(1 + \frac{a_{\text{тех}} + a_{\text{орг}} + a_{\text{отл}}}{100}\right) (14)$$

$$T_{\text{шт}} = (0,40 \cdot 0,15 \cdot 0,93) \cdot \left(1 + \frac{11}{100}\right) = 1,09 \text{ мин} (15)$$

где  $T_{\text{ца}}$  – время цикла автоматической работы станка по программе, мин;  $T_{\text{в}} = 0,15$  – ручное вспомогательное время, мин;  $k_{\text{тв}} = 0,93$  – коэффициент ручного вспомогательного времени;  $a_{\text{тех}} + a_{\text{орг}} + a_{\text{отл}} = 6 + 2,5 + 2 = 11$  мин – время на техническое, организационное обслуживание и на отдых, и личные надобности.

Время цикла автоматической работы станка по программе:

$$T_{\text{ца}} = T_{\text{оа}} + T_{\text{мв}} = 0,16 + 0,167 = 0,40 \text{ мин} (16)$$

$T_{oa}$  – основное время автоматической работы станка по программе, мин [4]

$T_{MB} = 0,16$  мин – машинное вспомогательное время, мин;

$$T_{oa} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_{mi}} = \frac{150 + 180 + 85 + 140 + 640 + 125}{7895,8298} = 0,167 \text{ мин} \quad (17)$$

$L_i$  – длина пути, проходимого инструментом;  $S_{mi}$  – минутная подача на данном участке.

Расчетные данные сведем в табл. 1.

Таблица 1

Значения основного, вспомогательного, штучного, штучно-калькуляционного времени на всех операциях

Наименование операции	$t_o$ , МИН	$t_B$ , МИН	$T_{шт}$ , МИН	$T_{шт-к}$ , МИН
Использование универсальных станков				
005 Фрезерно-центровальная	0,58	0,22	9,3	9,38
010 Токарная черновая	0,44	0,76	10,2	10,32
015 Токарная чистовая	0,49	0,75	10,24	10,37
020 Фрезерная	1,38	1,44	23,87	24,24
025 Шлифовальная	1,63	0,64	14,27	14,35
Итого	4,52	3,81	67,88	68,66
Использование станков с ЧПУ				
005 Фрезерно-центровальная	0,58	0,22	9,3	9,36
010 Токарно-фрезерная программная	0,167	0,15	1,09	1,15
020 Шлифовальная	1,63	0,64	14,27	14,35
Итого	2,377	1,01	24,66	24,86

Суммируя полученные значения норм штучного времени, можно сделать вывод, что данную деталь можно обработать за 69 минут при использовании универсальных станков и за 25 минут – с использованием станков с ЧПУ.

Использование станка с ЧПУ на токарной и фрезерной операциях позволило за счет сокращения количества переустановов и переходов уменьшить время механической обработки детали на 44 минуты.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что даже частичное замещение универсальных станков на станки с ЧПУ приводит к значительному сокращению времени на обработку детали. Использование станка с ЧПУ дает возможность объединить операции, что позволит уменьшить время обработки за счет сокращения времени на перенос и установку заготовки на другие станки. С помощью программного управления достигается более полная загрузка оборудования. Так, при использовании универсальных станков время обработки в общих затратах времени станочника составляет в среднем около 15-25 % в смену, то на станках с ЧПУ оно

увеличивается до 50-80 %. В цехе, оборудованном универсальными станками, около 95 % времени детали ждут очереди на обработку и только 5 % времени находятся на станке. При этом лишь 1 % времени затрачивается непосредственно на ее обработку, а остальные 4 % уходят на крепление детали, перемещение узлов станка и контроль. Использование станков с ЧПУ позволяет сократить время пребывания в цехе минимум в 2-3 раза, а время производительной работы увеличить до 50 %.

#### Литература

1. Антимонов А.М. Основы технологии машиностроения / А.М. Антимонов. – Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2017. – 176 с.

2. Морозов И.М. Техническое нормирование операций механической обработки деталей / И.М. Морозов, В.И. Гузеев, С.А. Фадюшин. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 65 с.

3. Википедия (Wikipedia). Свободная энциклопедия. [Электронный ресурс] URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Червячная\\_передача](https://ru.wikipedia.org/wiki/Червячная_передача). (дата обращения: 13.04.2020).

4. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. Часть 2. – М.: Экономика, 1990. – 450 с.

УДК 621.43

### **Проблемы автономного энергоснабжения объектов военной инфраструктуры в Арктике и пути их решения**

Сайданов Виктор Олегович, доктор технических наук, профессор кафедры

«Двигатели и тепловые установки»

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева» Министерства обороны Российской Федерации,  
г. Санкт-Петербург

*Рассмотрены проблемы автономного энергоснабжения военных городков МО РФ в Арктике. Показано, что наиболее эффективными в экстремальных условиях являются системы с поливалентной структурой, включающие, кроме традиционных источников, нетрадиционные источники энергии. Сформулированы основные направления и мероприятия по совершенствованию автономных источников энергии для систем автономного энергоснабжения объектов в Арктике.*

В настоящее время в рамках реализации государственной стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации [1] для защиты арктических рубежей страны на островах Котельный (Новосибирские острова), Земля Александры (входит в архипелаг Земля Франца-Иосифа), Средний (Северная Земля), а также в поселке Рогачево (Новая Земля), на мысе Шмидта и острове Врангеля (входят в Чукотский автономный округ) развернуты военные базы межвидовых группировок Вооруженных сил Российской Федерации (ВС РФ). В их состав входят различные объекты военной инфраструктуры, в том числе административно-жилищные комплексы – военные городки замкнутого цикла.

Успешное функционирование военных городков и других объектов военной инфраструктуры обеспечивается системами автономного энергоснабжения (САЭ).

Функционально каждая такая система состоит из трех частей: электроснабжающей, теплоснабжающей и топливоснабжающей.

Первые две части, по сути, являются самостоятельными системами, обеспечивающими потребителей соответствующими видами энергии. В их состав входят автономные источники энергии (АИЭ), устройства для ее транспортирования и распределения (электрические и тепловые сети) и потребители. Подсистема топливоснабжения обеспечивает функционирование АИЭ, использующих углеводородное топливо. Согласно документам Минобороны России (МО РФ) на арктических базах должны создаваться 1,5-2 годичные запасы топлива (с учетом сезонного «Северного» завоза).

В качестве автономных источников электрической энергии (АИЭЭ) используются энергоустановки на базе поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) с самовоспламенением топлива – дизельные (ДЭУ), которые располагаются в центрах электрических нагрузок. В свою очередь, в качестве автономных источников теплоты (АИТ) используются теплогенерирующие установки (ТГУ) – котельные (КУ) с паровыми и водогрейными котлоагрегатами, которые расположены в центрах тепловых нагрузок и связаны с потребителями теплосетями, как правило, двухтрубного исполнения. Следует отметить, что трех-пятикратное преобладание доли тепловой нагрузки потребителей над электрической обуславливает более высокую долю источников теплоты в системе.

Согласно требованиям нормативного документа МО РФ по проектированию электростанций с ДВС [2] САЭ для объектов военной инфраструктуры подразделяются на три типа: САЭ с отдельной выработкой электрической энергии и теплоты (рис. 1а), комбинированная САЭ (рис. 1б) и поливалентная САЭ (рис. 1в).



Несмотря на то, что все арктические базы ВС РФ строились или реконструировались в 2014-2016 гг., их САЭ реализуют первую – самую неэффективную схему первого типа (рис. 1а). Данный вариант характеризуется отсутствием технологических связей между электроснабжающей и теплоснабжающей подсистемами, т. е. между ДГУ и ТГУ. Причем наименьшей эффективностью преобразования теплоты сгоревшего топлива в полезную работу характеризуется именно ДГУ, т. к. эффективный КПД современных ТГУ достигает 95 %, а ДГУ не более 40 %. Остальная теплота сгорания топлива ДВС выбрасывается с отработавшими газами (ОГ), которые имеют температуру 300-500 °С, и отводится системой охлаждения двигателя.

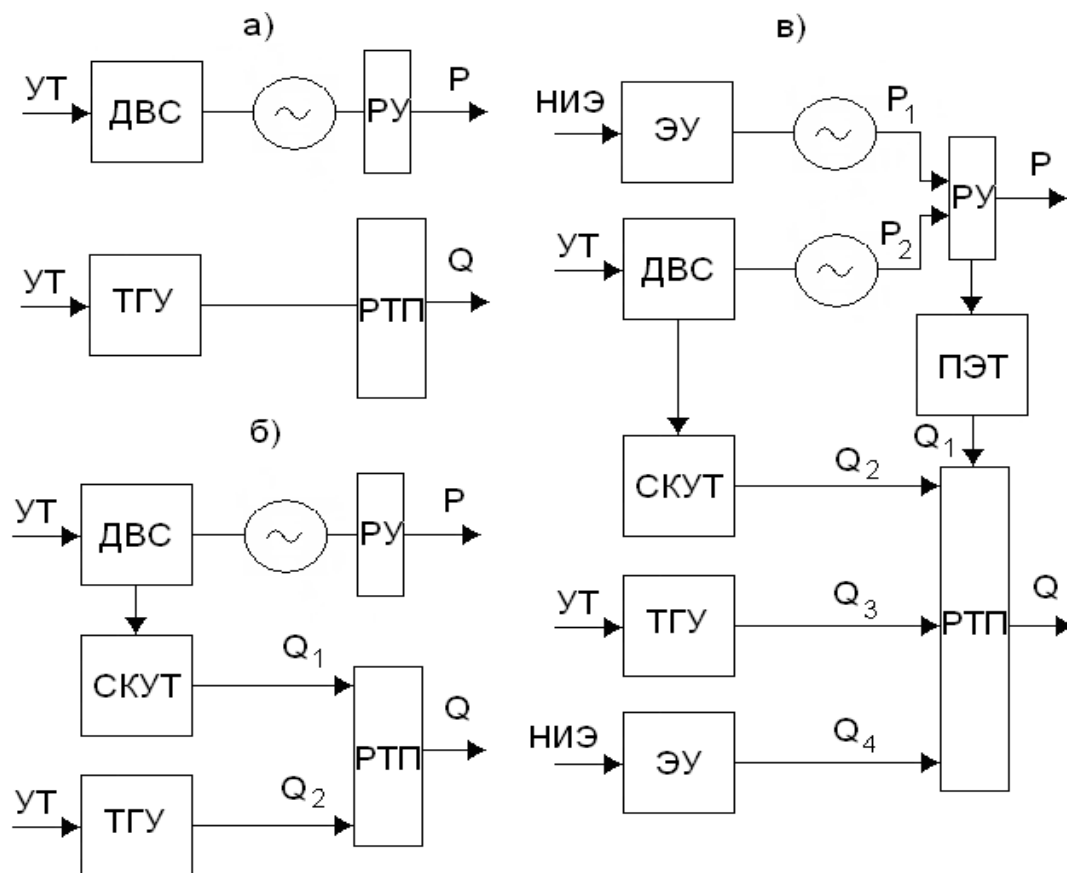


Рис. 1. Типология построения систем автономного энергоснабжения:  
 ДВС – двигатель внутреннего сгорания; РУ – распределительное устройство;  
 ТГУ – теплогенерирующая установка; РТП – распределительный тепловой пункт;  
 СКУТ – система комплексной утилизации теплоты ДВС; УТ – углеводородное топливо; НИЭ – нетрадиционный источник энергии; ЭУ – энергетическая установка, преобразующая нетрадиционные источники энергии; ПЭТ – преобразователь «некачественной» электрической энергии в теплоту; Р – электрическая энергия; Q – теплота

Более эффективным типом является схема комбинированной САЭ (рис. 1б). Здесь уже при функционировании ДЭУ полезно используется до 85 % теплоты

сгоревшего в цилиндрах топлива. Использование потерь теплоты, выделившейся при сгорании топлива в ДВС, называется утилизацией теплоты. Для этого ДВС в составе ДГУ дооборудуются системой комплексной утилизации теплоты (СКУТ) ОГ, охлаждающей жидкости (ОЖ), моторного масла (ММ) и наддувочного воздуха (НВ) ДВС. Таким образом, ДВС становятся не только автономными источниками электрической энергии, но и источниками теплоты. Объединение СКУТ ДВС и ТГУ в общую тепловую схему (рис. 1б) с единой системой управления и регулирования режимов работы позволяет добиться существенной экономии углеводородного топлива на ТГУ, т. к. часть его теплоты, которая вырабатывалась бы ТГУ замещается теплотой ОГ, ОЖ, ММ и НВ ДВС, утилизируемой СКУТ.

Почему же при проектировании САЭ арктических баз ВС РФ остановились на схеме первого типа?

Во-первых, СКУТ ДВС наиболее эффективно и надежно функционируют во всем диапазоне нагрузочных режимов при использовании в качестве топлива природного газа, который на 95-99 % состоит из метана  $\text{CH}_4$ . При сгорании метана в цилиндрах ДВС, даже при малых нагрузках и переходных режимах работы, ОГ ДВС практически не содержат веществ (сажа, аэрозоли масел и тяжелых углеводородов), загрязняющих трубные поверхности теплообменников-утилизаторов теплоты ОГ ДВС. К сожалению, использование природного газа, например, сжиженного (СПГ), в качестве топлива для всех АИЭ арктических баз ВС РФ в 2014-2016 гг. было невозможно ввиду отсутствия соответствующей инфраструктуры для его получения, хранения и доставки. Вместе с тем, сегодня возможна транспортировка СПГ с новых российских заводов на Ямале и в г. Архангельске.

Во-вторых, АИЭ арктических баз ВС РФ функционируют с резкопеременными суточными и сезонными электрическими и тепловыми нагрузками, согласно графикам потребителей. Анализ этих графиков [3] показывает, что довольно продолжительное время ДЭУ работают в области малых (менее 30 % от номинальной) нагрузок. При этих нагрузках существенно ухудшаются процессы наполнения цилиндров воздушным зарядом, распыливания, смесеобразования и сгорания дизельного топлива в цилиндрах ДВС. При уменьшении нагрузки дизеля происходит значительное сокращение подачи топлива в цилиндры и одновременно снижаются значения давления и температуры воздуха в конце сжатия. Из-за этого процесс сгорания топлива протекает достаточно медленно, часть топлива не успевает сгореть и уносится с ОГ в выпускную систему. Ухудшению сгорания топлива способствует также плохое смесеобразование топлива с воздухом, обусловленное снижением давления впрыска топлива при падении нагрузки.

Как известно, дизельное топливо представляет собой смесь легких и тяжелых углеводородов (фракций), имеющих различные температуры испарения. При работе на малых нагрузках из-за плохого распыливания и относительно низких температур в цилиндре капли топлива полностью не выгорают. При нагревании легкие фракции постепенно испаряются и сгорают, а в ядре капли остаются исключительно тяжелые высококипящие фракции, основу которых составляют ароматические углеводороды с наиболее прочной связью между атомами. Поэтому окисление их приводит к образованию промежуточных продуктов – асфальтенов и смол, медленно сгорающих и обладающих высокой липкостью, способных прочно удерживаться на металлических поверхностях. Эти продукты существенно загрязняют выхлопные трубопроводы ДЭУ и трубные поверхности утилизаторов теплоты ОГ, что приводит к существенному возрастанию их аэродинамических сопротивлений и создает угрозу пожаров при последующем повышении нагрузки. Поэтому в процессе эксплуатации СКУТ, по крайней мере утилизатор теплоты ОГ, придется часто отключать для очистки трубных поверхностей утилизаторов от загрязнений. В настоящее время разработаны конструкции котлов-утилизаторов, позволяющие с помощью специальных роликовых механизмов извлекать трубные пучки из кожухов котлов для их очистки. Такие конструкции подробно описаны в литературе, например в источнике [4]. В условиях Арктики проведение таких работ затруднено.

В-третьих, при выборе энергетических схем АИЭ в процессе проектирования продолжает использоваться стереотипно-осторожный подход к комплексированию трактов выработки электрической и тепловой энергии, обусловленный опасением снижения интегрального коэффициента готовности АИЭ при использовании поливалентных схем. Вместе с тем, исследования структурной надежности энергетических схем [5] показывают, что при корректном подходе к разработке объединяющих элементов РУ и РТП безотказность поливалентных схем выше, чем традиционных отдельных.

С целью разрешения перечисленных выше проблем в настоящее время в целом ряде организаций МО РФ проводятся исследования по адаптации ДЭУ, выпускаемых серийно промышленностью страны, к условиям Арктики, в том числе улучшению их работы на малых нагрузках. На рис. 2 представлены основные пути улучшения работы ДЭУ на малых нагрузках.

На наш взгляд, наиболее рациональными являются такие конструктивные мероприятия, как замена традиционных систем с насосным впрыском топлива на системы с аккумуляторным впрыском с электронным управлением типа «Common

Rail» или «HEUI», а также модернизация системы турбонаддува путем внедрения регистрового наддува.

Системы аккумуляторного впрыска с электронным управлением позволяют даже на режимах малых нагрузок иметь высокие значения давления впрыска (до 1800 бар) и управлять характеристиками впрыска топлива в течение рабочего цикла, тем самым увеличивая скорость и полноту его сгорания [6].

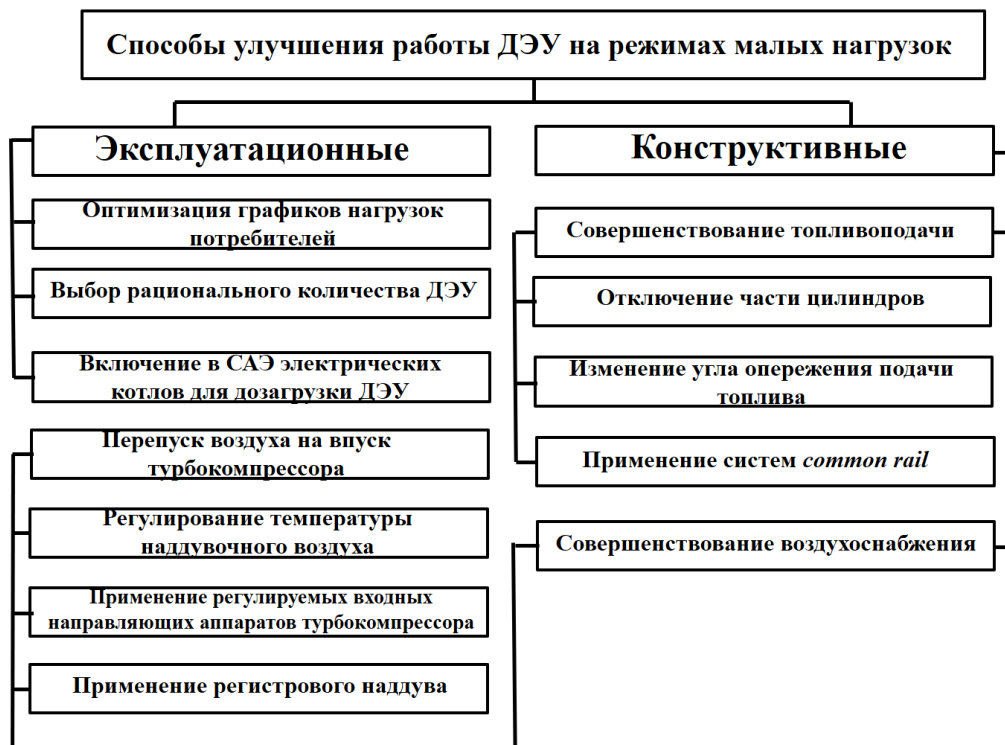


Рис. 2. Основные пути улучшения работы ДЭУ на малых нагрузках

Система регистрового наддува предусматривает использование нескольких турбокомпрессоров на одном двигателе, причем с уменьшением нагрузки происходит отключение части агрегатов наддува с помощью поворотных заслонок, что позволяет на режимах малых нагрузок сохранять высокие значения давления с одновременным уменьшением коэффициента избытка воздуха [7]. Таким образом, регистровый наддув также положительно влияет на полноту сгорания топлива на малых нагрузках.

Следует отметить, что еще одним из направлений исследований по повышению эффективности и надежности САЭ военных баз в Арктике является оценка целесообразности использования в них энергетических установок, преобразующих нетрадиционные источники энергии (ЭУ с НИЭ), прежде всего возобновляемые (солнечные фотоэлектрические панели (ФЭП), солнечные тепловые коллекторы (СТК) и ветро-электрические генераторы (ВЭГ)). В этом случае схема САЭ примет перспективный облик – третий тип технологической схемы – поливалентная САЭ (рис. 1в).

В этой схеме ЭУ с ДВС и ТГУ являются основными источниками энергии, обеспечивающими надежное энергоснабжение потребителей в любой момент времени и при любых параметрах внешних условий, а ЭУ с НИЭ служат дополнительными источниками, включение которых при определенных параметрах возобновляемых ресурсов (скорости ветра, солнечной инсоляции и т. п.) позволяет вывести из действия все или часть установленных мощностей ЭУ с ДВС и/или ТГУ, что способствует экономии углеводородного топлива и ресурса источников энергии.

Расчеты кадастровых характеристик ветра севера европейской части России [8] показывают, что наиболее перспективными с точки зрения использования энергии ветра являются как раз прибрежные районы и острова Северного ледовитого океана, где расположены военные базы МО РФ. Здесь средняя многолетняя скорость ветра на высоте 10 м составляет 5...9 м/с, причем наибольшие скорости ветра наблюдаются в холодное время года (октябрь-апрель). Поэтому использование ВЭГ в составе поливалентных САЭ наиболее предпочтительно. В настоящее время на мировом энергетическом рынке представлена широкая номенклатура ВЭГ любых мощностей (от нескольких кВт до 10 МВт). В России, к сожалению, производятся только ВЭГ малой мощности (до 50 кВт), а в состав САЭ (рис. 1в) должны входить ВЭГ соизмеримой с ДЭУ мощности (т.е. 200...500 кВт). Кроме того, серийный ВЭГ, который может эксплуатироваться в Европейской части России (средние широты), должен быть адаптирован к суровым климатическим условиям Арктики. При этом минимальный объем доработок должен включать: гидрофобное покрытие лопастей ветроколеса, замену пневматической системы торможения на электромеханическую, антикоррозионное покрытие статора и ротора генератора, применение незамерзающих «арктических» масел в системе смазки, установку системы обогрева гондолы и датчиков ветра, усиление несущей конструкции (башни).

Завершая анализ основных проблем автономного энергоснабжения арктических баз ВС РФ и путей их решения, необходимо обратить внимание на тот факт, что в качестве их АИЭЭ используются ДЭУ компании Cummins (США). В условиях введения в отношении РФ странами ЕС и США экономических и секторальных санкций эти ДЭУ лишены технической поддержки завода-изготовителя, поэтому в процессе эксплуатации возникают трудности с обеспечением запасными частями и расходными материалами. В связи с этим по мере выработки моторесурса вышеуказанными ДЭУ целесообразна их замена на отечественные аналоги, которые должны реализовать все рассмотренные в данном докладе мероприятия.

## Литература

1. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года (утв. Президентом РФ 20.02.2013 г).
2. Ведомственный свод правил ВСП 43-02-05/МО РФ: Правила проектирования стационарных электростанций с двигателями внутреннего сгорания объектов военной инфраструктуры. – М.: Изд-во Минобороны, 2006. – 93 с.
3. Системы малой энергетики. Современное состояние и перспективы развития / В.К. Аверьянов [и др.]; под ред. В.К. Аверьянова. – М.: ИД «Страховое ревю», 2008. – Т. 2. – 568 с.
4. Сайданов В.О. Комбинированные энергоустановки объектов малой энергетики / В.О. Сайданов, А.Н. Агафонов, В.Н. Гудзь. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2005. – 262 с.
5. Сайданов В.О. Оценка надежности системы децентрализованного энергоснабжения объектов военной инфраструктуры / В.О. Сайданов, А.Б. Михайлин, О.Л. Мартемьянов // Двигателестроение. – 2019. – № 4 (278). – С.32-37.
6. Тер-Мкртичян Г.Г. Особенности аккумуляторных топливных систем дизелей большой мощности / Г.Г. Тер-Мкртичян, М.В. Мазинг // Двигателестроение. – 2014. – № 2 (256). – С.11-15.
7. Рыжов В.А. Расширение области работы четырехтактного дизеля средствами систем турбонаддува / В.А. Рыжов, К.Ю. Перов // Двигателестроение. – 2003. – № 4 (218). – С. 16-18.
8. Зубарев В.В. Использование энергии ветра в районах Севера / В.В. Зубарев, В.А. Минин, И.Р. Степанов. – Л.: Наука, 1989. – 208 с.

**Расширение диапазона применения корпусных сталей  
для реакторных установок типа ВВЭР путем повышения их технологичности  
и эксплуатационной надежности**

Томилин Сергей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Машиностроения и прикладной механики»;

Колоколов Евгений Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Машиностроения и прикладной механики»

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал федерального  
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
г. Волгодонск

*В работе рассмотрено влияние технологических параметров изготовления заготовок и полуфабрикатов из сталей нового поколения: выплавка и внепечная обработка, обработка давлением, совершенствование и контроль сварочных материалов и технологий многопроходной автоматической сварки под слоем флюса – на технологичность изготовления и эксплуатационную надежность корпусных изделий реакторных установок типа ВВЭР.*

В последние годы для повышения эксплуатационной надежности корпусных материалов атомных реакторов типа ВВЭР широко применяют стали нового поколения, полученные из чистой первородной шихты на основе технологий внепечной металлургии [1, 2]. Новые стали типа 15X2НМФА и 10ГН2МФА позволяют менять химический состав в пределах технических условий [3, 4] и в зависимости от назначения обладают очень низким (в пределах тысячных долей процента) содержанием вредных элементов:  $S$ ,  $P$ ,  $Cu$ , а также легкоплавких примесей, таких как  $As$ ,  $Sn$ ,  $Sb$ . Введенные ограничения значительно снижают склонность вновь разработанных сталей к радиационному, отпускному и тепловому охрупчиванию [2] за счет резкого снижения критической температуры хрупкости ( $T_{ко}$ ). В результате удалось увеличить конкурентоспособность изделий за счет роста срока плановой гарантированной безаварийной эксплуатации реакторов нового поколения, превысившего 60 лет [1].

Проведенные исследования [1, 2] показали, что использованные в рамках металлургического передела технологические процессы обеспечивают существенное повышение технологических и служебных свойств сверхчистых сталей различного класса. Было установлено, что кроме улучшения прочностных свойств существенно возрастает пластичность при горячей деформации [2, 5]. Поковки из такого металла

обладают значительно менее выраженной анизотропией свойств и структурой, в которой отсутствуют явно выраженные строчки неметаллических включений по сравнению с заготовками, полученными традиционными способами. Строчечность неметаллических включений и слоистое строение металла, полученного по традиционной технологии, очень трудно, а зачастую и невозможно устранить при дальнейших технологических переделах. Это явление, называемое структурной наследственностью, в сталях нового поколения выражено значительно меньше. В результате новые стали приобретают и более высокое сопротивление малоциклового усталости, хорошую пластичность при горячей деформации, а также улучшенные коррозионно-химические свойства.

В комплексе, новое поколение корпусных сталей пригодно к широкому спектру применения, не ограниченному повышенным сопротивлением радиационному охрупчиванию, что и используется на практике. Так, сталь 15X2НМФА-А (класс 1) может быть использована и для днищ, и для обечаек зоны патрубков, и для фланцевых обечаек. Сталь 10ГН2МФА-А, полученную из сверхчистой шихты по выше рассмотренной технологии, используют и для корпусов, и для коллекторов парогенераторов. Высокая пластичность при горячей деформации позволяет получать длинные обечайки, осуществлять их разгибку и последующую штамповку днищ без образования дефектов. Для сравнения, стали, полученные в основных печах, после проведения рафинирующего переплава (например, 10ГН2МФА-Ш) имеют провал пластичности в интервале температур горячей деформации [5], вследствие образования вырожденной сульфидной эвтектики по границам первичных зерен при переплаве. Стали нового поколения имеют совсем другую природу неметаллических включений и не проявляют пониженную пластичность при горячей деформации [6].

При производстве должна обеспечиваться критическая температура хрупкости основного металла стали 15X2НМФА-А (класс 1) не выше  $-60$  °С. Результаты испытания показывают, что фактически данная сталь может обеспечивать  $T_{ко}$  ниже  $-100$  °С, что дает повышенный запас по радиационному охрупчиванию. Однако слабым местом являются сварные соединения, в которых такой уровень хрупкой прочности пока не обеспечивается [2]. Внедрение в повседневную практику нового поколения сталей требует внесения корректив в состав и технологии получения сварочных материалов (разработка и внедрение сверхчистых керамических флюсов и сварочных проволок, бесшовных порошковых проволок с регулируемым составом наполнителя), совершенствование технологий сварки и резкое повышение технологической дисциплины, в частности внедрение электронного контроля



сварочных процессов в производственном цикле. Последняя версия «Основных положений по сварке и наплавке» [7] пока не обеспечивает получения адекватных основному металлу характеристик. Для обеспечения запланированного в новых проектах ресурса в 60 и более лет необходимо принятие соответствующих организационных и технических решений.

#### Литература

1. Дуб А.В. Прогресс на поле технологий. Комплексный компетентный подход и своевременная смена приоритетов в развитии материаловедения / А.В. Дуб // РЭА. – 2012. – № 1. – С. 22-27.
2. Колоколов Е.И. Обеспечение конструктивной прочности сварных соединений реакторных установок посредством применения новых сварочных материалов и технологий / Е.И. Колоколов, С.А. Томилин, В.В. Шишов // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 3 (24). – С. 77-90.
3. ТУ 0893-013-00212179-2003. Заготовки из стали марок 15Х2НМФА, 15Х2НМФА-А и 15Х2НМФА, класс 1 для корпусов, крышек и других узлов реакторных установок. Технические условия. 2005.
4. ТУ 0893-014-00212179-2004. Заготовки из стали марок 10ГН2МФА, 10ГН2МФА-ВД, 10ГН2МФА-Ш, 10ГН2МФА-А для оборудования АЭС. Технические условия. 2005.
5. Подрезов Н.Н. О свариваемости теплоустойчивых сталей разной выплавки, применяемых в атомной энергетике / Н.Н. Подрезов, Ю.В. Доронин // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – № 3 (12). – С.49-53.
6. Исследование неметаллических включений в крупных слитках, производимых ПАО «Энергомашспецсталь» / М.В. Ефимов [и др.] // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер.: Металургія. – 2012. – Вип. 1-2. [Электронный ресурс] URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npdntu\\_met\\_2012\\_1-2\\_20](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npdntu_met_2012_1-2_20) (дата обращения: 15.03.2020).
7. НП-104-2018. Сварка и наплавка оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. – 2018. – 260 с.

### **Принципы конструирования паровых микромашин**

Устинов Николай Андреевич, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Атомная энергетика»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*Показано, что паровые микромашины, мощностью несколько киловатт, для утилизации отбросной теплоты предпочтительнее выполнять с мембранным рабочим элементом, передающим потенциальную энергию давления пара на линейный электрогенератор.*

По установившейся терминологии под поршневой машиной подразумевается паровой поршневой двигатель. Роторные называются паровыми двигателями, или, что еще проще, паровыми турбинами. Имея такой существенный недостаток, как высокий удельный расход топлива, по сравнению с дизелями, паровой двигатель начинает возрождаться как двигатель, для которого не требуется первичное топливо. Может работать на отходах тепловой энергии, которая используется для получения низкопотенциального пара. В таком случае нет особого смысла говорить о высоких параметрах двигателя, о его КПД или массогабаритных показателях. Не требует затрат на топливо. Так как, в основном, паровые двигатели применяются в энергетике и являются наиболее мощными двигателями из известных, в классификационных признаках отсутствует их деление по мощности. То есть нет деления на мощные, средней мощности и т. д. Энтузиасты парового «ренессанса» предлагают границы мощностей, но единодушия здесь нет. В любом случае, то, что представляет интерес для любителей, а именно малые мощности, не представляет интерес для профессионалов. По этой причине конструирование паровых машин с малой мощностью осуществляется по принципу как нравится его создателю. И, разумеется, у каждого разработчика паровая машина наилучшая. Поэтому именно ее он и рекомендует остальным.

Автор статьи имеет интерес к микромощным машинам. Конкретный интерес к машинам до 10 Ватт для туристических целей и до 50 Ватт для чрезвычайных ситуаций. Такой для него является периодическое отключение света. По этой причине и относят машины такой мощности к микромощным. Но готов согласиться и на другие значения мощности. Для автора это не принципиально. Почему паровая машина? Во-

первых, она все-таки экономичнее паровой турбины. Во-вторых, для ее работы достаточно газовой плиты. Или костра, если в полевых условиях. При этом газ дешевле бензина, да и не так шумно будет работать по сравнению с бензогенератором, который можно купить, да и в принципе запустить в квартире.

Эти же принципы можно использовать и для паровых машин, которые на малых предприятиях будут применяться с целью снижения затрат на электроэнергию, получаемую извне.

Рассмотрим известные факторы, учитываемые в классическом двигателестроении. И на их анализе наметим принципы проектирования, для получения наилучшего результата.

Мощность любой поршневой машины определяется как:

$$N_e = V * p * n * \eta_t * \eta_m / \tau, \quad (1)$$

где:  $V$  – рабочий объем цилиндра (или всех цилиндров, для многоцилиндрового двигателя);  $p$  – среднее индикаторное давление;  $n$  – частота вращения вала двигателя;  $\tau$  – тактность двигателя;  $\eta_t$  – термический КПД цикла;  $\eta_m$  – механический КПД цикла.

Среднее индикаторное давление в поршневых машинах может как равняться постоянному максимальному давлению впуска, для компаундных двигателей, так и среднеинтегральному при расширении порции пара, поданного в такт впуска.

Тактность паровой машины всегда равна двум, так как не требуются насосные ходы для воздухообмена в цилиндре.

Если есть избыток отбросной теплоты, которую предприятие вынуждено рассеивать в окружающее пространство и отсутствует необходимость выработки механической или электрической энергии в том количестве, которое можно получить за счет преобразования, однозначно, наиболее компактной машиной будет та, что работает на паре постоянного давления, который впускается в цилиндр в процессе хода расширения, без последующего компаундирования. Во всех остальных случаях габариты машины будут больше. Но и при этом есть смысл минимизировать ее габариты.

Однозначно это достигается увеличением давления в цилиндре и частотой вращения. Считается, частота вращения паровых машин редко превосходит 200 об/мин. В то же время известно, что в тридцатые годы прошлого столетия были изготовлены опытные самолеты с паровыми машинами, имеющими частоту вращения более 1000 об/мин.

Выбор рабочего давления. Чем оно меньше, тем меньше силовые нагрузки на детали машины, тем она надежнее и долговечнее. Но предлагается на его выбор взглянуть с другой стороны. В уравнении (1) содержится термический КПД двигателя,

который учитывает, в том числе, и потери теплоты через стенки цилиндра. Температуру стенок цилиндра поддерживают ее охлаждением, т. е. предусматривают потери теплоты через нее. По условиям работы смазки рекомендуется, чтобы температура поверхности зеркала цилиндра была ниже  $180^{\circ}\text{C}$ . Для микромощных машин на внутреннюю поверхность зеркала цилиндра можно наносить антифрикционный материал, как фторопласт, который выдерживает температуры до  $400^{\circ}\text{C}$ , так и пентапласт, который выдерживает температуру до  $250^{\circ}\text{C}$ . Причем у пентапласта наименьший коэффициент трения из всех пластмасс. У пластмасс малый коэффициент теплопроводности. То есть используем пар, например, с температурой  $200^{\circ}\text{C}$ , можно не охлаждать цилиндр, т. к. наличие пластмассы исключает необходимость применения смазочного масла. Тепловые потери все равно будут из-за теплопроводности, но это на порядок меньше, чем в случае использования двигателя с системой охлаждения. Таким образом, давление пара определяется выбором конструкционного материала, а именно пластмассой. Этой температуре соответствует давление насыщенного пара  $1,2\text{ МПа}$ . Чем меньше температура, тем меньше тепловые потери. Для сравнения, современные автомобильные двигатели редко имеют среднее эффективное давление выше  $1,0\text{ МПа}$ , а в среднем  $0,5\text{ МПа}$ . Это обстоятельство касается выбора верхнего предела давления пара. К выбору минимального давления пара вернемся чуть позже.

Частота вращения вала. Чем она больше, тем меньше габариты не только поршневой машины, но и электрогенератора, для привода которого и предназначена поршневая машина. С другой стороны, увеличение частоты вращения приводит к ухудшению механического КПД. Происходит это из-за того, что рост частоты вращения сопровождается ростом скорости перемещения поршня, а потери на трение пропорциональны скорости во второй степени. Необходимо определить компромисс, как увеличить частоту вращения, но при этом не выходить за предел рекомендуемой скорости перемещения поршня, которая для тихоходных машин, имеющих максимальный механический КПД, в  $10\text{ м/с}$ .

Рассмотрим, как можно увеличить объем цилиндра (1). Два пути. Первый – увеличение длины цилиндра. При этом во сколько раз увеличили длину цилиндра, во столько увеличили объем, мощность и скорость перемещения поршня. Таким образом, мощность будет возрастать, но в меньшей степени, чем увеличение объема цилиндра. Второй – увеличение диаметра. При увеличении диаметра в два раза объем цилиндра увеличивается в 4 раза. Мощность возрастает практически в четыре раза, т. к.

механические потери возрастают не в квадратичной степени, а в первой, пропорционально увеличению поверхности трения.

Если нет необходимости увеличивать мощность двигателя, то для сохранения силы давления пара на поршень его давление можно снизить в четыре раза. Таким образом, реализуя конструкцию большого диаметра, с малым ходом, можно ограничиться рабочим паром с малым давлением. То есть можно использовать пар, который обычно выбрасывается из-за бесполезности его применения. Бесполезность определяется тем, что никто не проектирует паровые машины для работы с паром малого давления. Для энергетического машиностроения это действительно нецелесообразно. Или можно использовать отбросную теплоту с малой температурой, от которой в принципе невозможно получить пар высокого давления.

Влияние рассмотренных параметров общеизвестно и не требует проверки. Отсюда можно сделать следующие выводы:

1. В случае избытка отбросной теплоты рабочий процесс необходимо реализовать на паре постоянного давления, подаваемого в течение всего хода расширения.

2. Диаметр цилиндра применять как можно большего диаметра для получения необходимого объема цилиндра.

3. Ограничением увеличения диаметра является минимально возможный ход поршня, обеспечивающий перемещение магнита относительно катушки электрогенератора, в случае применения линейного электрогенератора или радиуса кривошипа, для привода роторного электрогенератора.

4. Рабочий пар применять с температурой, не превышающей 250 °С.

Рассмотрим конструктивные размеры для паровой машины мощностью около 100 Ватт. Около, чтобы не учитывать КПД, который все равно не известен, т. к. нет экспериментальных сведений об этих параметрах. Их можно получить только на специальных стендах, которых также нет у тех, кто занимается машинами подобной мощности. То есть ни один автор, чьи работы удалось найти, их не указывал [1].

Температура отработавших газов в дымовой трубе, по условиям образования серной кислоты, не бывает ниже 150 °С. То есть отработавшие газы с такой температурой не используют. За пределами дымовой трубы данный газ можно использовать для получения водяного пара. Давление насыщенного пара при этом будет составлять 0,4 МПа. Это меньше, чем давление в колесе грузового автомобиля. Для линейного электрогенератора такой мощности ширина катушки индуктивности не может быть меньше 1 см. То есть ход магнита должен составлять 3 см. В таком случае

проще применять роторный электрогенератор, для его привода применить коленчатый вал с радиусом кривошипа 5 мм, что технологически несложно. Ход поршня при этом будет 1 см. Для согласования частоты вращения поршневой машины и электрогенератора допустимо применять мультипликатор. Механический КПД такого устройства всегда выше механического КПД тепловой машины. Повысить механический КПД паровой машины можно существенно, если скорость поршня принять на порядок меньше верхнего рекомендуемого предела. Устанавливаем скорость поршня 1 м/с. Тогда частота вращения паровой машины составит 100 об/мин. Из уравнения (1) следует, что при таких условиях объем цилиндра должен составлять  $300 \text{ см}^3$ . При ходе поршня в 1 см площадь цилиндра составит  $300 \text{ см}^2$ , а диаметр 20 см. С одной стороны, это существенный размер для столь малой мощности. Но учитывая малый ход, конструкция будет представлять собой диск, с учетом толщины деталей, размером не более 250 x 50 мм. Если исходить из увеличения объема цилиндра за счет хода поршня, то конструкция будет иметь размер 60 x 200 мм (первая цифра диаметр конструкции, вторая – высота конструкции). Выигрыш в размерах несущественный, но в первом случае площадь парораспределительных окон будет существенно больше, а значит потери энергии на перемещение пара также меньше. Для сравнения. Габариты недорогого электрогенератора мощностью 100 ватт составляют 120 x 100 мм (диаметр x высота) и вес 4 кг. С точки зрения массогабаритных показателей данная паровая машина не является выдающейся. Но по классификации паровых машин по такому показателю, как давление, достаточно выйти на машины высокого давления, а именно свыше 20 МПа, что в 50 раз больше принятого в расчете, то и рабочий объем будет не 300, а только  $6 \text{ см}^3$ . То есть при работе с высокопотенциальным паром массогабаритные показатели сразу станут высокоэффективными. Еще одним примером может быть велосипедный двигатель, с рабочим объемом  $49,5 \text{ см}^3$ , который имеет итоговый габарит, если его свести к цилиндрической конструкции 200x150 мм. Габарит обусловлен необходимостью его охлаждения. Высокая мощность велосипедного двигателя обусловлена высокой частотой вращения. Если ее снизить до 100 об/мин, как в нашем случае, то мощность будет ненамного больше 100 ватт.

Итоговый вывод. Паровая машина, как микромощный источник энергии, может составить конкуренцию привычным бензиновым двигателям внутреннего сгорания.

#### Литература

1. Фролов К.В. Двигатели внутреннего сгорания. Системы поршневых и комбинированных двигателей / К.В. Фролов. – М.: Машиностроение, 1989. - 480 с.

### Сравнительный анализ тяжеловодных реакторов типа CANDU

Чернова Наталья Михайловна, доктор технических наук, профессор кафедры

«Физика и естественнонаучные дисциплины»;

Белостропова Вероника Эдуардовна, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация, инжиниринг»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*Тяжеловодные реакторы являются сравнительно новой технологией, активно развивающейся во многих странах. В течение многих лет эти реакторы лидировали по показателям безопасности, высоким коэффициентам использования установленной мощности, низким топливным затратам и широкому диапазону других характеристик, которые в целом служат доказательством абсолютной надежности данной технологии.*

Реактор CANDU – это тип ядерного реактора, который был разработан в Канаде в 1950-х годах и в настоящее время используется на многих атомных электростанциях. CANDU расшифровывается как CANada Deuterium Uranium, поскольку он был изобретен в Канаде, в качестве замедлителя использует оксид дейтерия (также известный как тяжелая вода), а в качестве топлива – природный уран [1]. В настоящее время реакторы CANDU эксплуатируются в семи странах мира (табл. 1) и обеспечивают приблизительно 15 % электроэнергии Канады [2].

Таблица 1

Использование реактора CANDU в различных странах мира

Страна	Тип реактора	Количество	Чистая мощность (МВт)
Аргентина	CANDU	1	600
Канада	CANDU	19	13513
Китай	CANDU	2	1280
Индия	CANDU и CANDU-derived	2 + 16	277 + 3480
Пакистан	CANDU	1	125
Румыния	CANDU	2	1305
Южная Корея	CANDU	4	2579

Конструкция реактора CANDU, содержащая напорные трубки и замедлитель, называется каландрией [3]. Топливные трубки и активная зона реактора расположены горизонтально (рис. 2). В каландрии одна сторона используется для загрузки топлива, а другая для его разгрузки, что позволяет операторам вводить свежее топливо и удалять отработавшее на каждом конце канала: от 6 до 10 элементов загружаются и выгружаются каждый день. Реакторы CANDU используют топливные пучки стандартного размера. Каждый топливный пучок имеет внешний диаметр 10,2 см и длину 0,495 м, состоит из 37-43 параллельных трубок с циркониевой оболочкой, которые содержат таблетки оксида урана. В реакторе CANDU, работающем на полной номинальной мощности, каждая топливная связка выделяет около 457 кВт. Следовательно, общая тепловая мощность контура первичного охлаждения реактора составляет около 2 084 000 кВт.

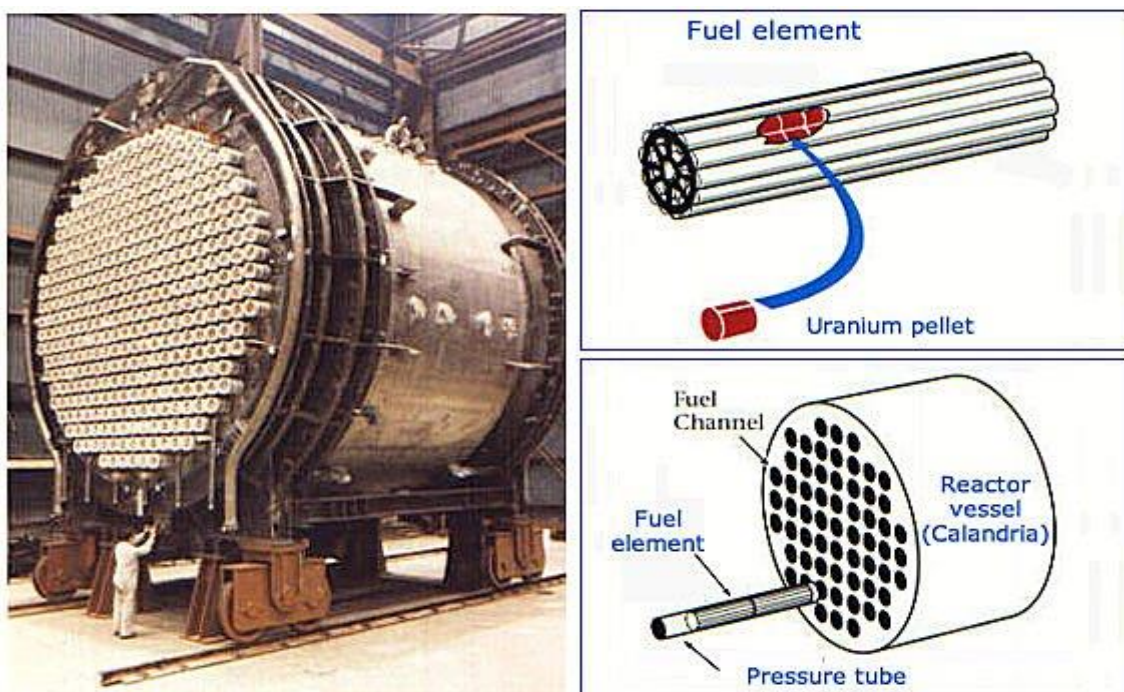


Рис. 1. Каландрия и топливные элементы

Преобразование этого тепла в электричество с помощью двухступенчатых паровых вакуумных турбин с холодным водяным охлаждением озера или моря дает около 740 000 кВт/ч электроэнергии при базовой нагрузке.

Реактор CANDU имеет 14 контрольных зон. Каждая зона имеет специальный детектор потока излучения. Выход этого детектора потока контролирует ввод управляющего стержня, так, что поток излучения в каждой зоне реактора остается почти постоянным. Таким образом, реактор вырабатывает почти постоянную тепловую мощность, а распределение тепловой нагрузки внутри реактора является почти равномерным. Когда желательно кратковременно уменьшить электрическую мощность,



передаваемую в сеть, часть произведенного пара подается непосредственно в конденсатор пара, не проходя через паровую турбину. Это дает примерно 30 %-й спад мощности, что полезно при балансировании неконтролируемой выработки электроэнергии.

Одна важная и оригинальная особенность CANDU – это погрузочно-разгрузочная машина, которая позволяет загружать или выгружать топливные элементы без остановки. С некоторой модификацией вместо природного урана в качестве топлива может использоваться обогащенный уран, смешанное топливо, торий, а также и отработавшее топливо от легководных реакторов. Реактор, использующий природный уран, может работать только с нейтронами низкой энергии, называемыми тепловыми. Задача состоит в том, чтобы получить эти тепловые нейтроны с минимальными потерями во время столкновений. Ядро дейтерия захватывает нейтроны в 600 раз реже, чем протоны обычной воды, поэтому в качестве замедлителя используется тяжелая вода.

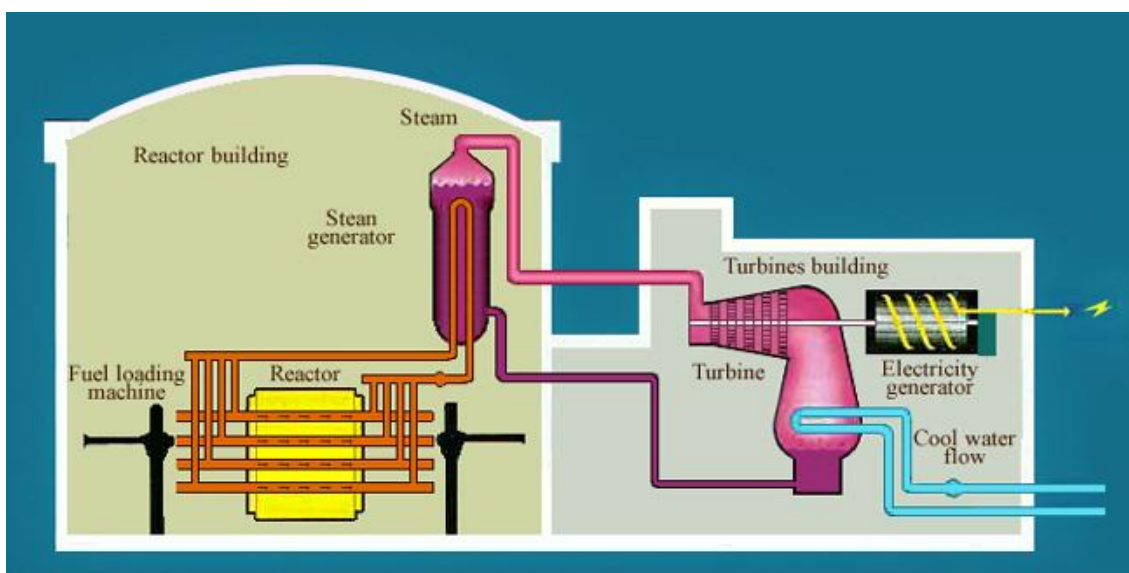


Рис. 2. Схема реактора CANDU

Скрытое преимущество реакторов CANDU заключается в том, что их пределы реактивности относительно низки, и ядерная цепная реакция может функционировать только в присутствии тяжелой воды. Эта зависимость от тяжелой воды для реактивности делает реакторы CANDU очень безопасными по сравнению с другими технологиями энергетических реакторов. Если реактор CANDU залит легкой водой (обычной водой), ядерная реакция прекращается. Пока жидкой воды достаточно для поглощения ядерного распада, тепловое расплавление топлива физически невозможно. За 50 лет эксплуатации энергетического реактора CANDU во многих странах самая серьезная авария вызвала лишь «лужу на полу». Системы безопасности не зависят от

остальной части станции, и каждый ключевой компонент безопасности имеет три резервных копии. Эта избыточность не только повышает общую безопасность системы, но также позволяет проверить систему безопасности, когда реактор работает на полной мощности.

В Канаде работают над реализацией проекта, который заключается в утилизации отработанного топлива CANDU путем его переработки через реакторы на быстрых нейтронах с жидким натриевым теплоносителем. Преимущество этой рециркуляции топлива заключается в более чем 1000-кратном сокращении токсичного срока службы отработавшего топлива и 100-кратном увеличении количества энергии, которое можно получить из килограмма природного урана.

Особенности реакторов CANDU включают в себя [4, 5]:

1. Возможность работы с природным урановым топливом обеспечивает независимость от иностранных поставок. Важность этой особенности конструкции энергетического реактора стала очевидной, когда США сообщили Канаде, что прекратят поставки высокообогащенного урана.

2. Способность работать с различными видами топлива, включая природный уран, смешанное топливо, торий, и отработавшее топливо из легководных реакторов.

3. Высокая тепловая эффективность благодаря прямому охлаждению озерной или морской водой.

4. В отличие от большинства других типов реакторов, реактор CANDU не нужно останавливать для заправки топлива при работе на полной мощности. Поскольку природный уран содержит только 0,7 % делящегося изотопа  $^{235}\text{U}$ , активная зона реактора рассчитана на постоянную загрузку свежего топлива, заменяющего отработавшее. Это не похоже на легководные реакторы, такие как PWR, где обогащенное топливо заменяется на треть каждый год.

5. Собственная безопасность. Если происходит значительная потеря тяжелой воды, реакции деления прекращаются, поскольку реактор становится докритическим. Тем не менее, поддерживается некоторый поток охлаждающей воды для отвода тепла от распада продукта деления.

6. Возможность использования легкой воды для аварийного отключения и аварийного отвода тепла.

7. Натуральное урановое топливо CANDU с циркониевой оболочкой простое, недорогое в изготовлении и практически не подверженное риску горения.

8. Низкотемпературная (<320 градусов  $^{\circ}\text{C}$ ) работа позволяет использовать эластомерные трубы, что упрощает техническое обслуживание реактора.

9. Длительная безаварийная эксплуатационная история (более 50 лет работы) продемонстрировала безопасность технологии CANDU. Проектный срок службы правильно обслуживаемого реактора CANDU составляет 60 лет. Обычно в течение проектного срока службы реактора происходят два изменения: топливного канала и канала замедлителя.

Однако пятьдесят лет практической эксплуатации показали, что реакторы CANDU, несмотря на превосходную работу по обеспечению базовой электрической нагрузки, имеют свои практические ограничения и недостатки:

1. Использование тяжелой воды как в качестве основного теплоносителя, так и в качестве замедлителя означает, что начальные капитальные затраты на реактор CANDU относительно высоки по сравнению с легководными реакторами. Тяжелая вода стоит дорого, поэтому в реакторах CANDU используется сложное оборудование, обеспечивающее практически полное извлечение разлитой или просочившейся тяжелой воды.

2. В дизайне таких реакторов используется большое количество труб и их соединений, что в совокупности способствует затратам на строительство и обслуживание реактора.

3. Использование тяжелой воды в высоком потоке нейтронов приводит к образованию трития [6]. Тритированная вода потенциально опасна, потому что она легко поглощается биологическими системами. Тритий является изотопом водорода, который, если он присутствует в виде газа в значительных количествах, может способствовать растрескиванию труб под давлением.

4. Использование прямого водяного охлаждения озера или моря влияет на морскую среду, а также ограничивает выбор площадки для размещения реактора. Реакторы CANDU более позднего поколения используют ограждения для охлаждающей воды, которые сводят к минимуму воздействие на морскую флору. Однако прямое рассеивание большого количества тепла в водоемах повысило температуру поверхности и уменьшило ледяной покров зимой.

5. При отсутствии прямого холодного охлаждения озерной или морской воды общая тепловая эффективность атомной электростанции CANDU является низкой по сравнению с электростанцией, работающей на природном газе. Существует возможность как для повышения теплового КПД, так и для уменьшения связанных с морской средой проблем путем использования жидкого натрия в качестве основного теплоносителя и использования радиаторов градирни и теплоцентралей.

6. Реакторы CANDU производят относительно большое количество высокоактивных ядерных отходов. В принципе, эти отходы могут быть переработаны и затем использованы в реакторе на быстрых нейтронах, но в течение десяти лет эта проблема осталась нерешенной. Реакторы CANDU должны быть дополнены реакторами на быстрых нейтронах с жидким натриевым охлаждением как для эффективного использования природного урана, так и для надлежащего захоронения ядерных отходов.

7. Использование прямого водяного охлаждения требует, чтобы реактор CANDU был расположен близко к уровню озера или моря. Следовательно, конструкция реактора должна быть в состоянии безопасно противостоять цунами, а также сдерживать выбросы радиоактивных паров тяжелой воды под высоким давлением. Эти два требования привели к тому, что конструкции реакторов CANDU содержат большое количество бетона. Существует возможность решить эту проблему за счет использования конструкции реактора с жидким натриевым охлаждением, который не требует прямого охлаждения водой в озере и не может производить радиоактивный пар.

8. Реакторы CANDU могут способствовать распространению ядерного оружия. Возможность разгрузки в любой момент топливного элемента позволяет осуществлять раннюю выгрузку топлива, в котором имеется значительное содержание оружейного  $^{239}\text{Pu}$ . Например, Индия и Пакистан в свое время не подписывали договор о нераспространении ядерного оружия и не проходили проверок, проводимыми МАГАТЭ, при этом обладая реакторами типа CANDU. Обе страны, вполне возможно, воспользовавшись положением, пополняли свои ядерные арсеналы.

Таким образом, в качестве системы производства электроэнергии коммерческие тяжеловодные реакторы продемонстрировали целый ряд преимуществ и доказали, что они являются жизнеспособной альтернативой легководных реакторов.

#### Литература

1. CANDU technology // Nuclear Waste Management Organization. [Электронный ресурс] URL: <https://cna.ca/technology/energy/candu-technology> (дата обращения: 12.04.2020).

2. CANDU Reactors // Department of Physics and Astronomy, University of British Columbia, June 2002. [Электронный ресурс] URL: <https://teachnuclear.ca/all-things-nuclear/nuclear-energy/candu-reactors> (дата обращения: 10.04.2020).

3. CANDU Canada Deuterium Uranium (Тип реактора PHWR). [Электронный ресурс] URL: <https://lektsia.com/2x8696.html> (дата обращения: 12.04.2020).

4. Липсетт Дж. Дж. Передовая технология и усовершенствованная конструкция тяжеловодных реакторов / Дж. Дж. Липсетт, Дж. Т. Данн // Бюллетень МАГАТЭ. – 1989. – № 3. – С. 24-27.

5. Реакторы новых типов. [Электронный ресурс] URL: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-4/part-1/section-7/7-1> (дата обращения: 12.04.2020).

6. CANDU – затянувшийся эксперимент или энергетический реактор. [Электронный ресурс] URL: <http://www.atominfo.ru/news/air4644.htm> (дата обращения: 12.04.2020).

УДК 67.05

**Устройство для осуществления крепления трубных стальных свай в опорном основании морских гидротехнических сооружений**

Чмаль Иван Сергеевич, инженер-конструктор 1 категории;

Дикарев Сергей Валентинович, главный конструктор по оборудованию для АЭС

Акционерное общество «ТЯЖМАШ», г. Сызрань

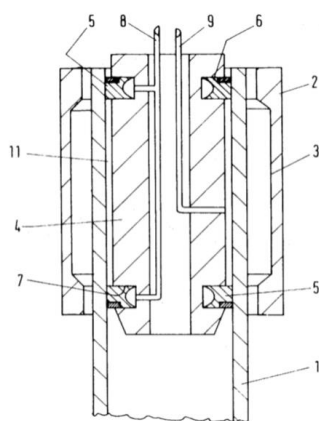
*В данной статье проанализированы конкурентные аналоги устройств для осуществления крепления трубных стальных свай в опорном основании морских гидротехнических сооружений, предложена авторская конструкция, отвечающая требованиям патентной чистоты и обладающая значительными конструктивными и технологическими преимуществами. Определены высокая актуальность разработки и важность в рамках развития добывающей промышленности РФ.*

В настоящее время одним из актуальных направлений развития отечественной промышленности является развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений [1]. По оценкам экспертов, шельфовые запасы составляют 25 % (для нефти) и 50 % (для газа) от общих запасов Российской Федерации. Географическая структура шельфовых месторождений нашей страны говорит о том, что к морям Северного Ледовитого океана (Баренцево, Карское и т. д.) относится 84 % месторождений, к Охотскому морю – 15 % месторождений, и лишь менее 1 % – к Балтийскому и Каспийскому морям. Разведанные в настоящий момент запасы на шельфе Северного Ледовитого океана составляют четверть от общемировых запасов углеводородов. В сложившихся условиях, когда углеводороды, обеспечивающие 20 % внутреннего ВВП РФ, являются основными компонентами в структуре отечественного

экспорта и обеспечивают более 50 % его доходов, разработка шельфовых месторождений углеводородов становится стратегически важной задачей развития [2].

Так как основная часть шельфовых месторождений РФ относится к бассейну Северного Ледовитого океана, то их освоение осложняется суровыми климатическими условиями и требует использования особого типа морских гидротехнических сооружений. Наиболее распространена практика применения ледостойких стационарных платформ (ЛСП). Процесс фиксации ЛСП осуществляется посредством забивки трубных стальных свай через направляющие гильзы опорного основания ледостойкой стационарной платформы с последующей реализацией процесса крепления (раздачи) свай в соответствующие проточки гильз посредством деформации материала свай.

Долгое время представителями нефтегазовой отрасли использовалась продукция американской компании OilStatesInternational, представляющая собой устройство, опускаемое внутрь сваи на необходимую глубину, фиксируемое с помощью уплотняющих элементов, обеспечивая наличие герметичной полости внутри сваи в области нахождения проточки направляющей гильзы. После завершения процесса базирования устройства в полость подается вода под высоким давлением, обеспечивая крепление трубной стальной сваи в проточке гильзы посредством раздачи материала сваи (рис. 1) [3].



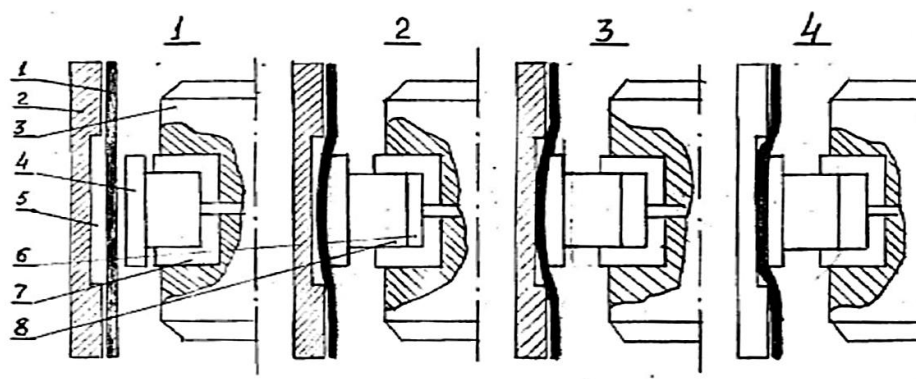
*Рис. 1. Схема процесса крепления трубных стальных свай в гильзах направляющих опорного основания морских стационарных сооружений с помощью устройства, выполненного по патенту US4501514: 1 – трубная стальная свая; 2 – гильза направляющая; 3 – кольцевая проточка гильзы направляющей; 4 – корпус устройства; 5 – уплотняющие элементы; 6, 7 – верхняя/нижняя проточка для фиксации уплотняющих элементов в корпусе устройства; 8 – каналы подачи морской воды в зоны под уплотнениями; 9 – каналы подачи морской воды в рабочую полость*

Затем данный процесс повторяется на второй проточке. Объективно в качестве весомого преимущества конструкции можно выделить возможность использования

соленой морской воды в качестве расходных материалов, что обуславливает высокий уровень экологичности конструкции, а также тот факт, что при использовании данного устройства обеспечивается равномерная раздача трубной стальной сваи по всей длине окружности круговой проточки направляющей гильзы.

Весомыми недостатками американской конструкции являются высокие требования к резинотехническим компонентам устройства и низкая износостойкость уплотнительных элементов, которая в высокой степени зависит от качества поверхности внутренней стенки гильзы направляющей, а также может быть снижена в результате попадания в зону уплотнения инородных элементов, что в суровых климатических условиях эксплуатации данного типа оборудования более чем возможно. Важным аспектом является относительно невысокая степень унификации устройства на предмет обеспечения крепления свай с разной толщиной стенок, что требует дополнительной оснастки и дополнительных подготовительных операций при переходе к сваям другого типоразмера. Однако, ключевым аспектом неактуальности данной разработки для отечественных компаний выступили санкции по отношению к РФ, которые стали причиной отказа компанией OilStatesInternational от поставки данного оборудования отечественным компаниям.

Столкнувшись с вышеобозначенными проблемами, ООО «Красноярскгазпромнефтегазпроект» разработало собственную конструкцию вышеупомянутого устройства [4].  $N$  – число гидродомкратов, оснащенных профильными накладками в виде цилиндрического сектора и установленных на специальной оправке, обеспечивают крепление свай в проточках направляющих гильз (рис. 2).



*Рис. 2. Последовательность процессов, протекающих при разжипе сваи устройством, выполненным по патенту RU 2689471 в направляющей гильзе: 1 – свая; 2 – направляющая гильза; 3 – корпус устройства для разжима сваи; 4 – накладки штоков гидравлических домкратов; 5 – внутренняя проточка направляющей гильзы; 6 – гидросистема домкратов; 7 – гидравлический домкрат; 8 – шток гидравлического домкрата*

Однако данная конструкция является малоэффективной и нетехнологичной. Среди явных недостатков конструкции стоит отметить тот факт, что данное устройство реализует местное воздействие на внутреннюю стенку сваи в процессе крепления в направляющих гильзах опорного основания и не обеспечивает равномерную раздачу трубы по всей длине окружности, что уменьшает надежность закрепления. Разработка проектной организации обладает низким уровнем унификации (аналогично конструкции по патенту US4501514), а также отсутствуют конструктивные решения, обеспечивающие базирование устройства в рабочем положении. Пожалуй, достоинством конструкции можно признать использование унифицированных исполнительных механизмов, однако первичная проработка показала, что при использовании серийных гидродомкратов существует возможность использовать не более шести исполнительных элементов в одном устройстве, что определяет величину углового сектора в  $60^{\circ}$ , приходящуюся на один исполнительный орган и предопределяет наличие значительной консольной нагрузки на штоки гидроцилиндров, а значит требует высоких показателей жесткости профильных накладок, а также многократных переустановок в угловом направлении.

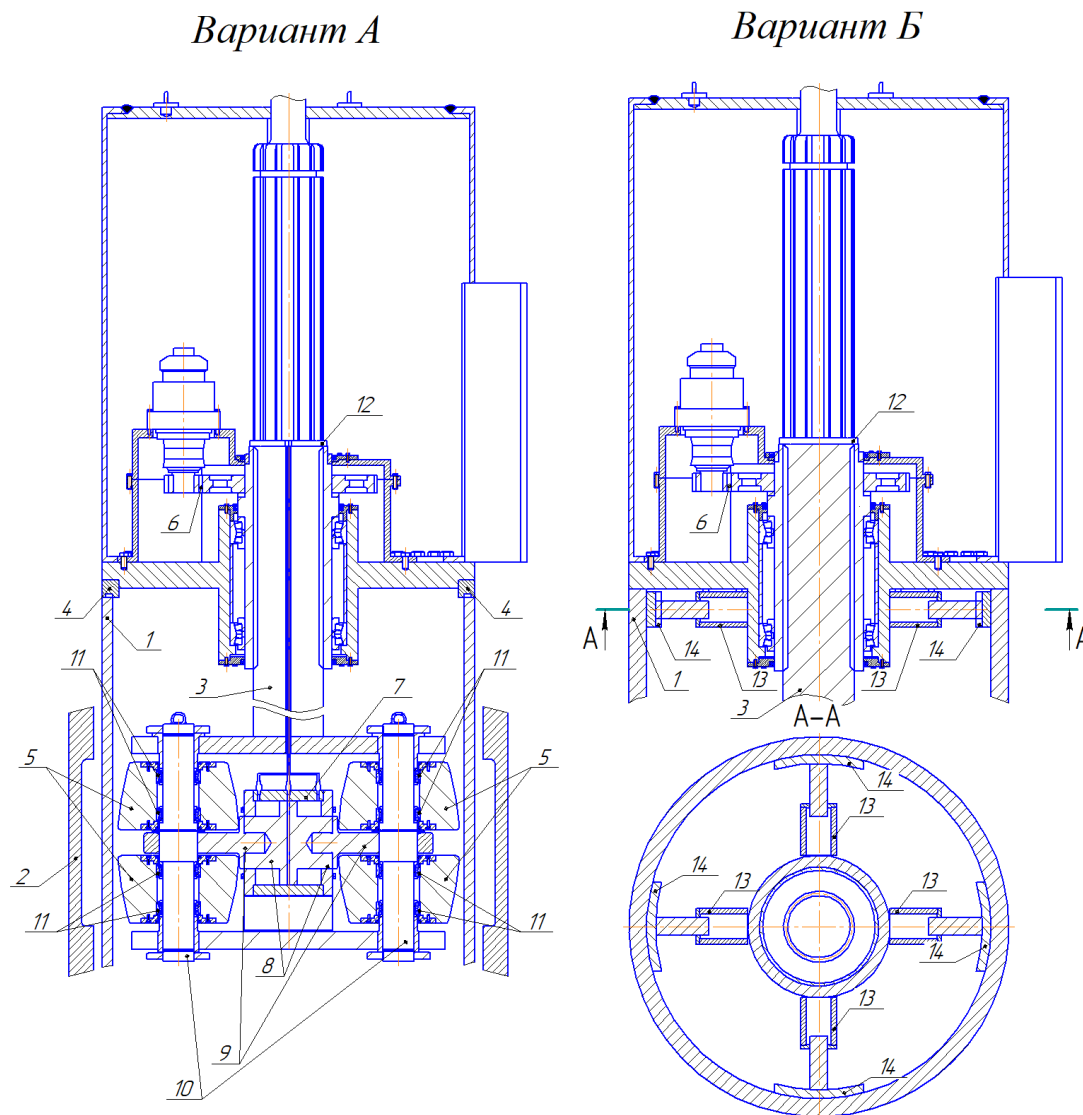
С целью устранения имеющихся недостатков нами была разработана оригинальная и отвечающая требованиям патентной чистоты конструкция устройства, оснащенного исполнительным органом, представляющим собой гидроцилиндр, сообщающий радиальное перемещение блокам раскатных роликов и приводным механизмам, сообщающим исполнительному органу вращательное движение относительно оси сваи (рис. 3) [5].

При использовании разработанного устройства обеспечивается равномерная пластическая деформация материала сваи по всей длине окружности круговой проточки в направляющей гильзе геометрией, соответствующей профилю раскатных роликов, а также имеет место наличие цилиндрического участка соприкосновения наружной поверхности стенки сваи с внутренней поверхностью круговой проточки направляющей гильзы, что увеличивает прочность соединения в осевом направлении.

При этом предлагается два типа механизма фиксации устройства от проворота в свае во время работы. Первый из них вариант А (рис. 3) представляет собой шпонки, устанавливаемые на опорном основании, которые в процессе базирования устройства должны совпасть с заранее выполненными шпоночными пазами на торце сваи. Данный метод применим лишь в тех случаях, когда имеются относительно свободный доступ к торцу трубной стальной сваи и технологическая



возможность выполнения необходимых шпоночных пазов. Когда данных возможностей нет, необходим к применению вариант Б (рис. 3). Альтернативное исполнение механизма предотвращения проворота устройства во время работы подразумевает наличие нескольких гидроцилиндров, которые оснащены накладками в виде цилиндрического сектора, соответствующего геометрии внутренней стенки сваи.



*Рис. 3. Схема устройства, оборудованного раскатными роликами, приводным механизмом и механизмом подачи, обеспечивающего крепление сваи во внутренних круговых проточках направляющих гильз:*

*1 – трубная стальная свая; 2 – направляющая гильза; 3 – вал шлицевый; 4 – шпонка; 5 – раскатной ролик; 6 – приводной механизм; 7 – гидроцилиндр; 8 – шток гидроцилиндра; 9 – вилка; 10 – ось; 11 – подшипник; 12 – разъемное стопорное кольцо; 13 – гидроцилиндр механизма фиксации; 14 – накладка штока*

Процесс крепления трубных стальных свай начинается с установки устройства в рабочем положении № 1 на торец свай и фиксации от возможного

поворота вовремя (любым из предложенных способов). Рабочее положение № 1 характеризуется тем, что раскатные ролики располагаются симметрично относительно горизонтальной плоскости, проходящей через середину внутренней круговой проточки направляющей гильзы. Посредством привода, который в разработанной модели представлен гидромотором-редуктором, зубчатой передачей и шлицевой парой, роликам сообщают вращательное движение относительно оси сваи. Далее создают давление в гидросистеме гидроцилиндра, при этом штоки сообщают раскатным роликам радиальное перемещение по отношению к оси сваи, ролики давят на внутреннюю поверхность сваи до достижения давлением величины, при которой напряжение в теле трубной сваи достигает предела текучести материала сваи. Таким образом, комбинация двух движений – вращательного и поступательного – обеспечивает равномерную пластическую деформацию материала сваи по всей длине окружности круговой проточки в направляющей гильзе геометрией, соответствующей профилю раскатных роликов. При этом зазор в вертикальной плоскости между роликами обеспечивает образование цилиндрического участка соприкосновения наружной поверхности стенки сваи с внутренней поверхностью круговой проточки направляющей гильзы.

Контроль над процессом разжима материала сваи осуществляют по изменению давления в гидросистеме гидроцилиндра и величины крутящего момента, по окончании процесса деформации штоки вместе с роликами возвращаются в исходное положение. Затем устройство переводится в рабочее положение № 2 и аналогичным образом реализуется процесс крепления трубной стальной сваи во второй проточке, после осуществляют подъем устройства.

Предлагаемая конструкция эффективна и отличается высоким уровнем унификации по отношению к различным типоразмерам свай на предмет изменения толщины. В случае использования гильз с иной геометрией проточек необходима лишь замена быстросъемных блоков роликов при условии, что силовой механизм спроектирован исходя из максимальных нагрузок. Разработанная конструкция устройства в сравнении с аналогами является воплощением имеющихся достоинств конкурентов. Пожалуй, единственным недостатком конструкции можно считать ее высокую металлоемкость, однако использование современных приводов и силовых агрегатов (н-р, продемонстрированный вариант с использованием комплексного устройства в виде гидромотора-редуктора) наряду с использованием методов обработки и улучшения механических свойств деталей

могут позволить значительно сократить массу устройства на стадии детальной проработки компоновки устройства.

Таким образом, результаты научно-исследовательской работы не только отвечают высоким техническим требованиям, но и имеют высокую актуальность на отечественном рынке, что обусловлено политической и экономической обстановкой, отсутствием конкурентов и высокой заинтересованностью представителей нефтегазового сектора в реализации стратегии импортозамещения. Указанные выше факторы в совокупности способствуют минимизации экономических барьеров вхождения на рынок, а отличные технические характеристики разработанного устройства позволяют значительно упростить процесс крепления морских гидротехнических сооружений и повысить его эффективность. Освоение шельфовых месторождений углеводородов является актуальным вектором развития нашей страны и продукт проведенной работы позволяет решить одну из узких проблем на пути эффективного развития добывающей промышленности РФ.

#### Литература

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 28.03.2019 г. № 34528 марта 2019 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 304». [Электронный ресурс] URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_321504/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_321504/) (дата обращения: 20.04.2020).

2. Осадчий А. Нефть и газ российского шельфа: оценки и прогнозы / А. Осадчий // Наука и жизнь. – 2020. – № 4. [Электронный ресурс] URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/6334/> (дата обращения: 20.04.2020).

3. United States Patent 4501514 от 26.02.1985. [Электронный ресурс] URL: <https://pdfpiw.uspto.gov/.piwPageNum=0&docid=04501514&IDKey=D06965979847%0D%0A&HomeUrl=http%3A%2F%2Fpatft.uspto.gov%2Fnetacgi%2FnphParser%3FSect1%3DPTO2%2526Sect2%3DHITOFF%2526p%3D1%2526u%3D%25252Fnethtml%25252FPTO%25252Fsearchbool.html%2526r%3D1%2526f%3DG%2526l%3D50%2526co1%3DAND%2526d%3DPTXT%2526s1%3D4501514.PN.%2526OS%3DPN%2F4501514%2526RS%3DPN%2F4501514> (дата обращения: 20.04.2020).

4. RU 2689471 C1 от 01.08.2018. [Электронный ресурс] URL: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2689471&TypeFile=html](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2689471&TypeFile=html) (дата обращения: 20.04.2020).

5. RU 2019145735U от 31.12.2019. [Электронный ресурс] URL: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet) (дата обращения: 20.04.2020).

УДК 004.946

**Применение виртуальной и дополненной реальности  
в образовательном процессе**

Щеголев Сергей Сергеевич, доцент кафедры

«Атомная энергетика»;

Мотков Александр Геннадьевич, ассистент кафедры

«Информатика и управление в технических системах»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*Рассмотрены возможности применения виртуальной и дополненной реальности в рамках образовательного процесса на примере создания виртуальной лаборатории для шлема виртуальной реальности.*

В настоящее время имеется большой выбор лабораторных установок и стендов, применяемых в образовательном процессе. Однако стоимость оборудования зачастую напрямую зависит от перечня возможностей и подготовить полноценное рабочее место студента обременительно в финансовом плане. При этом подготовка грамотного специалиста подразумевает его обучение на передовом оборудовании. Учитывая, что прогресс не стоит на месте, необходимо, чтобы будущий специалист использовал в процессе обучения именно такие технологии, иначе нельзя гарантировать его востребованность после окончания обучения.

Таким образом, необходимо не только создать качественную лабораторную базу для процесса обучения, но и следить за тенденциями развития для ее своевременного обновления и переоснащения.

С другой стороны, ряд технологических процессов может быть растянут во времени или опасен для воспроизведения в учебных условиях. Оставить без внимания такие темы не представляется возможным, так как этого требует рассматриваемая область знаний. Решением зачастую является изучение только теоретических аспектов подобных тем без закрепления на практике. Однако для будущей профессии требуются именно практические навыки.

Решением описанных особенностей образовательного процесса может быть создание на базе вуза виртуальных лабораторий с применением средств дополненной и виртуальной реальности.

Виртуальная реальность – созданная техническими средствами сцена или совокупность сцен, передаваемых человеку через его ощущения: зрение, слух, осязание и другие. Виртуальная реальность имитирует как воздействие, так и реакции на воздействие. Для создания комплекса ощущений, компьютерный синтез свойств и реакций виртуальной реальности производится в ответ на действия пользователя.

Дополненная реальность – результат введения в поле восприятия любых сенсорных данных с целью дополнения сведений об окружении и улучшения восприятия информации.

Таким образом, виртуальная реальность предлагает цифровое воспроизведение реальной обстановки жизни, в то время как дополненная реальность обеспечивает виртуальные элементы в виде наложения слоев на реальный мир. В случае полного моделирования лабораторных стендов необходимо использование именно виртуальной реальности.

К положительным аспектам внедрения технологий виртуальной реальности можно отнести:

1. Стоимость оснащения лаборатории подобным оборудованием сопоставима, а зачастую дешевле покупки лабораторного стенда. В одной лаборатории возможно проведение различных по направлению лабораторных работ. Для этого необходимо запустить нужный программный продукт.

2. Актуальность лабораторного оборудования зависит от установленного программного обеспечения. Изменение лабораторных работ под меняющиеся особенности в изучении того или иного предмета не требует покупки нового оборудования. Для актуализации виртуального лабораторного стенда необходима корректировка исходного кода программного продукта.

3. Создание дополнительного рабочего места студента не требует покупки нового стенда. Масштабирование виртуальных лабораторий, в случае необходимости, заключается в приобретении дополнительного комплекта оборудования виртуальной реальности и установки на него уже созданного программного продукта. Такой подход позволяет экономить существенные средства и не требует долгой настройки.

4. Безопасность при проведении лабораторных работ достигается за счет моделирования всех процессов. Студент не взаимодействует с реальными объектами,

представляющими потенциальную опасность для его жизни и здоровья. Становится возможным проведение любых экспериментов.

5. Изучение длительных во времени экспериментов за счет возможности ускорения моделируемого процесса.

Для демонстрации возможностей виртуальной реальности в образовательном процессе разработан программный продукт, направленный на ознакомление с двумя лабораторными стендами по дисциплинам «Теоретические основы электротехники» и «Теория автоматического управления».

Созданы сферические панорамы подобных стендов в виде разверток, представленных на рис. 1 и 2.



*Рис. 1. Сферическая панорама лабораторного стенда по дисциплине «Теоретические основы электротехники»*



*Рис. 2. Сферическая панорама лабораторного стенда по дисциплине «Теория автоматического управления»*

Реализация виртуальной лаборатории происходит в среде разработки Unity с помощью набора средств разработки OculusMobileSDK для операционной системы Android, которая установлена в очках виртуальной реальности OculusGo.

При построении сцены виртуальной лаборатории используется стандартный префаб OVRCameraRig, который позволяет контролировать направление взгляда пользователя и корректно визуализировать сцену в линзах очков. При этом само помещение реализовано с помощью специального контроллера, который развёртывает панораму корректно без визуально склеенных мест (рис. 3).



*Рис. 3. Пример отображения сцены в шлеме виртуальной реальности*

Новые сцены возможно создавать при помощи разработанного скрипта, непосредственно из визуальной оболочки Unity, без дополнительного программирования. Переключение сцен происходит с помощью свайпа по сенсорной панели контроллера, при этом текущая сцена уничтожается и строится новая, с сохранением точки взгляда пользователя, а сам переход выполнен с использованием Animator. Реализация интерфейса осуществляется с помощью вычисления луча камеры и курсора.

#### Литература

1. OculusDocumentation. [Электронный ресурс] URL: <https://developer.oculus.com/documentation/> (дата обращения: 20.04.2020).
2. UnityUserManual (2019.3). [Электронный ресурс] URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html> (дата обращения: 20.04.2020).

**СЕКЦИЯ 2**  
**«ИТ-ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ»**

УДК 378.147

**К вопросу об использовании ИТ-технологий в образовательных программах  
высшей школы**

Антропова Татьяна Владимировна, старший преподаватель кафедры

«Инженерная геометрия и основы САПР»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов

*Основной задачей высшего образования является подготовка квалифицированных специалистов, способных соответствовать требованиям современного повсеместно компьютеризированного производства. Одним из методологических подходов такого обучения является внедрение в образовательный процесс современных информационно-компьютерных технологий и использование электронных компьютерных презентаций как одной из составных частей этой области педагогической деятельности. Ниже будут рассмотрены основные достоинства и недостатки использования мультимедийного обеспечения в процессе преподавания учебных дисциплин на примере курсов графического цикла.*

Невозможно отрицать, что в настоящее время повсеместная компьютеризация охватила все аспекты нашей жизни и продолжает завоевывать все новые и новые области, будь то промышленное производство, экономика, бизнес, медицина, образование и т. д. Глобальная информатизация всех сфер жизнедеятельности человека интенсивно развивается и будет нарастать все более ускоряющимися темпами. Основной целью данной статьи является рассмотрение возможностей внедрения современных информационных технологий в обучающие программы высшего образования, а также способы и методы решения задач использования систем автоматизированного проектирования в процессе обучения дисциплинам геометро-графического цикла (в частности, на примерах курсов «Инженерная графика», «Начертательная геометрия»).

Для начала необходимо подробнее рассмотреть сами понятия, наиболее часто употребляемые в исследованиях об информатизации образования: «информационные технологии», «информационные технологии образования» и, собственно, «компьютерные технологии». Термин «информационные технологии» в этом перечне



является наиболее общим и в разных источниках расшифровывается несколько различным образом. Ряд авторов рассматривают «информационные технологии» как некую совокупность методов и технических средств сбора, организации, хранения, обработки, передачи и представления информации, расширяющую знания людей и развивающую их возможности по управлению техническими процессами, особо выделяя техническую составляющую понятия «информационные технологии», так как в их основе, по их мнению, лежат технические средства [1]. Другие исследователи проблемы применения компьютерных технологий в научной и образовательной областях акцентируют роль информационных технологий в практическом осуществлении педагогами теоретических построений в образовательном процессе [2]. Если же рассматривать понятие «компьютерные технологии» как более узкую, составную часть «информационных технологий», то необходимо также разделить способы его использования на два аспекта:

- непосредственное применение «компьютерных технологий» (использование современных программных продуктов и систем автоматизированного проектирования непосредственно обучающимися в процессе выполнения заданий по той или иной дисциплине учебного плана);

- использование средств информатизации (мультимедийных систем, программных продуктов учебного назначения, компьютерных и телекоммуникационных средств) преподавателем в процессе изложения материала дисциплины (в основном, лекционного).

Более подробно рассмотрим последний: в настоящее время самой распространенной и одной из наиболее удачных форм подготовки и представления учебного материала, использующей компьютерные технологии, можно назвать создание мультимедийных презентаций (они же – компьютерные, они же – электронные презентации). Компьютерные презентации, созданные с помощью программы Microsoft PowerPoint, уже прочно вошедшие в процесс преподавания различных учебных дисциплин, могут быть рассмотрены как логически связанная последовательность слайдов, объединенных одной темой и единым оформлением. Можно сказать, что презентация – дидактическое средство обучения, ее применение – наиболее наглядный и информативный метод обучения. Основная масса публикаций о применении информационно-коммуникационных технологий посвящена методическим рекомендациям по созданию презентаций; и здесь необходимо выделить две проблемы: проблема содержания презентаций и вопросы методики их использования.

Какова же методика и основные приемы разработки содержания презентаций? Надо отметить, что большинство рекомендаций по созданию презентаций имеют достаточно общий характер, но все они одинаково предостерегают от излишней информационной загруженности этого способа обучения. Технология создания презентационного материала предполагает обширные возможности насыщения его огромным спектром информационного потока. Однако необходимо создавать презентации с некоторой сдержанностью, нельзя перегружать их слишком объемными текстовыми фрагментами, избыточной и нечитаемой графикой, ненужными спецэффектами и анимацией, не несущей смысловой нагрузки, посторонним звуковым сопровождением и т. д. Наиболее эффективным с точки зрения усвоения учебного материала будет сжатый, информационный и единый по оформлению стиль изложения.

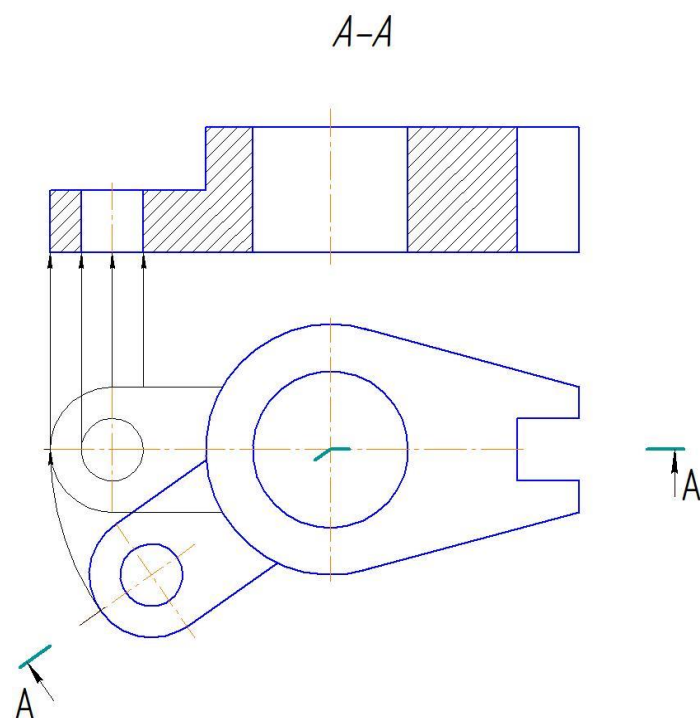
Хотелось бы остановиться подробнее на особенностях использования мультимедийных технологий на примере дисциплин геометро-графического цикла. Начиная с 2010 г. на кафедре ИГС («Инженерная геометрия и основы САПР») Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. было начато постепенное внедрение мультимедийного обеспечения ряда читаемых кафедрой курсов (например, «Инженерная графика (черчение)», «Начертательная геометрия и компьютерная графика») в учебный процесс. Все аудитории, в которых проводятся практические занятия и читаются лекционные курсы, оборудованы проекторами, компьютерами и постоянным доступом в Интернет. Предварительные итоги такой работы позволяют сделать некоторые комплексные, хотя и несколько неоднозначные выводы. Опыт преподавания и практика изучения начертательной геометрии и инженерной графики показывают, что процесс обучения этим дисциплинам требует определенных базовых знаний и, главное, практических навыков геометрического пространственного моделирования. К сожалению, в современных программах среднего образования не заложены основы для развития пространственного мышления и нет курсов, дающих базовые знания графического моделирования. В связи с этим студенты и преподаватели сталкиваются с определенными сложностями в процессе освоения графических дисциплин на начальных этапах обучения в вузе. Основные дисциплины, читаемые кафедрой, условно можно рассматривать как два различных раздела:

1. «Начертательная геометрия» – базовый теоретический курс, одной из главных задач которого является создание (изучение) методов отображения трехмерных фигур на плоскость и разработка способов решения метрических и позиционных задач, связанных с этими фигурами, по их плоскостным изображениям графическими методами. Цель дисциплины – развитие и совершенствование

пространственного воображения, навыков конструктивно-геометрического мышления, способности к анализу и синтезу пространственных представлений на основе графических моделей пространства, практически реализуемых в виде чертежей.

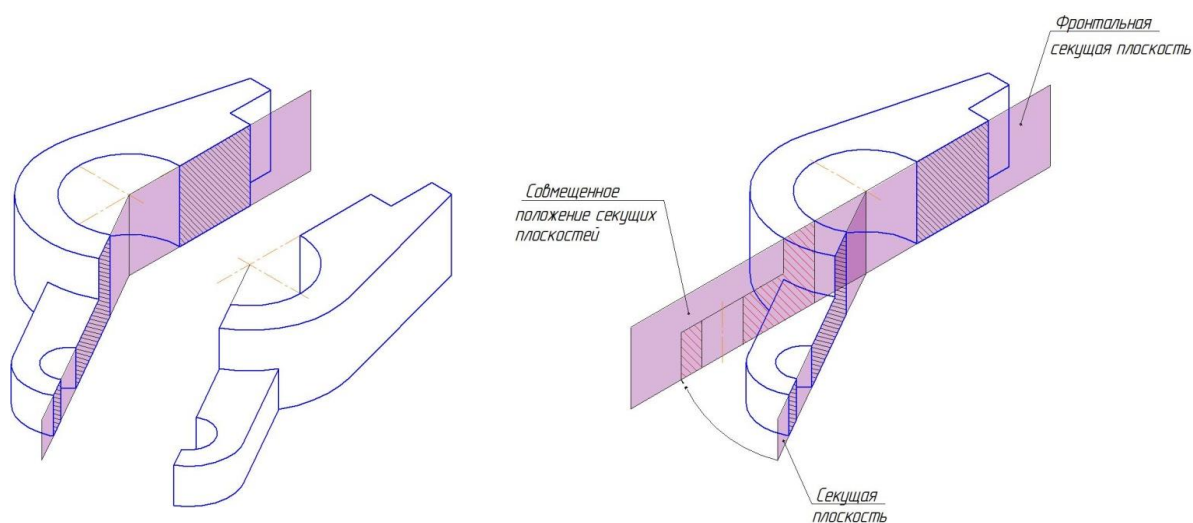
2. «Инженерная графика (черчение)» – прикладной курс, базирующийся на основах начертательной геометрии, основными задачами которого являются: приобретение знаний и выработка навыков, необходимых студентам для выполнения и чтения технических чертежей, выполнения эскизов деталей; изучение условно-графического отображения формы и структуры геометрических форм; решение задач, связанных с пространственными формами и отношениями различных геометрических моделей; составление конструкторской и технологической документации в соответствии со стандартами ЕСКД.

Несмотря на тесную теоретическую взаимосвязь вышеперечисленных дисциплин, для каждой из них можно отметить свои особенности использования компьютерных презентаций в учебном процессе. Так, например, в курсе «Инженерная графика (черчение)» их применение значительно повышает наглядность материала, позволяет заменить достаточно трудоемкое выполнение чертежа на доске «от руки» и в полной мере дублирует используемое ранее методическое обеспечение (плакаты и макеты). Демонстрация ортогональных чертежей (результат выполняемого задания) для лучшего пространственного понимания изображаемого предмета студентами должна сопровождаться показом наглядных изображений (аксонометрических проекций), выполненных, например, в графических пакетах (КОМПАС-График или AutoCAD). Также, вместо представления реальных пространственных моделей, может быть использована демонстрация 3D-модели, выполненной в системе твердотельного моделирования КОМПАС-3D. В качестве примера можно привести рисунки, используемые на слайдах презентации, выполненной в Microsoft PowerPoint с исходными элементами фрагментов и чертежей КОМПАС-График (рис. 1, 2).



*Рис. 1. Пример выполнения задания по теме «Ломаные разрезы»*

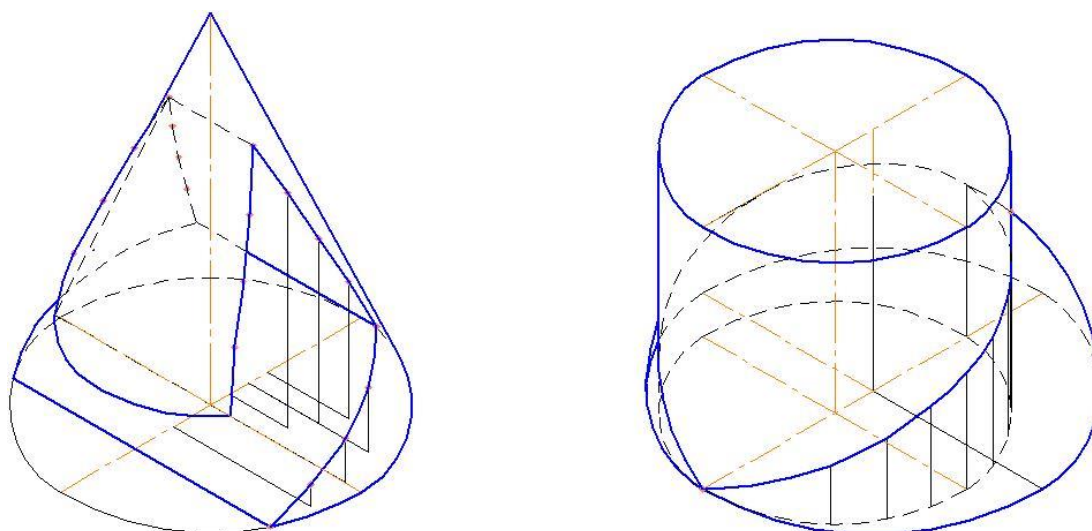
Даже для выполнения такого несложного задания представляется эффективной визуализация рассматриваемой детали (рис. 2).



*Рис. 2. Аксонометрическая проекция, поясняющая методику выполнения ломаного разреза*

Надо отметить, что процесс изучения дисциплины «Начертательная геометрия» с использованием компьютерных технологий имеет свои особенности. Что касается наглядности, предоставляемой компьютерной презентацией, то этот постулат не подлежит сомнению. Так, при рассмотрении тем «Классификация поверхностей», «Образование поверхностей», «Пересечение многогранников», «Пересечение

поверхностей вращения» используемые в презентациях трехмерные модели, безусловно, облегчают процесс усвоения и понимания материала (рис. 3).



*Рис. 3. Наглядные изображения моделей пересечения поверхностей вращения и призматического выреза на поверхности вращения*

Кроме того, эффективно использовать возможности вращать модели (имеется в виду не «вращение» как анимационный инструмент презентации, а возможность поворачивать трехмерный твердотельный комплекс рассматриваемых геометрических поверхностей) для более наглядного пространственного представления построения линии пересечения тел.

Необходимо рассмотреть и еще один немаловажный момент: «Начертательная геометрия» – дисциплина, в процессе изучения которой многие задачи решаются динамически. Здесь важна направленная последовательность построений, каждое последующее из которых базируется на предыдущем. Возникает вопрос: каким образом отобразить алгоритм решения той или иной задачи, отследить его в движении? Варианты ответов могут быть различны, некоторые из возможных:

1. Традиционно решать задачи «вручную» на меловой доске – тогда обучаемые будут иметь возможность повторять все действия преподавателя последовательно, так сказать online с одновременным комментированием происходящего.

2. Использовать компьютерную презентацию, слайды которой будут содержать пошаговые чертежи; при этом в каждом последующем рисунке содержится предыдущий и добавляется еще один этап решения задачи.

3. Применение презентаций со встроенными анимированными картинками, созданными с использованием стороннего специального программного обеспечения, имеющего большие графические и мультимедийные возможности; с добавлением flash-

объектов и/или flash-роликов. В этом случае необходимо учитывать, что временная последовательность построения авторского рисунка (схемы и т. д.) на аудиторном экране должна соответствовать темпу обычного построения этих рисунков или схем мелом на доске, чтобы студенты могли успеть зарисовать иллюстрацию. Возможно сначала показать рисунок или схему протекания процесса в динамике (анимированной), а потом показать этот же рисунок в статике для зарисовки его студентами. Надо учесть, что создание таких презентаций требует, как правило, привлечения профессионалов в области компьютерных технологий и значительных временных и трудовых затрат.

4. Демонстрация обучающих видеолекций; но это методическое обеспечение, более подходящее для самостоятельной работы студентов, так как простое «прокручивание» фильмов вместо чтения лекции ведет к разрыву контакта преподавателя с аудиторией, снижению активности обучающихся, поверхностному восприятию учебного материала, стереотипности в мышлении, интеллектуальному ограничению и т. п.

Возможно, идеальным вариантом является такое сочетание лекционного материала, выдаваемого преподавателем, и материала презентации, когда студент, упустив какую-то зрительную информацию, мог бы восполнить ее из того, что говорит лектор, и наоборот, увидеть на демонстрируемых слайдах то, что он прослушал.

Можно утверждать, что повышению качества образования, несомненно, будет способствовать сбалансированное сочетание новых и традиционных методов преподавания, включающих в себя в том числе использование презентаций как одной из составляющих современных информационно-коммуникативных технологий. Тем не менее, электронные средства обучения не должны менять самой сути процесса. Применяемые в разумных пределах электронные средства освобождают преподавателя от рутинной работы, высвобождают время для творчества, создают более благоприятные условия для усвоения учебного материала студентами [3]. Но роль и место на уроке электронных наглядных средств, также как и других средств обучения, должны тщательно продумываться и проектироваться.

#### Литература

1. Захарова И.Г. Информационные технологии в образовании: учеб. пособие / И.Г. Захарова. – 8-е изд. перераб. и доп. – М.: Изд. центр «Академия», 2013. – 208 с.
2. Грибан О.Н. Использование новых информационных технологий в процессе обучения: опыт и перспективы / О.Н. Грибан // Педагогическое образование в России. – 2014. – № 4. – С. 185-189.

3. Москаленко О.В. Использование презентаций в преподавании учебных дисциплин в высшей школе / О.В. Москаленко // Образовательные технологии. – 2015. – № 2. – С. 112-118.

УДК 621.01:004.94

### **Получение пространственных поверхностных моделей**

#### **машиностроительных изделий сложной технической формы**

Антропова Татьяна Владимировна, старший преподаватель кафедры

«Инженерная геометрия и основы САПР»;

Рязанов Сергей Анатольевич, заведующий лабораторией «Компьютерная графика»

кафедры «Инженерная геометрия и основы САПР»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

образования «Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов

*Поверхностное моделирование дает возможность получения геометрических моделей объектов сложной технической формы как при конструировании машиностроительных изделий, так и в архитектурном проектировании. Современные программы трехмерного компьютерного моделирования позволяют задавать форму конструируемых поверхностей аналитическими выражениями, что позволяет увеличить точность и скорость выполнения процесса моделирования. В статье рассматриваются методика и алгоритм получения трехмерной поверхности на примере моделирования поверхности вращения образованной гиперболой при помощи языка визуального программирования DesignScript. Геометрическая форма получаемой поверхности задается аналитическим выражением гиперболы.*

В настоящее время в машиностроительном производстве все большее значение приобретает решение проблемы математического обеспечения проектирования и расчета сложных технических поверхностей конструируемых изделий путем применения современных пакетов компьютерной графики. В виду того, что в машиностроении широкое применение находят детали и конструктивные элементы, которые представляют собой, с геометрической точки зрения, тела со сложными криволинейными поверхностями, то процесс их получения является актуальным. Создание трехмерных поверхностей методами компьютерной трехмерной графики, которые можно описать при помощи аналитических выражений, имеет большое значение в современном машиностроительном производстве.

Разработка эффективных методов формализации описания геометрических элементов разного рода машиностроительных конструкций с привлечением современных средств компьютерного геометрического моделирования позволяет значительно сократить сроки проектирования. Применение точных методов геометрического конструирования ведет к повышению точности изготовления поверхностей сложных технических изделий.

Современное развитие алгоритмов компьютерной графики позволяет получать пространственные поверхностные модели практически любой сложности. Существующие алгоритмы и математические модели дают возможность аналитически определить геометрическую форму необходимой поверхности и достаточно быстро и точно получить желаемый результат [1, 2]. Часто для получения геометрической модели требуемой поверхности является необходимым применение методов компьютерного моделирования и компьютерной графики, в частности алгоритмов поверхностного моделирования [3, 8].

С развитием вычислительной техники, персональных ЭВМ на первый план вышли аналитические методы расчета поверхностей и сокращение сроков разработки программного обеспечения, позволяющие эффективно и точно получить наглядное изображение необходимых поверхностей [4].

Применение вычислительной техники позволяет эффективно использовать наглядный аппарат начертательной геометрии для расчета и построения поверхностей, которые ранее были трудоемки из-за их сложности. Требовались значительные затраты времени работы конструкторов, которые были связаны с проведением аналитических расчетов и появляющейся погрешностью в этих математических вычислениях.

Появление персональных ЭВМ и широкая доступность современных компьютерных графических систем повысило точность построений. Она стала сравнима с аналитическими вычислениями. Доступность и высокая производительность персональных ЭВМ дает возможность исключить необходимость в многообразных однотипных построениях с использованием параметрических компьютерных моделей современных САПР [5].

Рассмотрим получение поверхностной модели, образованной вращением образующей, заданной уравнением гиперболы в трехмерной декартовой системе координат. Уравнение (1) задает форму получаемой поверхности в явном виде:

$$f(x, y) = \frac{b}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (1)$$



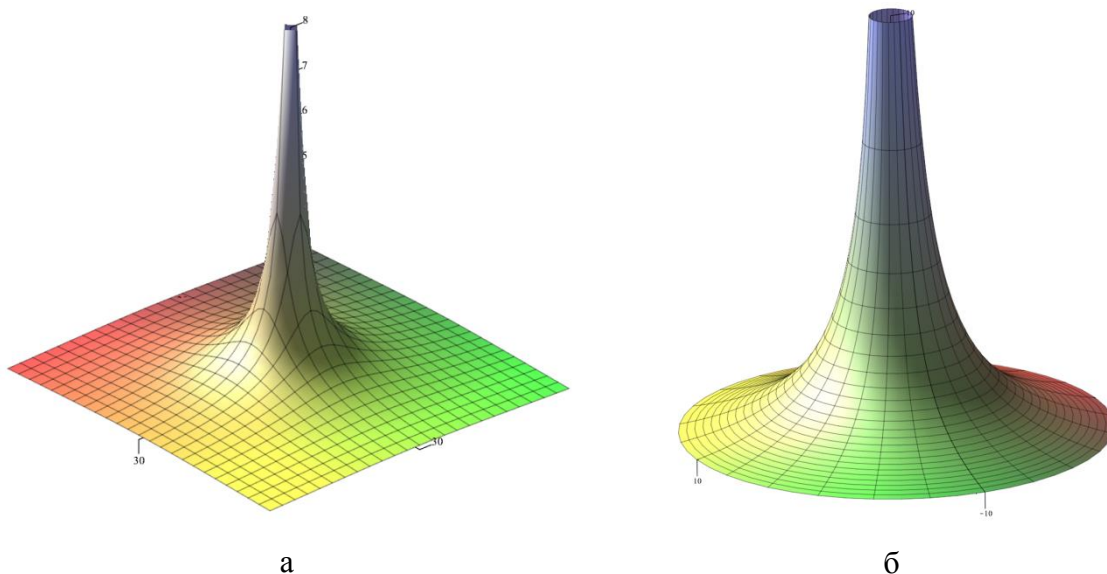
Поверхность вращения гиперболы, полученной при помощи уравнения (1), показана на рис. 1а.

Уравнение (2) задает необходимую поверхность, но в параметрической форме:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \cdot \cos(\beta) \\ r \cdot \sin(\beta) \\ b/r \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где  $r$  – расстояние от точки принадлежащей поверхности до оси вращения  $Oz$ ;  $\beta$  – угол поворота образующей.

Поверхность вращения гиперболы, полученной при помощи параметрического уравнения (2), показана на рис. 1б.



*Рис. 1. Поверхность вращения гиперболы:*

*а – уравнение поверхности в явной форме; б – параметрическая форма записи уравнения поверхности*

«Язык визуального программирования DesignScript» – это концепция языка программирования, которая предоставляет пользователю средства для построения программных отношений с использованием графических пользовательских интерфейсов, т. е. блоков с заранее определенными свойствами. В отличие от традиционных языков программирования, пользователь может визуально задавать отношения между объектами, соединяя узлы вместе, что дает возможность визуально описать собственный алгоритм. При этом пользователь не обязательно должен владеть каким-либо языком программирования. Это означает, что пользователь может использовать визуальные вычислительные концепции без необходимости писать код программы на традиционном языке программирования. Программа, написанная на языке DesignScript, выполняется в программной оболочке Dynamo.

Среда визуального программирования Dypamo – это надстройка с открытым исходным кодом, которая позволяет пользователям проектировать пользовательские процессы проектирования и автоматизации с помощью интерфейса визуального программирования на основе узлов. Пользователям предоставляются возможности для сложной обработки данных, реляционных структур и геометрического управления, что невозможно при использовании обычного интерфейса моделирования [6, 7].

Для получения поверхностной модели при помощи языка DesignScript возьмем параметрическую форму задания поверхности, уравнение (2). Рассмотрим основные этапы получение требуемой поверхности в среде визуального программирования DesignScript.

Для повышения точности получаемой модели поверхности вычислим координаты точек по осям X и Z с шагом изменения значения параметра  $b$  с шагом 0,5. Определим координаты точек образующей, лежащих в плоскости XZ, табл. 1.

Таблица 1

Координаты точек образующей

№ точки	r, мм	x, мм	z, мм
1	1,00000	1,00000	10,00000
2	1,50000	1,50000	6,66667
3	2,00000	2,00000	5,00000
4	2,50000	2,50000	4,00000
5	3,00000	3,00000	3,33333
6	3,50000	3,50000	2,85714
7	4,00000	4,00000	2,50000
8	4,50000	4,50000	2,22222
9	5,00000	5,00000	2,00000
10	5,50000	5,50000	1,81818
11	6,00000	6,00000	1,66667
12	6,50000	6,50000	1,53846
13	7,00000	7,00000	1,42857
14	7,50000	7,50000	1,33333
15	8,00000	8,00000	1,25000
16	8,50000	8,50000	1,17647
17	9,00000	9,00000	1,11111
18	9,50000	9,50000	1,05263
19	10,00000	10,00000	1,00000

Полученные координаты точек (табл. 1) позволяют построить образующую требуемой поверхности.

На рис. 2 представлен алгоритм построения требуемой поверхности. Для этого в исходных данных задаются значения величин  $b$  и  $r$ . Изменение величины  $r$  с шагом 0,5 мм позволяет получить требуемую образующую. После этого выполняется ее

вращение вокруг оси  $Oz$  на угол, равный  $2\pi$ . Ось вращения задается в виде вектора при помощи задания координат двух точек, рис. 3.

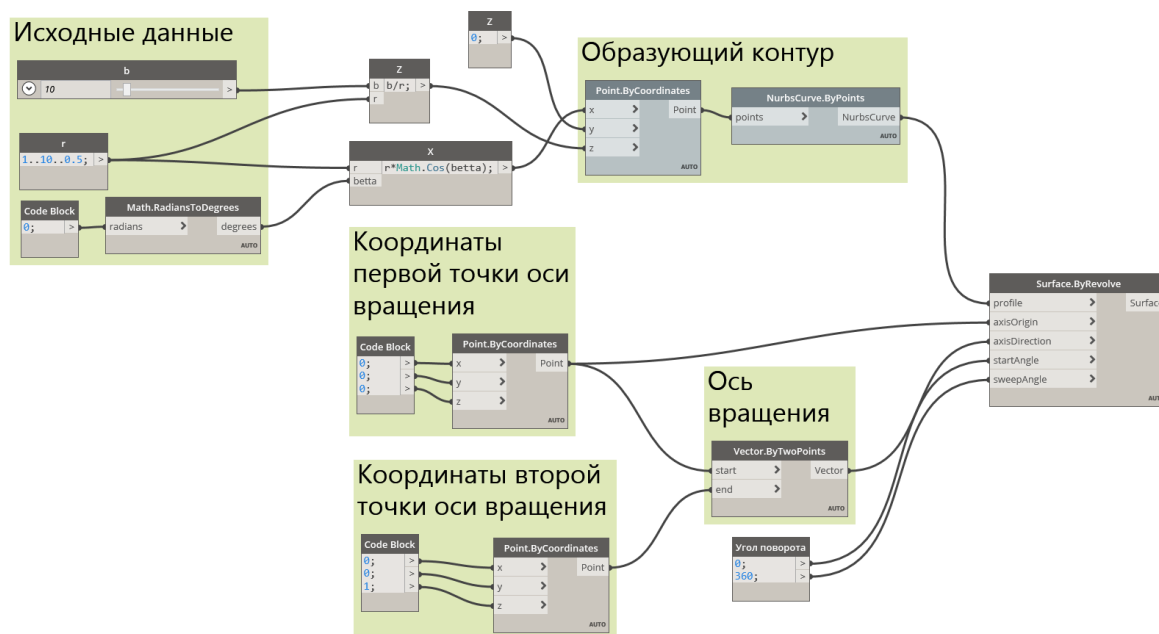


Рис. 2. Определение координат точек траектории выдавливания

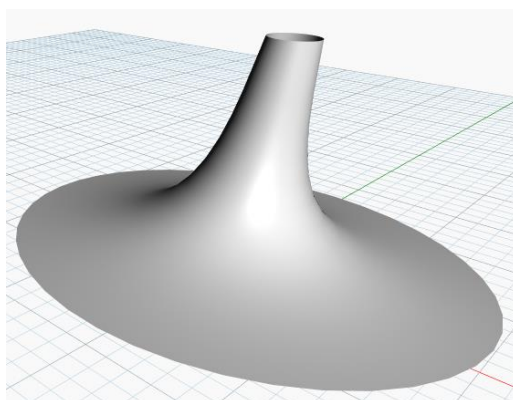


Рис. 3. Поверхность вращения гиперболы

Как показано в статье, среда визуального программирования Dynato, позволяет достаточно быстро и точно воспроизвести необходимую геометрическую конфигурацию поверхности, заданной аналитическими выражениями. Применение поверхностного моделирования позволяет получать компьютерные модели, которые невозможно получить путем применения традиционных средств моделирования.

### Литература

1. Антропова Т.В. Изучение дисциплин графического цикла как основа развития пространственного и художественно-конструкторского мышления / Т.В. Антропова //

Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2018. – № 9. – С. 20-23.

2. Антропова Т.В. Применение технологий интерактивного обучения в процессе преподавания дисциплин геометро-графического цикла / Т.В. Антропова // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2019. – № 11. – С. 498-502.

3. Карачаровский В.Ю. Применение методов 3D компьютерной графики и твердотельного моделирования при разработке технологических процессов зубонарезания / В.Ю. Карачаровский, С.А. Рязанов // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2010. – № 4. – Вып. 1. – С. 55-60.

4. Карачаровский В.Ю. Визуализационная оценка геометрических характеристик контактирующей поверхности в червячных передачах на основе применения методов 3D компьютерной графики / В.Ю. Карачаровский, М.К. Решетников, С.А. Рязанов // Вестник Саратовского государственного технического университета. – Саратов: СГТУ, 2014. – № 1 (75). – Вып. 2. – С. 106-108.

5. Карачаровский В.Ю. Геометрическое моделирование формообразования пространственных поверхностей при винтовом относительном движении / В.Ю. Карачаровский, С.А. Рязанов // Сборник трудов 1-й Международной научной конференции «Проблемы геометрического моделирования в автоматизированном проектировании и производстве». – М.: Изд-во МГИУ, 2008. – С. 143-146.

6. Марьина А.А. Разработка конструкторской документации и проведение конструкторского надзора / А.А. Марьина // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2017. – № 8. – С. 290-293.

7. Рязанов С.А. Геометрическая модель производящей поверхности, эквивалентной рабочей поверхности зуборезного инструмента «червячная фреза» / С.А. Рязанов // Геометрия и графика. – М.: ИНФРА-М, 2019. – Т. 7. – № 2. – С. 56-60.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2015616756 Российская Федерация. Геометрическое твердотельное моделирование зубчатых передач со скрещивающимися осями вращения / М.К. Решетников, В.Ю. Карачаровский, С.А. Рязанов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.». – № 2015613296; заявл. 23.04.2015; опубл. 20.07.2015, Бюл. № 7. – 5 с.

### **Системы взаимодействия участников учебного процесса**

Виштак Наталья Михайловна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры

«Информатика и управление в технических системах»;

Калистратов Максим Игоревич, студент направления

«Информационные системы и технологии»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*В статье рассматривается назначение систем взаимодействия участников учебного процесса, формируются требования к таким системам, а также рассматривается целесообразность разработки собственной электронной информационно-образовательной среды.*

Для более точного формирования требований к системе взаимодействия участников учебного процесса, необходимо ее определить. ФГОС определяет подобную систему как «информационно-образовательная среда» и выдвигает общие требования для реализации такой среды. Но само определение ИОС дается разными научными деятелями по-разному. Наиболее универсальное определение дает А.Г. Абросимов: «информационно-образовательная среда – это система, включающая в себя информационные и образовательные ресурсы, программное обеспечение, технические и телекоммуникационные средства, правила ее поддержки, администрирования и использования» [1]. Создание информационно-образовательной среды сегодня является одним из наиболее актуальных направлений развития системы образования. Одной из задач такой среды является регулировка процесса формирования образовательных компетенций. Выделяются следующие методические компетенции [2]:

- информационная – знания, умения и навыки в сочетании с современными методами и средствами работы с информацией;
- коммуникативная – способность организовать диалог;
- деятельностная – проектировочные, оценочные способности и готовность к непрерывному самообразованию;
- рефлексивно-аналитическая – способность визуализировать результат и критическое отражение своего и чужого педагогического опыта.

Согласно ФГОС третьего поколения, информационно-образовательная среда должна обеспечивать [1, 2]:

- доступ к учебным планам, рабочим программам дисциплин (модулей), стажировкам, публикациям электронных библиотечных систем и электронным образовательным ресурсам, указанным в рабочих программах;
- регистрацию хода учебного процесса, результатов промежуточной аттестации и результатов освоения программы бакалавриата;
- проведение всех видов занятий, процедуры оценки результатов обучения, реализация которых предусмотрена с использованием технологий электронного обучения, технологий дистанционного обучения;
- формирование электронного портфолио студента, в том числе сохранение работы студента, рецензий и оценок этих работ любыми участниками образовательного процесса;
- взаимодействие между участниками образовательного процесса, в том числе синхронное и (или) асинхронное взаимодействие через Интернет.

Кроме того, при проектировании образовательной среды необходимо следовать следующим принципам:

- необходимость хранения разного рода информации: текст, звук, видео;
- доступность – возможность получения доступа к компонентам информационно-образовательной среды из любой точки сети;
- эффективность – использование как современных информационных технологий для обеспечения максимальной производительности, так и следование определенным стандартам при проектировании пользовательского интерфейса.

Следовательно, информационно-образовательная среда включает в себя программное и аппаратное обеспечение и учитывает психологические и педагогические условия [1 - 4]. Информационная и образовательная среда университета должна способствовать повышению эффективности и качества образовательного процесса путем внедрения компьютерных навыков, углубления межпредметной коммуникации; расширению информационно-методической поддержки учителей и студентов и возможностей для общения и сотрудничества на основе компьютерной коммуникации; предоставлению возможностей для непрерывного профессионального развития и переподготовки независимо от возраста, географического района проживания и времени.

В процессе анализа информационно-образовательных систем российских вузов было обнаружено, что большинство систем в качестве основы используют систему

управления курсами Moodle (ModularObject-Oriented Dynamic Learning Environment – модульная объектно-ориентированная динамическая обучающая среда) [1, 5]. Примерный интерфейс системы изображен на рис. 1.

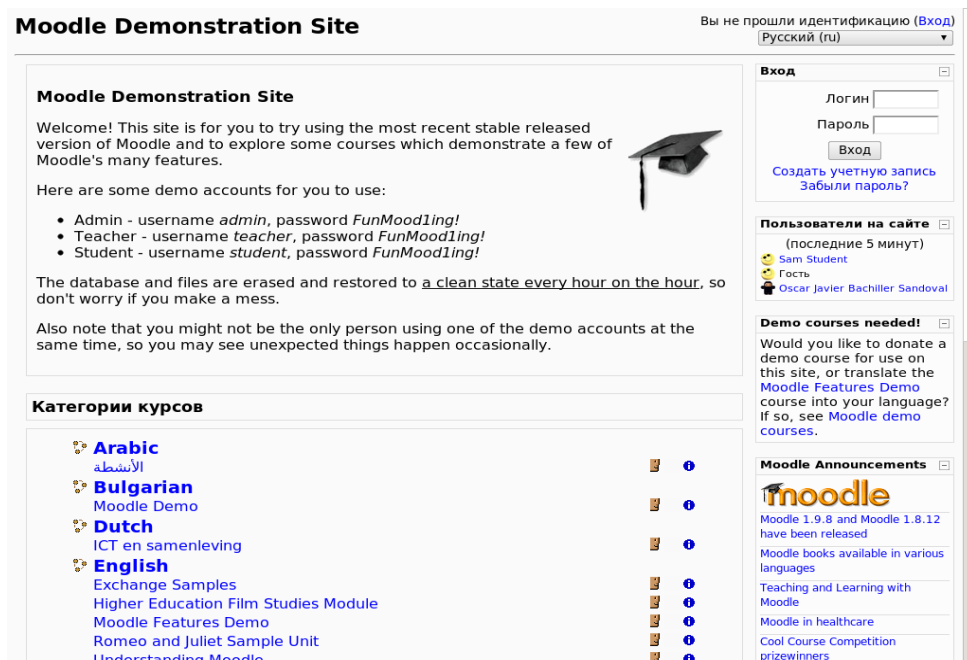


Рис. 1. Интерфейс системы дистанционного обучения Moodle

Преимущества системы Moodle в следующем:

- полностью бесплатна и не уступает коммерческим аналогам;
- исходный код системы открыт, что позволяет легко адаптировать ее под специфику предметной области;
- инструменты для разработки курсов дистанционного обучения системы существенно снижают стоимость образовательного контента и решают проблемы совместимости разработанных курсов дистанционного обучения с системами дистанционного обучения.

Однако у системы есть один существенный недостаток: она не предусматривает группы уровня сайта, что делает очень трудным учет студентов разных специальностей. Группы в Moodle существуют не для управления правами доступа к курсам, а для разделения групп студентов в одном курсе.

Кроме того, оценками слушателя можно оперировать только внутри курса. Это ограничение приводит к тому, что в системе невозможно составить итоговую ведомость по всем дисциплинам семестра.

Таким образом, система управления курсами Moodle – это система, ориентированная скорее на западную модель обучения, в которой внимание уделяется отдельным курсам, которые проходят несколько групп студентов, а для организации и

управления учебным процессом российского университета информационная среда должна быть ориентирована на использование учебных групп.

Среди систем, созданных с нуля, выделяется ОРИОКС (организация распределенного информационного обмена в корпоративных средах). Система предоставляет [6]:

- формирование и выполнение регламента оценивания результатов учебной деятельности и использования учебных ресурсов;
- мобильное приложение для студентов;
- учет требований законодательства РФ;
- формирование управленческой отчетности.

Для студента система позволяет отслеживать свою успеваемость и просматривать расписание. В то же время в ОРИОКС нет возможности связываться с преподавателями либо просматривать методические указания, а также в ней отсутствует какой-либо медиа-контент.

На данный момент многие образовательные организации предоставляют свою реализацию информационно-образовательной среды, но предложенные системы либо не в полной мере удовлетворяют ФГОС, либо недостаточно гибки в их применении к образовательному процессу российских вузов. В связи с этим необходимо разработать полноценную реализацию информационно-образовательной среды, применимую к реалиям российских вузов.

#### Литература

1. Абросимов А.Г. Теоретические и практические основы создания информационно-образовательной среды вуза / А.Г. Абросимов. – Самара: Изд-во Самар. гос. экон. акад., 2003. – 204 с.
2. Гаврилова М.А. Информационно-образовательная среда для организации самостоятельной деятельности студентов – будущих учителей математики / М.А. Гаврилова // Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского. – 2011. – № 24. – С. 598-602.
3. Виштак О.В. Системы электронного документооборота для вузовских подразделений дополнительного образования / О.В. Виштак, В.И. Жирнов // Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции «Проблемы развития регионов в условиях модернизации экономики, общества и образования». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2018. – С.58-60.
4. Виштак О.В. Электронные образовательные ресурсы как базовый компонент информационно-образовательной среды / О.В. Виштак, М.В. Фролов / Сборник трудов



III Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – С.142-146.

5. Moodle. [Электронный ресурс] URL: <https://moodle.org/?lang=ru> (дата обращения: 27.04.2020).

6. ОРИОКС. [Электронный ресурс] URL: <http://mocnit.ru/#homepages> (дата обращения: 27.04.2020).

УДК 371.3

### **Разработка конструктора web-квестов**

Виштак Наталья Михайловна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры

«Информатика и управление в технических системах»;

Троценко Денис Николаевич, студент направления

«Информационные системы и технологии»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*В статье было рассмотрено использование игровой технологии в учебном процессе центра дополнительного образования, особенности педагогических игр, выделена игровая web-технология. Рассматривается использование web-квестов, особенности их создания, которые обуславливают значимость создания конструктора web-квестов.*

Информационные технологии – это процесс, использующий комбинацию средств и способов сбора, скопления, обработки и передачи первичных данных для получения новой высококачественной информации о состоянии объекта, процесса либо явления [2]. Главная задача ИТ – получение нужной и комфортной для пользователя информации в итоге целеустремленных действий по обработке первичных данных. Как ИТ-инструменты по обработке первичных данных рассматриваем разные типы программных средств: текстовые процессоры, издательские системы, электрические таблицы, системы управления базами данных, электрические календари и многофункциональные информационные системы. При этом в сфере образования эти инструменты используются в повседневной деятельности как преподавателей, так и обучающихся. Для использования в учебном процессе на основе этих программных средств создаются программно-педагогические средства, позволяющие оптимизировать

процесс обучения, мотивировать обучающихся на самостоятельную учебную деятельность [2, 6, 9, 12].

Образовательная игровая технология является инновационной, максимально ориентирована на самостоятельную деятельность и позволяет процесс обучения сделать насыщенным и увлекательным [1, 2, 3, 10, 13]. Как основные выделяют следующие функции педагогической игры: коммуникативная; распознавательная; корректировочная; формирование межнационального общения; социализация. Игровые технологии в обучении используются как продуктивный метод передачи знаний для обучения и воспитания обучающихся. В связи с всесторонней цифровизацией образования в последнее время большое распространение получила технология web-квестов [1, 3, 7].

Web-квесты разрабатываются для наибольшей интеграции интернет-технологий в учебный процесс на различных уровнях образовательного процесса [1]. Обычно web-квест предусматривает несколько основных этапов: подготовка игры, проведение игры, анализ и обобщение игры. Рассмотрим составляющие этих этапов.

Подготовка игры включает разработку игры и ввод в игру. Проведение игры включает групповую работу и межгрупповую дискуссию. Анализ игры и выход из игры включают групповую работу и ввод в игру. Все эти этапы выполняются преподавателем и под его руководством.

Следует учитывать, что разработка web-квеста по определенной теме является очень трудозатратным процессом, требующим творческого подхода как с художественной, так и с технической точки зрения. Оперативно изменить тематику квеста, изменить содержательную часть квеста – довольно сложная проблема для педагога, не связанного со сферой информационных технологий. Потому создание конструктора web-квестов позволяет облегчить создание образовательных игр для преподавателей, не связанных с информатикой и программированием [3, 4, 5, 8].

Как структурные элементы конструктора web-квестов выделяем следующие:

- ✓ вступление;
- ✓ центральное задание;
- ✓ перечень информационных ресурсов;
- ✓ описание процесса работы по выполнению заданий;
- ✓ описание процедуры работы при выполнении заданий;
- ✓ описания управления выполнением квеста;
- ✓ заключение: обсуждение результатов и подведение итогов.

Для создания клиентской части используем язык программирования JavaScript, а также язык гипертекстовой разметки HTML и каскадную таблицу стилей CSS. На данных языках выполняется разработка пользовательского интерфейса конструктора веб-квеста.

JavaScript, как мультипарадигменный язык программирования, поддерживает объектно-ориентированный, императивный и функциональный стили [6, 7, 8]. Его основные архитектурные черты: динамическая типизация, слабая типизация, автоматическое управление памятью, прототипное программирование, функции как объекты первого класса.

Большинство веб-страниц, а разрабатываемый конструктор веб-квеста относится именно к ним, содержат описание разметки на языке HTML (или XHTML). CSS – формальный язык описания внешнего вида документа, написанного с использованием языка разметки. Преимущественно используется как средство описания, оформления внешнего вида веб-страниц, написанных с помощью языков разметки HTML и XHTML, но может также применяться к любым XML-документам, например, к SVG или XUL.

При разработке серверной части конструктора веб-квеста был задействован язык программирования PHP. Серверная часть отвечает за обработку запросов, доступ к базе данных и прочие скрытые от глаз обычного пользователя функции [8, 9, 10]. PHP – скриптовый язык общего назначения, интенсивно применяемый для разработки веб-приложений. В настоящее время поддерживается подавляющим большинством хостинг-провайдеров и является одним из лидеров среди языков, применяющихся для создания динамических веб-сайтов.

Основное назначение конструктора web-квестов: быстро и эффективно создавать образовательные игры, повысив порог вхождения для тех, кто не связан с созданием ПО.

#### Литература

1. Образовательные web-квесты. [Электронный ресурс] URL: [http://wiki.tgl.net.ru/index.php/Образовательный\\_веб-квест](http://wiki.tgl.net.ru/index.php/Образовательный_веб-квест) (дата обращения: 11.03.2020).
2. Информационные технологии в образовании. [Электронный ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Информационныетехнологииивобразовании> (дата обращения: 16.03.2020).
3. Использование web-квест технологии в обучении. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-veb-kvesttehnologiy-v-obuchenii> (дата обращения: 12.03.2020).

4. Виштак О.В. Требования к конструктору веб-квестов / О.В. Виштак, И.Р. Абушаев / Сборник статей V Международной научно-практической конференции «Современные веб-технологии в цифровом образовании: значение, возможности, реализация». – Арзамас: Арзамасский филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», 2019. – С. 74-77.

5. Виштак О.В. Программные средства разработки образовательных веб-квестов / О.В. Виштак, А.В. Быстров / Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции «Проблемы развития регионов в условиях модернизации экономики, общества и образования». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2018. – С. 54-58.

6. Виштак Н.М. Лекционный электронный комплекс как средство активизации учебной деятельности студентов вуза: автореферат дис. ... канд. пед. наук (13.00.08 – теория и методика профессионального образования) / Н.М. Виштак; рук. работы А.В. Антонова. – Московский государственный гуманитарный университет им. М.А. Шолохова. – Москва, 2011. – 169 с.

7. Виштак О.В. Использование методов проектов при создании веб-квестов по информатике / О.В. Виштак // Сборник статей международной научно-практической конференции «Современные образовательные веб-технологии в системе школьной и профессиональной подготовки». – Арзамас: Арзамасский филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», 2017. – С. 151-155.

8. Виштак Н.М. Проектирование тематических веб-квестов по информатике / Н.М. Виштак, И.А. Штырова / Сборник статей международной научно-практической конференции «Современные образовательные веб-технологии в системе школьной и профессиональной подготовки». – Арзамас: Арзамасский филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», 2017. – С. 175-179.

9. Виштак Н.М. Особенности подготовки презентационных материалов для слушателей детской компьютерной школы / Н.М. Виштак, Е.А. Яковлева / Сборник статей II Международной научно-практической конференции «Проблемы развития предприятий энергетической отрасли в условиях модернизации российской экономики и общества». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2016. – С. 93-95.

10. Виштак Н.М. Игровые технологии в учебном процессе компьютерной школы / Н.М. Виштак, В.П. Петченко / Сборник трудов III Международной научно-

практической конференции «Проблемы развития предприятий энергетической отрасли в условиях модернизации российской экономики и общества». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – С.69-75.

11. Виштак Н.М. Технологии разработки образовательных веб-квестов / Н.М. Виштак, Е.А. Яковлева / Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Проблемы развития предприятий энергетической отрасли в условиях модернизации российской экономики и общества». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – С. 75-80.

12. Vishtak N.M., Frolov D.A. Methodical and technological aspects of creation of interactive computer learning systems / N.M. Vishtak, D.A. Frolov // В сборнике: AIP Conference Proceedings, 2017. – С. 040007.

13. Репринцева Е.А. Педагогика игры: теория, история, практика. [Электронный ресурс] URL: [http://elib.gnpbu.ru/text/reprintseva\\_pedagogika-igry\\_2005](http://elib.gnpbu.ru/text/reprintseva_pedagogika-igry_2005) (дата обращения: 12.03.2020).

УДК 004.418

### **Разработка CRM-системы станции технического обслуживания**

Виштак Ольга Васильевна, доктор педагогических наук, декан факультета повышения квалификации и профессиональной переподготовки, профессор кафедры «Информатика и управление в технических системах»;

Абушаев Ильяс Ряисович, студент направления «Информационные системы и технологии»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*В данной статье рассмотрены вопросы назначения CRM-систем, проведен анализ задач и функций основных видов CRM-систем, а также рассмотрены наиболее известные решения среди систем подобного рода. Проведен анализ этих систем по многофункциональному назначению и использованию. Проведено обоснование разработки CRM-системы, которая будет ориентирована на управление процессами на предприятиях технического обслуживания с учетом специфики их требований.*

Главное назначение CRM-систем: оказывать помощь строить отношения с клиентами, управлять действием продаж, облагораживать качество сервиса при работе с клиентами и поддерживать доходность бизнеса в длительной перспективе. Кроме

того, CRM собирает информационную базу о пользователях, на основании которой потом вы можете принимать больше правильных бизнес-решений.

В настоящее время выделяют следующие базовые функции и возможности CRM-систем [1]:

- учет клиентов: ведение единой информационной базы клиентов и контрагентов, при этом проводится регистрация всех реквизитов, каналов связи, фиксируется история сотрудничества и покупок;

- управление, фильтрация и сегментирование контактами в базе по разным категориям;

- управление продажами, то есть ведение данных о возможных и настоящих сделках, возможность осуществления поэтапного контроля каждой сделки, частичная автоматизация бизнес-действий компании и автоматизация фиксации продаж;

- применение автоматического конструктора документов и автоматизации документооборота.

Аналитические функции CRM-системы базируются на том, что на основе собранной информации проводится построение необходимых статистических отчетов, по которым оценивается продуктивность рекламных каналов, мероприятий, работы сотрудников, построение прогнозов продаж и планирования изменений.

Задачи и функции используемой CRM-системы различны для каждой организации. Это обусловлено в первую очередь спецификой деятельности. Потому при выборе системы необходимо проработать бизнес-требования к CRM-системам с учетом анализа задач по ее применению, а далее выбрать тот тип системы, который удовлетворяет специфики решаемых задач. Проведем анализ основных типов по назначению и использованию.

По многофункциональному назначению и использованию CRM-систем выделяют три главных типа [2]:

- операционные, основная задача которых рационализировать и автоматизировать бизнес-процессы в продажах, маркетинге и клиентском сервисе;

- аналитические, основная задача которых сбор данных из различных каналов и от клиентов, последующая структуризация этих данных и на их основании осуществление стратегического планирования;

- коллаборационные, которые ориентированы на взаимодействие подразделения продаж и подразделения маркетинга за счет общей базы сведений о клиентах, что позволяет синхронизировать работу этих подразделений.

Операционные CRM-системы отличаются тщательной реализацией управления контактами, реализацией службы клиентской поддержки и воронки продаж. Эти системы, как правило, предназначены для менеджеров, специалистов по рекламе и специалистов техподдержки.

В аналитических CRM-системах особое внимание уделено функционалу отчетов и информационных панелей, резвые и гибкие инструменты поиска и фильтрации, они подходят для руководителей, глав подразделений и остальных профессионалов, которые принимают управленческие решения.

В коллаборационных CRM-системах представлены хорошие инструменты как для коммуникации внутри организации, так и для получения обратной связи от клиентов (например, интегрированные чаты, интеграция с социальными сетями и т. д.).

Проведем анализ наиболее используемых CRM-систем.

SalesforceSalesCloud – мини CRM типа «все-в-одном», то есть решение, которое включает все главные функции CRM-систем [1]:

- генерацию лидов;
- базу контактов;
- прогнозы продаж;
- интеграцию с социальными сетями;
- возможность работать с мобильных устройств.

Salesforce дает одно из наилучших и наиболее доступных по стоимости решений для малого предпринимательства в соответствии с рейтингом известных CRM [4].

Для организаций и компаний малого предпринимательства также применима Zoho CRM в связи с тем, что для команд до 10 пользователей ее можно применять на данный момент безвозмездно. К плюсам системы относится ее кроссплатформенность, также то, что она позволяет собрать важные данные о клиентах: контакты, историю, активности, источники трафика. Но эту CRM не следует использовать для стремительно возрастающих организаций и компаний.

AmoCRM – обычная в освоении система, содержит достаточный функционал воронок продаж для среднего и малого бизнеса. Но пользователи системы отмечают, что в ней недостает комфортных устройств для внутренних коммуникаций. То есть при внедрении системы требуются корректировки [5].

Terrasoftbpm'online – полномасштабная CRM-система для средних и огромных организаций и компаний, которые готовы существенно вкладываться в ИТ-инфраструктуру [6]. Эта система нацелена на построение бизнес-действий продаж в компании.

MS Dynamics CRM – всеохватывающее решение класса Enterprise для настоящей организации продаж, маркетинга и работы службы саппорта. Но эта система имеет существенный недостаток: отсутствие интернет-интерфейса [7].

Битрикс24 представляет собой функциональный корпоративный портал с некими функциями CRM. Предназначен для коммуникации между работниками компании, ведения клиентов и формирования отчетов, при внедрении необходимо проводить большой объем работы по адаптации к требованиям организации и компании.

Однако все CRM-системы являются общими по своему назначению и не учитывают специфики работы конкретного предприятия, так, например, станции технического обслуживания (СТО). Проанализируем специфику выполняемых работ на этих предприятиях. Соответственно, определим те виды работ, которые будут характерны для СТО [8]:

- диагностические;
- моечные;
- ремонт и обслуживание тормозных систем;
- регулировка приборов освещения;
- регулировка развала-схождения;
- ремонт электроники;
- ремонт и обслуживание двигателей внутреннего сгорания;
- шиномонтаж.

Как и любое предприятие, участвующее в хозяйственной деятельности, СТО ставит своей главной целью получение максимальной прибыли. Поэтому необходимо вести учёт и статистику продаж, эффективности выполнения работы сотрудниками. При наличии склада автозапчастей необходимо вести учёт всех деталей, а также иметь возможность категоризировать их в зависимости от назначения и марки транспортного средства.

Исходя из основных видов работ, следует обозначить функционал CRM-системы, которая будет ориентирована под работу СТО. К этому функционалу будут относиться:

- учет заказов, включающий в себя необходимые детали – запасные части, работу мастера, марку автомобиля заказчика;
- автоматический расчет стоимости заказа;
- автоматический расчет зарплат для мастера;
- категоризация предоставляемых услуг;



- учёт запасных частей на складке по их специфике и марке автомобиля;
- планирование работ, составление расписания;
- анализ выполненных заказов;
- анализ эффективности работы сотрудника.

Учитывая всё разнообразие CRM-систем, предлагаемых для бизнеса, следует отметить отсутствие комплексного решения для станций технического обслуживания. Поэтому разработка программных средств по данному направлению является актуальным, так как это способствует росту эффективности работ станций технического обслуживания.

#### Литература

1. Основные функции CRM систем. [Электронный ресурс] URL: <https://integrus.ru/blog/funkcii-crm.html> (дата обращения: 16.04.2020).
2. CRM и его виды, типы. [Электронный ресурс] URL: <https://worksection.com/blog/crm-theory.html> (дата обращения: 16.04.2020).
3. Bitrix24. [Электронный ресурс] URL: <https://www.bitrix24.ru/> (дата обращения: 16.04.2020).
4. Salesforce. [Электронный ресурс] URL: <https://www.salesforce.com/> (дата обращения: 16.04.2020).
5. АммоCRM. [Электронный ресурс] URL: <https://www.amocrm.ru/> (дата обращения: 16.04.2020).
6. Terrasoft. [Электронный ресурс] URL: <https://www.terrasoft.ru/page/creatiocrm> (дата обращения: 16.04.2020).
7. MS Dynamics CRM. [Электронный ресурс] URL: <https://dynamics365crm.yolva-it.ru/> (дата обращения: 16.04.2020).
8. Виды СТО. [Электронный ресурс] URL: <https://equinet.com.ua/ru/smartblog/vidy-sto-klassifikatsiya-sto> (дата обращения: 16.04.2020).

### **Цифровизация расчетов строительных конструкций зданий и сооружений**

Виштак Ольга Васильевна, доктор педагогических наук, декан факультета  
повышения квалификации и профессиональной переподготовки, профессор кафедры  
«Информатика и управление в технических системах»;

Глебова Яна Александровна, студент направления

«Информационные системы и технологии»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального  
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*Для модернизации процесса расчетов строительных конструкций требуется их цифровизация. С помощью этого будет повышена производительность компаний. Применение информационного моделирования позволит достичь экономии до 20 % средств на возведение строительных объектов.*

Цифровые технологии получают широкое применение во всех сферах общества, что указано в документе «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». Одним из приоритетных направлений на сегодняшний день является цифровизация строительства в атомной отрасли. Цифровизация способствует повышению производительности строительных компаний. Это обуславливает актуальность создания программного обеспечения для автоматизации расчета показателей строительных конструкций [1, 2, 8]. Строительные компании концентрируются в основном на цифровизации планирования, самого строительного процесса и логистики.

Подавляющее большинство компаний в строительной отрасли на сегодняшний день осознает, как цифровизация расчетов влияет на каждую часть производства. Согласно исследованию от «Ассоциации немецких палат промышленности и торговли» (DINK), 93 % компании согласны с тем, что цифровизация будет влиять на каждый из их рабочих процессов [2]. Применение информационного моделирования позволит достичь экономии до 20 % средств на возведение объектов.

Железобетонные конструкции являются базой современного индустриального строительства. Из железобетона возводят как одноэтажные, так и многоэтажные промышленные и гражданские здания (жилые помещения, сельскохозяйственные здания). Также железобетон применяют при строительстве метрополитенов, мостов, туннелей, гидроэлектростанций, атомных установок. При этом наиболее применяемая

технология – это использование монолитных конструкций, что позволяет повысить качество производимых работ и сократить сроки их выполнения.

В настоящее время существует ряд программных продуктов для расчетов строительных конструкций. Проведем анализ этих программных средств.

Многофункциональный программный комплекс ЛИРА САПР предназначен для расчета сооружений строительного и машиностроительного назначения [3]. Данная программа позволяет решать весь спектр задач, связанных с проектированием и строительством сооружений, любой сложности и уровня ответственности. В режиме конструирования железобетонных конструкций реализован подбор площадей сечения арматуры колонн, балок, плит, диафрагм и оболочек по первому и второму предельным состояниям в соответствии с действующими в мире нормативами. По результатам расчета формируются чертежи балок и колонн, а также создаются файлы чертежей.

Основным недостатком программы ЛИРА является ее достаточно высокая стоимость.

Для расчета конструкций различного назначения и их прочностного анализа также применяется вычислительный программный комплекс SCAD Office, который базируется на расчете методом конечных элементов [4]. В состав системы входит высокопроизводительный вычислительный комплекс SCAD, а также ряд проектирующих и вспомогательных программ, которые позволяют комплексно решать вопросы расчета и проектирования стальных и железобетонных конструкций. Комплекс предназначен для расчета напряженно-деформированного состояния, анализа устойчивости, а также решение задач статики и динамики.

В состав ПК SCAD Office входят программы-сателлиты для расчета и проектирования различных элементов конструкций четырех основных направлений [4]:

- вспомогательные программы для расчета конструкций ПК SCAD Office (Конструктор сечений, КОНСУЛ, ТОНУС, СЕЗАМ) обеспечивают форматирование и расчет геометрических характеристик различного вида сечений стержневых элементов, определение нагрузок и воздействий на проектируемое сооружение (BeCT), импорт данных из архитектурных систем и формирование укрупненных моделей;

- проектно-аналитические программы для расчета конструкций ПК SCAD Office, предназначенные для решения частных задач проверки и расчета стальных и железобетонных конструкций в соответствии с требованиями нормативных документов (СНиП, СП), расчета элементов оснований и фундаментов;

- электронные справочники ПК SCAD Office (КоКон, КУСТ).

Рассмотрев два программных комплекса, стоит заметить, что они достаточно

хороши. Недостатком является то, что при работе с описываемыми программами необходимо хорошее аппаратное обеспечение, так как потребуются большие вычислительные ресурсы. Поэтому важно написать программный модуль, который будет решать конкретный список задач, связанных с расчетами монолитных конструкций, не будет затруднителен в установке и удобен при использовании в образовательных целях.

Данные виды продуктов, а также прогнозирование разработки новых могут быть написаны на различных языках программирования.

Для разработки программных продуктов существуют различные платформы, где представлены те или иные языки программирования, такие как PHP, JavaScript, Python, Ruby, HTML и CSS. В мобильной сфере обычно используются следующие языки – Swift, Objective-C, Java, C#. Наиболее распространенными для написания алгоритмов могут быть такие языки, как Python, JavaScript, C# и Java.

Основная цель создания языка программирования Java – сделать его кроссплатформенным, простым и безопасным языком. Помимо этого, есть также некоторые отличительные функции, которые играют важную роль в популярности этого языка.

Ниже приведен список наиболее важных функций языка Java:

- Простота. Синтаксис Java основан на C ++. Также удалены указатели и сложные, редко используемые функции. Существует автоматическая сборка мусора: Java сама удаляет неиспользовавшиеся объекты.

- Объектно-ориентированность означает, что программное обеспечение организуется как сочетание различных типов объектов, включающее в себя как данные, так и их поведение.

- Кроссплатформенность. Java не зависит от платформы, потому что он отличается от других языков, таких как C, C ++ и так далее.

- Безопасность обеспечивается запуском программы в JVM (виртуальная машина Java).

- Надежность: используется надежное управление памятью, отсутствуют указатели, позволяющие избежать проблем с безопасностью, существует автоматическая сборка мусора, которая работает на виртуальной машине Java, чтобы избавиться от объектов, которые больше не используются приложением Java. Также существует обработка исключений и механизм проверки типов.

- Архитектурно-нейтральность. Java не зависит от архитектуры, поскольку не зависит от реализации.

Python является одним из наиболее универсальных языков программирования. Простота его использования заключается в минимизации служебных символов, динамической типизации и доступном синтаксисе. Многие широко используемые задачи программирования уже включены в стандартную библиотеку, что значительно сокращает объем кода, который должен быть написан.

Индекс пакетов Python (PyPI) содержит множество сторонних модулей, которые позволяют Python взаимодействовать с большинством других языков и платформ.

Python имеет чистый объектно-ориентированный дизайн, предоставляет расширенные возможности управления процессами и обладает мощными возможностями интеграции и обработки текста, а также собственной структурой модульного тестирования, которая способствует повышению его скорости и производительности. Python считается хорошим вариантом для построения сложных многопротокольных сетевых приложений.

Несмотря на визуальную простоту, этот язык является одним из наиболее используемых, так как с его помощью доступна как работа с текстом, так и построение нейронных сетей, что открывает множество возможностей при разработке программного продукта для строительной и других сфер.

RНР – язык программирования, библиотека которого специально нацелена на программирование на стороне сервера [5]. Если предполагается разработка веб-приложения, то RНР отлично подойдет к такой цели. Его легко вставить в HTML код, что дает ему большое преимущество, тем самым можно легко смешивать верстку с программированием. Для некоторых целей это очень удобно. Также данный язык используют для программирования разной сложности. RНР доступен для разных операционных систем, таких как Windows, Linux, Mac OS. Именно RНР является самым распространенным, и поэтому в сети Интернет можно найти много справок и готовых решений. С помощью RНР можно легко настроить и расширить веб-ресурс.

К преимуществам RНР относят также возможное использование JavaScript для написания функционала модулей. При размещении на сервере такой веб-ресурс будет удобен в использовании, так как к нему будет налажен доступ с помощью использования хостинга.

Рассматривая подробнее JavaScript, можно отметить, что по сравнению с Python данный язык обладает более сложным синтаксисом, так как в нем представлено множество различных служебных символов и конструкций [6]. Названия функций далеко не всегда раскрывают суть действия, и даже простейший код имеет структурированный вид. При этом система JavaScript разнообразнее, чем Python и

предлагает наличие различных сред разработки, редакторов кода, фреймворков и библиотек, впоследствии помогающих в ходе разработки программного продукта. JavaScript незначительно уступает Python по спектру решаемых задач, но его возможности наиболее широки. Использование этого языка возможно при разработке программ на любых платформах.

Если программный продукт содержит не только описательную часть, информацию о справочных данных и элементы визуализации, то есть по итогу необходимо разработать мобильное или настольное веб-приложение, тогда эффективным и универсальным языком программирования для всех направлений разработки является C#.

C# – это простой язык в том смысле, что он обеспечивает структурированный подход (разбиение всей задачи на части), богатый набор библиотечных функций, типов данных и многое другое [7]. Программирование на C# основано на современных тенденциях разработки и является очень мощным и простым для создания масштабируемых, совместимых и надежных приложений. Также как и Java, является объектно-ориентированным языком программирования, что обеспечивает облегчение разработки и сопровождения, создаваемого программного продукта. Для обновления приложения достаточно удалить старые файлы и обновить их новыми.

Безопасность в языке C# организована следующим образом:

- все объекты и массивы инициализируются нулем динамически;
- при использовании любой неинициализированной переменной будет выдано сообщение об ошибке;
- автоматическая проверка массива.

Функциональная совместимость языка – это способность кода взаимодействовать с кодом, написанным с использованием другого языка программирования. Взаимодействие языков может помочь максимизировать повторное использование кода и, следовательно, повысить эффективность процесса разработки.

C# обеспечивает поддержку использования объектов COM, независимо от того, какой язык использовался для их создания. C# также поддерживает специальную функцию, которая позволяет программе вызывать любой собственный API.

Проведя анализ инструментальных средств, для реализации задач, поставленных в ходе разработки программного модуля расчета строительных конструкций, следует выбрать язык программирования Java. Так как в нем заключены все необходимые функции, в частности библиотека Swing, с помощью которой работать с графическим интерфейсом будет гораздо удобнее. Java – объектно-ориентированный язык

программирования, что дает возможность использовать объекты и классы и обращаться к различным методам из других классов, делая короче программный код.

Кроме рассмотрения существующих программных продуктов и языков программирования, для реализации разработки программы в рамках цифровизации строительных расчетов следует учитывать исходные параметры, наличие справочных материалов и визуализированных элементов.

#### Литература

1. Голова Т.А. Определение напряженно-деформационного состояния многослойной конструкции стены малоэтажного здания / Т.А. Голова, О.В. Виштак, Д.А. Фролов // Сборник научных докладов «Общества знаний». – Варшава: ООО «Диаманд Трейдинг тур». – С. 8-15.

2. Автоматизация в строительстве. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580518310914> (дата обращения: 15.04.2020).

3. Программа для проектирования и расчета строительных конструкций. [Электронный ресурс] URL: <https://www.liraland.ru/lira/> (дата обращения: 15.04.2020).

4. SCAD Office 21.1. [Электронный ресурс] URL: <https://www.csoft.ru/catalog/soft/scad-office/scad-office.html> (дата обращения: 15.04.2020).

5. PHP. [Электронный ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/PHP> (дата обращения: 15.04.2020).

6. Введение в JavaScript. [Электронный ресурс] URL: [https://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/JavaScript/GuideВведение\\_в\\_JavaScript](https://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/JavaScript/GuideВведение_в_JavaScript) (дата обращения: 15.04.2020).

7. Введение в C#. [Электронный ресурс] URL: <https://metanit.com/sharp/tutorial/1.1.php> (дата обращения: 15.04.2020).

8. Виштак О.В. Моделирование информационной системы расчета монолитных строительных конструкций / О.В. Виштак, И.А. Штырова, Я.А. Глебова // В сборнике статей VII Международной научно-практической конференции «Стратегическое развитие инновационного потенциала отраслей, комплексов и организаций». – Изд-во: Пензенский государственный аграрный университет, 2019. – С. 41-44.

**Ускорение рендеринга в 3D-Blender  
с использованием технологии распределенного рендеринга  
на основе вычислительного кластера для ОС АстраЛинукс**

Горин Дмитрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры

«Бухгалтерского учета и автоматизации»;

Диянов Ярослав Сергеевич, курсант факультета

«Организация вещевого обеспечения»;

Пестов Владислав Александрович, курсант факультета

«Организация вещевого обеспечения»

Филиал федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева»

Министерства обороны Российской Федерации в г. Вольске

*В статье рассмотрен способ ускорения рендеринга изображения с использованием вычислительного кластера и программного обеспечения для создания вычислительного кластера, разработанного для ОС АстраЛинукс и Blender в Вольском военном институте материально-технического обеспечения.*

В настоящее время информационные технологии развиваются стремительно. Каждый из нас постоянно сталкивается с таким понятием, как компьютерная графика. Компьютерная обработка и создание изображений уже давно определяют такие направления нашей деятельности: телевидение, дизайн, медицина, виртуальная и дополненная реальность в играх и обучении, инженерном проектировании и т. д.

Трехмерная графика или 3D-графика – это создание объемных объектов в трехмерном пространстве, объемных изображений и сцен. Создание их содержит следующие этапы: моделирование, текстурирование, риггинг (создание скелета), анимация, освещение, рендеринг (визуализация).

Существует множество различных компьютерных программ (3D-редакторов), с помощью которых можно создавать 3D-объекты и на основе этих моделей фотореалистичные изображения. К ним относятся: Autodesk Maya, Blender, Autodesk 3ds Max, Houdini, Modo, Cinema 4D, ZBrush, Autodesk Softimage, LightWave 3D, Rhinoceros 3D и др.



В настоящее время в Российской Федерации происходит импортозамещение компьютерных программ и, в частности, переход на отечественную операционную систему (ОС) АстраЛинукс.

АстраЛинукс – отечественная операционная система (ОС) на базе Debian GNU/Linux, служащая в основном для защиты конфиденциальной информации. Система в первую очередь разработана для силовых ведомств, государственных организаций и предприятий, а также для бизнес-структур.

В состав ОС включено профессиональное программное обеспечение для создания трёхмерной компьютерной графики Blender, которое содержит средства моделирования, анимации, рендеринга, постобработки и монтажа видео со звуком, компоновки с помощью «узлов» (нодов), а также для создания интерактивных игр.

Функции этого редактора:

- Русская версия.
- Большое количество встроенных примитивов: кривые Безье, полигональные модели, векторные шрифты, система быстрого моделирования в subdivision surface режиме, NURBS поверхности, метасферы, скульптурное моделирование.
- Набор инструментов анимации: инверсная кинематика, динамика мягких и твёрдых тел (на базе Bullet), нелинейная анимация, скелетная анимация и сеточная деформация, редактирование весовых коэффициентов вершин, ограничители и т. д.
- Blender 3D использует Python для создания инструментов и прототипов, системы логики в играх, движения файлов, автоматизации.
- Встроенные инструменты рендеринга и интеграция с YafRay, LuxRender и пр.

После того как созданная модель размещается на сцене, настраивается освещение и камеры, производится настройка рендеринга (программы, осуществляющие рендеринг). Рендеринг – это финишный этап обработки 3D-сцены, т. е. получение изображения по модели при помощи компьютерной программы [1].

От рендеринга зависят реалистичность и эффективность итогового изображения. Этот процесс занимает большое количество времени, так как приходится решать ресурсоемкую задачу. Так, например, для получения отрендеренного высококачественного изображения (high-quality) разрешением 2500x1400 на железе i7 – 980 (4ГГц) 16 Гб RAM потратится около 5 ч. 30 мин.

Таким образом, у современных компьютерно-сгенерированных изображений есть один недостаток – они требуют много времени для рендеринга. Часто бывает так, что не хватает вычислительной мощности одного компьютера для выполнения

поставленной задачи визуализации. Становится очевидна необходимость решения этой актуальной проблемы.

Применение распределенного рендеринга позволяет решить проблему с ускорением времени визуализации. Распределенный рендеринг осуществляют с помощью вычислительного кластера.

Группа компьютеров, предназначенных для распределенных вычислений в параллельном режиме, называется вычислительным кластером [2]. Аналогично вычислительный кластер – это группа узлов, которые переназначены для решения распределенных задач в параллельном режиме, с большой производительностью и используются как единый ресурс [3]. Каждый вычислительный узел – это компьютер или нода, которая имеет собственную оперативную память, операционную систему и т. д. Чем больше компьютеров находится в локальной сети, тем меньше времени требуется для визуализации сцены. Компьютеры в вычислительном кластере должны находиться в локальной сети, которая обладает минимальными задержками и широкой полосой пропускания информации.

Осознавая эту проблему, компании, производящие фильмы, представляют свои компьютерные анимационные изображения с гигантскими, так называемыми фермами рендеринга, которые легко обходятся в миллионы долларов за скромную установку. Причина в том, что компьютерные изображения являются по существу решениями математических уравнений, которые определяют местоположение и цвет каждого элемента изображения (пикселя) на дисплее компьютера. Это означает, что современные компьютерные графические рендеры включают в себя один из самых сложных и трудоемких видов обработки – математические операции с плавающей точкой.

Dreamworks, одно из самых известных имен в сфере компьютерной анимации, имеет ферму рендеринга, состоящую из 25000 ядер, распределенных в нескольких помещениях. Во время активного производства данный проект может использовать 20000 из этих ядер одновременно, и, согласно источнику, связанному выше, требуется 50 миллионов часов общего времени обработки компьютера (это означает количество часов, которое потребуется, если только одно ядро выполнит весь рендер).

Большинство компьютерных 3D-программ содержат в себе программные обеспечения для использования распределенных вычислений при рендеринге. Однако в основном оно используется для создания анимаций (фильмов). Не миновала эта участь и 3D-пакета Blender. Необходим способ ускорить рендеринг одного изображения, так как этого не могут сделать существующие программы.

В Вольском военном институте материально-технического обеспечения создано программное обеспечение для ускорения рендеринга одного изображения на основе вычислительного кластера.

Это программное обеспечение разработано для ОС Astra Linux и 3D пакета Blender. В основу был положен способ деления изображения на полосы и отсылке их для рендеринга на узлы кластера (компьютеры) (рис. 1). Причем мастер-компьютер в процессе рендеринга не участвует. Его задача состоит в управлении кластером: деление изображения на полосы, распределение и передача их по сети на компьютеры, которые подключены к вычислительному кластеру, по окончании рендеринга на узлах кластера получение от них отрендеренных полос изображения и сборка изображения в целом. Ускорение рендеринга практически прямо пропорционально количеству компьютеров, задействованных в вычислительном кластере.

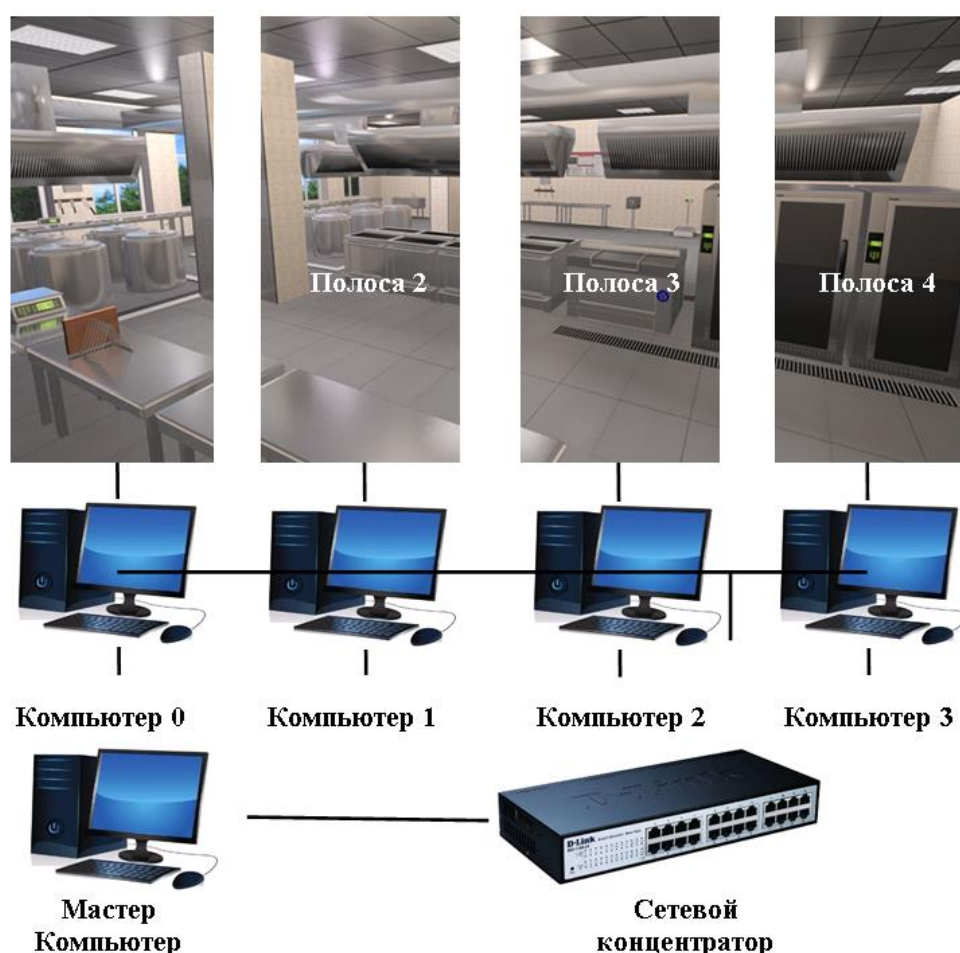
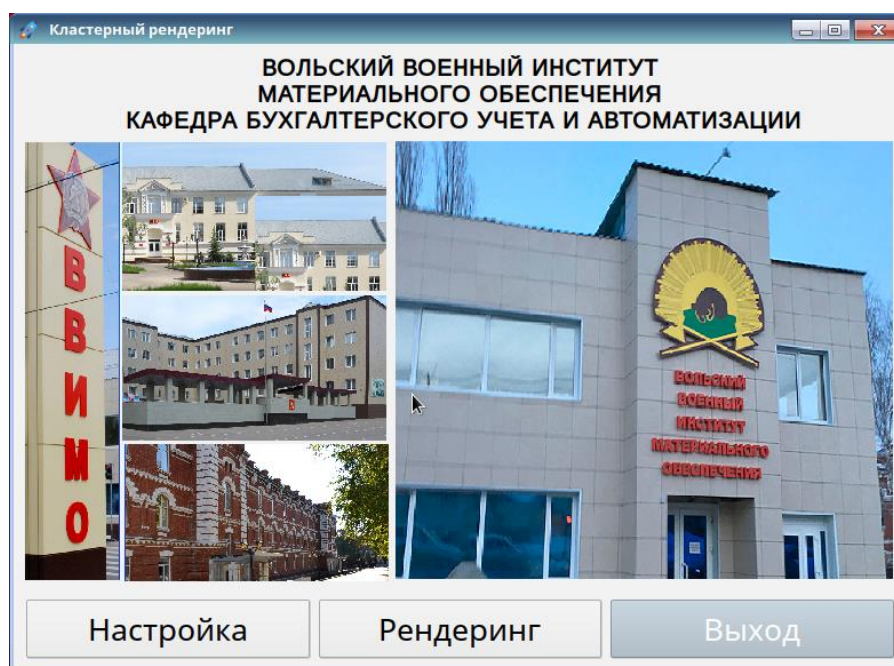


Рис. 1. Конфигурация сетевого рендера

Созданное программное обеспечение позволяет использовать любое количество компьютеров с ОС АстраЛинукс. Установка на компьютеры программного обеспечения происходит автоматически. Помимо разработанной программы дополнительно устанавливаются все необходимые дополнительные пакеты, без

привлечения установочного диска с ОС АстраЛинукс и диска для разработчиков. Кроме того, программа позволяет удаленно включать и выключать необходимые компьютеры для осуществления сетевого рендера с мастер-компьютера. Процесс настройки кластера довольно простой, что позволяет большинству пользователей использовать его (рис. 2, 3).



*Рис. 2. Программа распределенного рендеринга на основе вычислительного кластера*

Использование разработанной программы, осуществляющей технологию распределенного рендеринга на основе вычислительного кластера, позволяет уменьшить время, затрачиваемое на рендеринг. Время на рендеринг изображения, представленного на рис. 1, на одном компьютере составило 1 час 35 мин., с

использованием вычислительного кластера из 23 компьютеров составило 5 мин. 20 сек. Конечно, время это условное, так как оно зависит от размера, сложности и загруженности конкретной сцены.

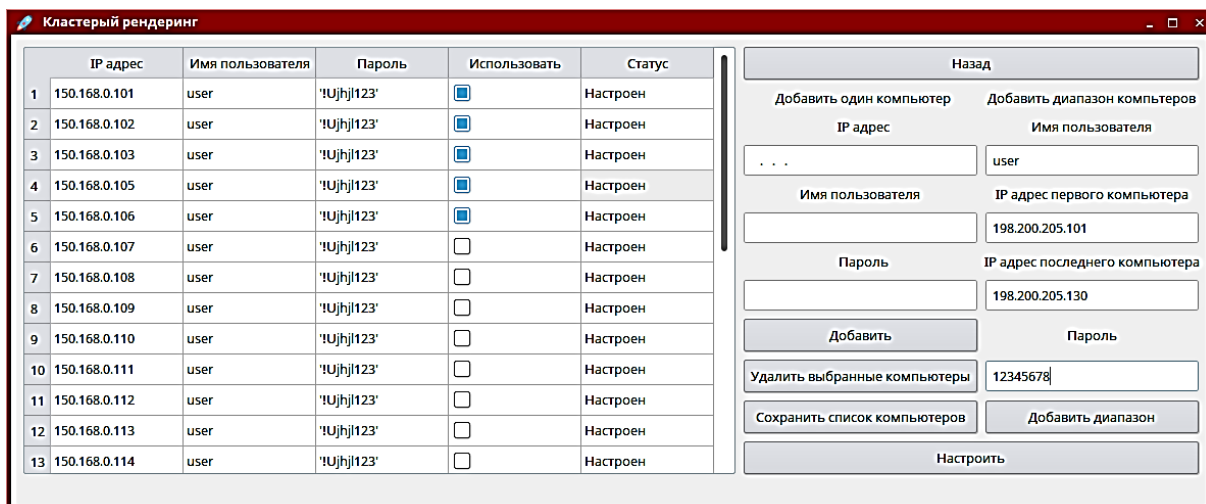
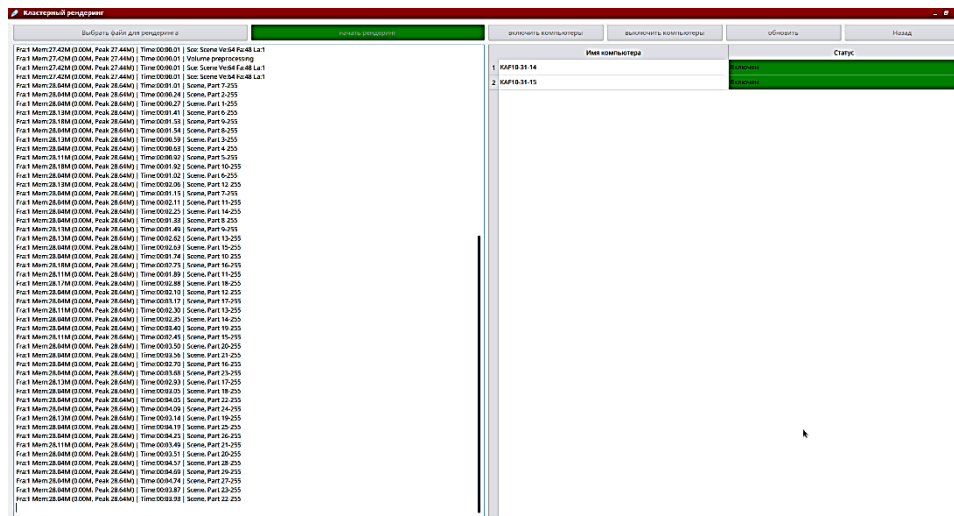


Рис. 3. Настройка вычислительного кластера и процесс рендеринга изображения

### Литература

1. Темин Г.В. 3D Studio MAX 6/7. Эффективный самоучитель / Г.В. Темин, А. Кишик. – М.: СПб: ДиаСофт, 2016. – 464 с.
2. Прахов А. Blender. 3D-моделирование и анимация. Руководство для начинающих / А. Прахов. – М.: БХВ-Петербург, 2011. – 272 с.
3. Погорелов В. AutoCAD 2009. 3D-моделирование / В. Погорелов. – М.: БХВ-Петербург, 2012. – 400 с.

## **Методы кластеризации больших данных**

Джагарян Лилия Зарзандовна, студент направления

«Информационные системы и технологии»;

Штырова Ирина Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры

«Информатика и управление в технических системах»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*На современном этапе развития информационных и телекоммуникационных технологий повышаются требования к обработке и хранению больших массивов как структурированных, так и неструктурированных данных. В связи с этим актуальными являются исследования в области методов анализа больших данных. В статье рассматриваются методы кластерного анализа, позволяющие сжимать большие массивы информации, делая их компактными и наглядными.*

На сегодняшний день информация – один из важнейших стратегических, управленческих ресурсов. Ежедневные бизнес-процессы порождают огромное количество данных. Людям становится все сложнее реагировать на динамически изменяющиеся данные, поэтому для наиболее эффективной работы с информацией ее необходимо правильно анализировать методами математической статистики, теории баз данных и ряда других областей [1]. Основным направлением научных исследований в данной области является выявление закономерностей в больших массивах данных.

Задача накопления и обработки больших данных возникает практически во всех сферах жизнедеятельности – маркетинг, социология, медицина, банковская сфера, производство, образование и так далее. Проблема обработки и анализа больших данных состоит в том, что в большей степени данные являются неструктурированными и изменчивыми [2]. Поэтому технологии больших данных (BigData) непосредственно связаны с интеллектуальным анализом данных, искусственными нейронными сетями, методами машинного обучения [3, 4, 5].

Одним из методов интеллектуального анализа данных, используемых в BigData, является кластерный анализ. Задача кластеризации заключается в делении множества объектов на группы, схожих по параметрам, которые называются кластерами. При этом число кластеров и их характеристики могут быть заранее неизвестны и определяться в ходе построения кластеров исходя из степени близости объединяемых объектов по совокупности параметров [6].

Основным достоинством кластерного анализа является то, что он позволяет производить разбиение объектов по множеству признаков. Кроме того, кластерный анализ, в отличие от большинства математико-статистических методов, позволяет рассматривать множество исходных данных практически произвольной природы.

Кластеризация большого объема данных производится в различных областях. Например, в медицине используют данный анализ для разделения заболеваний, их симптомов и способов лечения, для изучения устойчивости к препаратам и их классификации. Кластеризацию может использовать, например, турагентство для анализа базы своих клиентов, для того чтобы потом сформировать специальные предложения для выделенных групп, учитывая их особенности. В Интернете кластеризация используется для подбора рекомендаций для пользователей по их предпочтениям, а именно по просмотренным страницам и запросам.

Выделение групп потребителей в классы по определенным признакам – одна из наиболее важных задач кластеризации информации в маркетинге. В результате применения анализа создается карта, на основе которой можно понять, какие группы преобладают, какие товары их интересуют больше, какие суммы денег они готовы отдать. С помощью этой карты можно понять, оборот каких товаров и услуг необходимо увеличить или, наоборот, сократить.

Методы кластерного анализа данных делятся на две группы: иерархические и неиерархические.

Иерархическая кластеризация заключается в разделении больших кластеров на меньшие и, наоборот, на объединении нескольких меньших в большие. Основными методами иерархической кластеризации являются [7]:

- Агломеративный метод AGNES (Agglomerative Nesting) – метод последовательного объединения элементов для уменьшения числа кластеров. Метод состоит из шагов, на каждом из которых наиболее похожие объекты объединяются в кластер. На последнем шаге все объекты составляют один кластер.

- Алгоритм CURE (Clustering Using Representatives) – кластеризация больших объемов числовых данных с использованием определяющих точек. На первом шаге строится дерево кластеров, которое состоит из строк входных данных. На втором шаге кластеры сортируются по дистанции. Расстояние определяется по двум ближайшим элементам из соседних кластеров по «манхеттенской» метрике или похожей на нее функции. На третьем шаге происходит слияние кластеров. Новый кластер получает все точки входящих в него входных данных. Для расчета расстояния кластеры делятся на две группы: первая – кластеры, у которых ближайшими считаются кластеры, входящие

в новообразованный кластер, во вторую группу входят все остальные. После этого кластеры становятся новообразованными по определенным правилам.

– Дивизимный метод DIANA (Divisive Analysis) – метод последовательного разделения исходного кластера и увеличения общего числа кластеров. То есть из одного большого кластера получают много небольших по объемам кластеров путем последовательного расщепления по группам.

– Алгоритм BIRCH (Balanced Iterative Reducing and Clustering using Hierarchies) – алгоритм кластеризации очень больших наборов числовых данных.

На первой фазе происходит загрузка данных – построение начального кластерного дерева. Вторая фаза сопровождается сжатием данных до приемлемых размеров благодаря уменьшению дерева. Третья фаза – глобальная кластеризация. Четвертая фаза улучшает кластеры и гарантирует попадание одинаковых данных в один кластер.

Неиерархическая кластеризация основана на разделении, которое представляет собой итеративный метод дробления исходных данных. К неиерархическим относятся следующие методы кластеризации [2]:

– Алгоритм k-средних (k-means) – алгоритм, строящий кластер по принципу «средние в кластерах должны максимально отличаться друг от друга». Основной тип задач, которые решает алгоритм k-средних, – наличие предположений (гипотез) относительно числа кластеров, при этом они должны быть различны настолько, насколько это возможно. Число k может базироваться на результатах исследований, теоретических соображениях или интуиции. На первом этапе объекты распределяются по кластерам. На втором этапе вычисляются средние кластеры и перераспределяются объекты до тех пор, пока кластеры не стабилизируются.

– Алгоритм PAM (partitioning around medoids) – аналогичный алгоритму k-средних, единственное различие в том, что объекты распределяются относительно медианы, а не центра кластера. На входе множество S с разбиением на k кластеров, на выходе – S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, ..., S<sub>k</sub>.

– Алгоритм HCM (Hard C – Means) – кластеризация больших наборов числовых данных. На первом шаге алгоритма инициализируются кластерные центры. На втором шаге вычисляется рядовая матрица. Третий шаг сопровождается расчетом объектной функции и выходом из цикла в том случае, если полученное при расчетах значение ниже пороговой величины. На четвертом шаге выполняется перерасчет кластерных центров. После чего происходит переход на второй шаг.



Таким образом, процесс интеллектуального анализа информации представляет собой циклический поток данных, который разбивается на группы, отличающиеся по определенным признакам. При неиерархической кластеризации достигается высокая устойчивость по отношению к выбросам и некорректному выбору метрики, но необходимо заранее определить количество кластеров, количество итераций или правило остановки. Достоинствами иерархической кластеризации является наглядность и детальное представление о структуре данных.

#### Литература

1. Фролов М.В. Использование OLAP-технологий для оптимизации обработки данных в информационной системе вузовского центра дополнительного образования / М.В. Фролов, О.В. Виштак // Сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции «Современные технологии в атомной энергетике». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – Т. 1. – С. 114-116.
2. Болбаков Р.Г. Большие данные в информационных науках / Р.Г. Болбаков // Образовательные ресурсы и технологии. – 2017. – № 1 (18). – С. 30-35.
3. Рябенков Р.А. Машинное обучение / Р.А. Рябенков, И.В. Михеев // Сборник трудов II Международной научно-практической конференции «Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2020. – С. 224-228.
4. Сидоренко Д.Е. Анализ возможности использования нейронных сетей для оценки качества программных продуктов / Д.Е. Сидоренко, И.В. Михеев // Сборник трудов II Международной научно-практической конференции «Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2020. – С. 242-247.
5. Штырова И.А. Использование методов интеллектуального анализа данных в обучающих системах / И.А. Штырова, О.Н. Губатенко // Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Проблемы развития предприятий энергетической отрасли в условиях модернизации российской экономики и общества». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – С. 116-119.
6. Замятин А.В. Интеллектуальный анализ данных: учеб. пособие / А.В. Замятин. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2016. – 120 с.
7. Шитиков В.К. Классификация, регрессия, алгоритмы DataMining с использованием R. [Электронный ресурс] URL: <https://github.com/ranalytics/data-mining> (дата обращения: 10.04.2020).

## **Библиотеки OpenGL и DirectX: история и перспективы**

Крылова Ирина Олеговна, студент направления  
«Педагогическое образование»;

Ходакова Нина Павловна, доктор педагогических наук, профессор департамента  
«Методика обучения»

Государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
города Москвы «Московский городской педагогический университет», г. Москва

*В статье раскрываются основные этапы создания и развития библиотеки OpenGL и DirectX. Проведен анализ функциональных возможностей библиотек, показаны их преимущества.*

В 21 веке, когда технологии, казалось бы, превосходили все ожидания, никого не удивишь компьютерной графикой. Однако настоящую популярность она приобрела за счет компьютерных игр. Именно в них на максимальном уровне используется трехмерная графика.

OpenGL – это графический стандарт в области компьютерной графики. Компанией, начавшей разработку OpenGL была Silicon Graphics (SGI). Они специализировались на создании графического оборудования и программных средств. В то время они являлись лидерами в трехмерной графике.

Библиотека не может быть одна на все времена – она должна развиваться, особенно в эпоху научно-технического прогресса, когда каждое техническое устройство может поддерживать графические функции.

Microsoft совместно со своими операционными системами реализует библиотеку OpenGL. Она соответствует одной из первых версий OpenGL. Не нуждается в применении ресурсов аппаратного ускорения. Минус – заполняют данные видео карт. Именно с их помощью предоставляется реализация OpenGL.

В начале 90-х годов 20 века данную библиотеку стали использовать в широких областях науки. Она оказалась настолько удачно построенной, что дальнейшее ее изменение было не нужным. OpenGL считалась эталоном компьютерной графики. Но и тут она имела минусы. Библиотека развивалась очень медленно. Однако, большой проблемой это не считали, так как изначально она использовалась только специалистами в технической сфере. Поэтому обновлять их часто не было смысла. Однако сейчас, в эпоху технического прогресса даже самые простые видео карты превосходят по возможностям карты прошлого века. И к тому же обновления

происходят несколько раз в год. Но и в наше время производителям игр приходится прибегать к использованию механизмов расширений (extensions), чтобы иметь возможность использовать новые функции видео карт.

Несмотря на некоторые недостатки в обновлении данной библиотеки, сама по себе она имеет несколько преимуществ перед другими:

- стабильность. В случаях, когда программист вынужден использовать дополнения, система сохранит то, что было разработано совместно с разработками программного обеспечения;

- надежность и переносимость. Не важно какую операционную систему использует программист – результат будет неизменен. Используемые нами приложения также можно будет запустить не только на персональном устройстве, но и на рабочих станциях;

- легкость применения. Данная библиотека имеет достаточно легкую в использовании структуру. В ней достаточно хорошо продуманы все малейшие детали. Это способствует использованию приложения без нежелательных затрат.

К настоящему времени OpenGL претерпела большие изменения. Она прошла свой путь от 1.0 до версии 4.6. и нам остаётся только гадать, какие изменения в компьютерной графике принесет она.

DirectX представляет собой набор из нескольких API (application programming interface – интерфейс программирования приложений), позволяющих разработчикам игр и других интерактивных приложений получать доступ к специфическим функциям аппаратного обеспечения без необходимости написания аппаратно-зависимого программного кода. До того, как компания Windows представила нам новую модель операционной системы, а именно Windows 95, большая часть игр делалась для MS-DOS (Microsoft Disk Operating System) – дисковая операционная система.

Компания не имела возможностей для программирования игр. Введенные для совместимости и универсальности абстракции делали доступ к звуковому и видеооборудованию весьма медлительным. Для игровых приложений это было неприемлемо. Поэтому было принято решение разработать такую библиотеку, которая давала бы возможность напрямую действовать с аппаратурой. Это давало бы играм возможность работать на приемлемой скорости.

Microsoft не стали создавать собственную API систему. Вместо этого они позаимствовали разработку у компании RenderMorphic. Интегрировали её в Game SDK. Компания видела это как идеальное решение для создания игр. Спустя какой-то промежуток времени компания назвала данную библиотеку DirectX. Однако, большую

популярность она не приобрела. Библиотека оказалось сложной в использовании, была слишком медленной, и имела много ошибок в процессе программирования.

На протяжении большого промежутка времени DirectX считался неудачной альтернативой OpenGL. Однако благодаря улучшениям в системе API библиотека стала гораздо лучше. Благодаря разработчикам операционной системы скорость работы DirectX с графикой весьма оптимальна. И помимо хорошей графики DirectX может порадовать нас интерфейсами для работы с источниками ввода, со звуком, мультимедией и т. д. В свою очередь OpenGL не подразумевает таких функций, она является чисто графической библиотекой.

Подводя итоги, хотелось бы сказать, что за информационными технологиями будущее. Поэтому на данном этапе развития эти библиотеки не останутся. Они уже сейчас на много облегчают жизнь человеку. А в будущем их развитие может дойти до такой степени, что мы, наверное, сможем проецировать человека для разговора. И использовать эти технологии там, где сейчас мы и представить себе не можем.

#### Литература

1. Игнатенко А. OpenGL и DirectX: взгляд изнутри / А. Игнатенко // Компьютерная графика и мультимедиа. – № 2 (1). – 2004.
2. Ковтунов Д.С. Обзор спецификации OpenGL. – Вестник науки и образования. – Т.2. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-spetsifikatsii-opengl/viewer> (дата обращения: 11.04.2020).

УДК 004.414.3

#### **Проектирование web-приложения для образовательного учреждения с использованием объектно-ориентированного подхода**

Мануйлова Екатерина Игоревна, студент направления  
«Информационные системы и технологии»;

Штырова Ирина Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Информатика и управление в технических системах»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*Использование возможностей web-приложения для учета успеваемости и информирования о ходе учебного процесса позволяет обеспечить эффективный контроль учебной деятельности обучающихся школы искусств. Важным этапом*

*разработки web-приложения является его проектирование. Применение объектно-ориентированного подхода на этапе проектирования позволяет получить модель web-приложения, полностью соответствующую идеям объектно-ориентированного программирования, что значительно упрощает дальнейшую разработку.*

Использование информационных и телекоммуникационных технологий в образовательной деятельности учреждений дополнительного образования способствует расширению рамок процесса обучения, повышению эффективности учебной деятельности учащихся. В связи с этим информатизация учреждений дополнительного образования является сегодня актуальной задачей [1].

Одной из проблем организации учебного процесса учреждений дополнительного образования, в частности школы искусств, является контроль над учебной деятельностью. Использование web-приложения для учета текущей и итоговой успеваемости позволит улучшить организацию и контроль учебной деятельности, а также обеспечить оперативное информирование о результатах обучения участников образовательного процесса [2, 3].

Для образовательных учреждений в настоящее время имеется большое количество web-ресурсов, позволяющих проводить контроль и учет успеваемости. Такие web-ресурсы предоставляют большие возможности учета успеваемости обучающихся и облегчают каждодневную бумажную рутину сотрудников школы, а также предоставляют родителям обучающихся возможность контроля успеваемости своего ребенка. Примерами данного вида web-сервисов являются Дневник.ру, ЭДУ, 1С:Образование, ЭлЖур, Баллов. Нет. Однако они не учитывают особенностей учреждения дополнительного образования. Следовательно, для организации эффективной процедуры учета успеваемости учеников детской школы искусств, отвечающей современным требованиям и реализации взаимодействия педагогических работников и родителей учеников, необходимо создание web-приложения, представляющего собой программный модуль, доступ к которому организован посредством информационно-коммуникационных технологий через сеть Интернет.

Сотрудники школы искусств: педагогические работники – преподаватели, концертмейстеры, получают возможность заносить и сохранять в электронном виде данные об успеваемости учеников школы. Заведующие отделениями и заместитель директора по учебно-воспитательной работе получают возможность просмотра всей информации об успеваемости: заведующие отделениями – по своему отделению, заместитель директора по учебно-воспитательной работе – по всем отделениям школы. Также они смогут вносить изменения в данные успеваемости учеников школы.

Ученики школы и их родители получают возможность просматривать данные, предназначенные конкретному ученику согласно своему профилю прав доступа.

Проектирование является неотъемлемым этапом разработки информационной системы, в том числе и web-приложения [4, 5]. На этапе проектирования определяются требования к web-приложению, разрабатывается модель. Модель системы может создаваться на основе различных технологий и с использованием различных методов представления моделируемой системы. Одним из способов представления информационной системы является её представление в виде взаимодействующих друг с другом объектов, каждый из которых обладает некоторым набором свойств и функций, а также ограничений по связи с другими объектами [4, 5].

Разрабатывая объектно-ориентированную модель web-приложения для учета успеваемости учеников детской школы искусств, для графического описания используем унифицированный язык моделирования UML, позволяющий представлять объекты и процессы системы в виде диаграмм [6].

На первом этапе разрабатывается диаграмма вариантов использования, которая является наиболее общим способом представления взаимодействий между действующими лицами системы и самой системой [7]. Вместе с тем диаграмма вариантов использования отображает всю совокупность функциональных возможностей проектируемого web-приложения. Для построения диаграммы выделяем действующих лиц (актеров): педагогический работник, заведующие отделениями, заместитель директора по учебно-воспитательной работе, обучающиеся и их родители, а также прецеденты – сценарии, выполняемые системой при взаимодействии с данными актерами (рис. 1).

Диаграммы последовательности в языке UML позволяют отобразить для заданных объектов на временной оси их жизненный цикл, а также взаимодействие объектов в пределах необходимого прецедента [7].

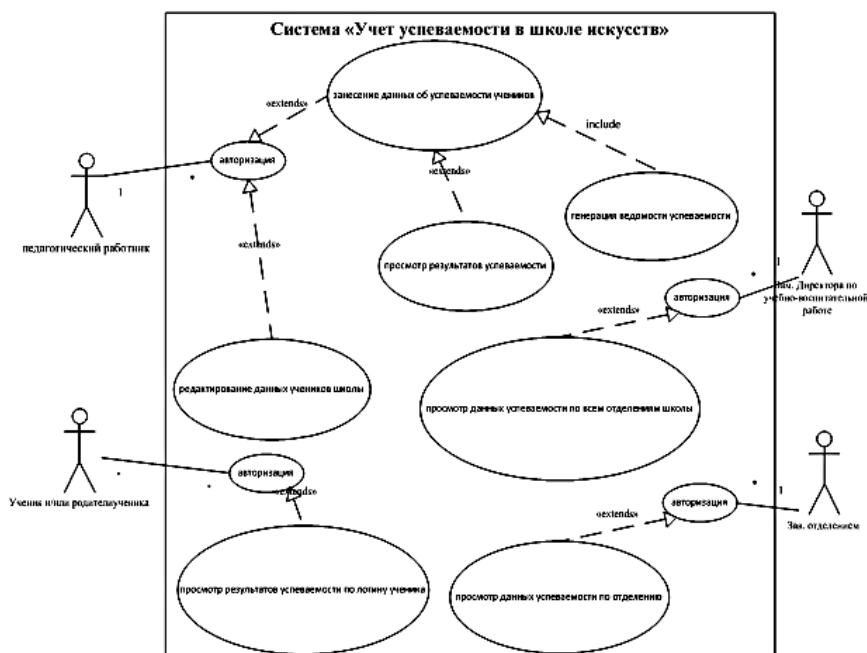


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования для разрабатываемого web-приложения

Представим в виде диаграммы последовательности процесс занесения педагогическим работником данных об успеваемости обучающихся (рис. 2).



Рис. 2. Диаграмма последовательности

На данном этапе выделены объекты: Педагогический работник, Форма авторизации (аутентификации), База данных учеников, Страницы успеваемости по группе, Оценка. Кроме того, на диаграмме отображено взаимодействие объектов, распределенное во времени, в виде обмена сообщениями.

Для моделирования процесса выполнения операций в языке UML используются диаграммы состояний. На диаграмме состояний отображается логика или

последовательность перехода от одной деятельности к другой, при этом внимание фиксируется на результате деятельности [7].

Разработанная диаграмма состояний для процесса внесения данных об успеваемости педагогическим работником представлена на рис. 3.

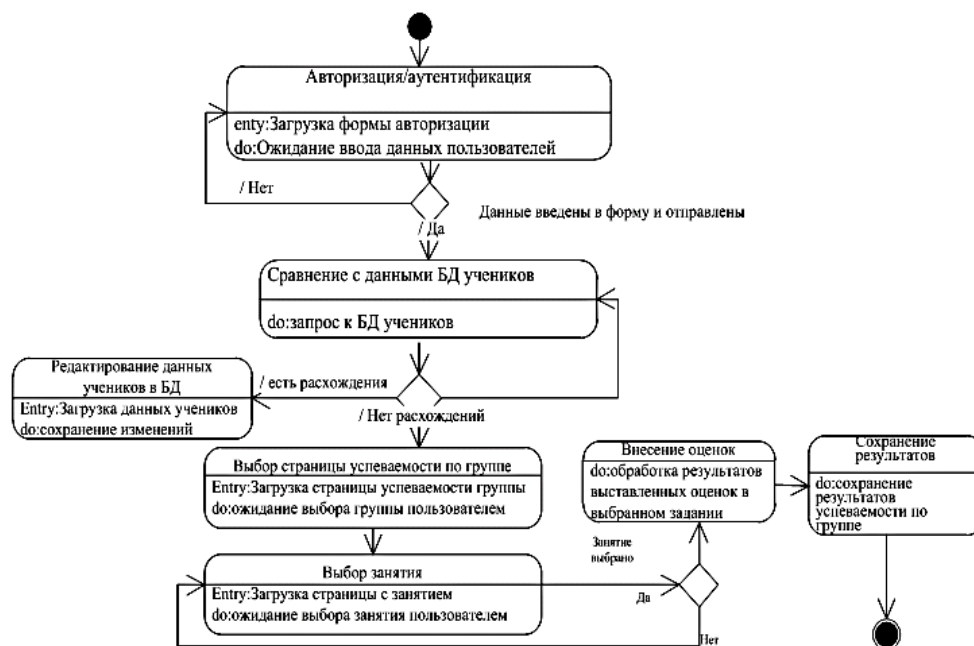


Рис 3. Диаграмма состояний

В данном процессе можно выделить последовательность состояний:

1 – Авторизация (аутентификация): форма для авторизации (аутентификации) пользователя – в данном случае педагогического работника; происходит проверка и обработка данных, введенных педагогическим работником.

2 – Сравнение с данными в БД учеников: осуществление запроса на сравнение введенных данных учеников с данными, уже имеющимися в БД.

3 – Редактирование данных учеников в БД при расхождении: загрузка данных учеников и сохранение изменений.

4 – Выбор страницы успеваемости по группе: загрузка страницы успеваемости группы и ожидание выбора группы пользователем.

5 – Выбор занятия: загрузка страницы с занятием и ожидание выбора занятия пользователем.

5 – Внесение оценок: обработка результатов выставленных оценок в выбранном задании.

6 – Сохранение результатов: сохранение результата успеваемости по группе.

Разработанные диаграммы вариантов использования, последовательности и состояний представляют собой законченную логическую модель web-приложения для



учета успеваемости школы искусств, так как представляют разработчику различные формы отображения объектов и их поведения.

#### Литература

1. Затулин А.Г. Информационный ресурс как обязательный компонент деятельности центра дополнительного образования / А.Г. Затулин, О.В. Виштак // Сборник статей участников V Международной научно-практической конференции «Современные web-технологии в цифровом образовании: значение, возможности, реализация». – Арзамас: Арзамасский филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», 2019. – С. 519-523.

2. Паршин Г.К. Система критериев для веб-приложений, используемых в учебном процессе высшей школы / Г.К. Паршин, И.В. Михеев // Сборник трудов I Международной научно-практической конференции «Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2019. – С. 185-191.

3. Яковлева Е.А. Информационная система поддержки мониторинга результативности обучения / Е.А. Яковлева, Н.М. Виштак // Сборник трудов научно-практических конференций «Современные технологии в атомной энергетике». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2016. – Т. 1. – С. 109-112.

4. Виштак Н.М. Проектирование тематических web-квестов / Н.М. Виштак, И.А. Штырова // Сборник статей участников V-ой Международной научно-практической конференции «Современные образовательные web-технологии в системе школьной и профессиональной подготовки». – Арзамас: Арзамасский филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», 2017. – С. 175-179.

5. Виштак Н.М. Принципы проектирования образовательных web-квестов / Н.М. Виштак, Н.П. Ходакова, Е.А. Яковлева // Сборник статей участников Международной научно-практической конференции «Развивающий потенциал образовательных web-технологий». – Арзамас: Арзамасский филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», 2018. – С. 76-81.

6. Виштак О.В. Моделирование информационной системы расчета монолитных строительных конструкций / О.В. Виштак, И.А. Штырова, Я.А. Глебова // Сборник статей VII Международной научно-практической конференции «Стратегическое

развитие инновационного потенциала отраслей, комплексов и организаций». – Пенза: РИО ПГАУ, 2019. – С. 41-44.

7. Буч Г. Язык UML. Руководство пользователя / Г. Буч, Д. Рамбо, И. Якобсон. – М.: ДМК-Пресс, 2007. – 496 с.

УДК 004.932.2

### **Компьютерное количественное исследование структуры материала**

Наранович Оксана Ивановна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры  
«Информационные технологии и физико-математические дисциплины»;

Водопьян Наталия Викторовна, старший преподаватель кафедры

«Технология и оборудование машиностроения»;

Мазур Сергей Александрович, студент специальности

«Информационные системы и технологии»

Учреждение образования «Барановичский государственный университет»,

г. Барановичи, Республика Беларусь

*В статье предложен способ количественного исследования структуры материала средствами компьютерных информационных технологий.*

К задачам профессиональной деятельности инженера-программиста можно отнести разработку, модернизацию, внедрение, адаптацию и использование информационных систем и технологий. При реализации данных задач специалист должен владеть современными методами, языками, технологиями и инструментальными средствами проектирования и разработки программных продуктов, а также уметь создавать программные средства и системы обеспечения автоматизированной поддержки решения задач профессиональной деятельности [1].

Тема исследовательского проекта формируется из конкретной инженерной задачи, ориентированной на наиболее актуальные проблемы по освоению новых информационных систем и технологий, созданию программных продуктов нового поколения, комплексных систем защиты объектов информации.

Высокая динамика развития современной техники влечет за собой применение новых материалов, обладающих специальными свойствами. В настоящее время существенно расширился спектр материаловедческих объектов вследствие появления новых по составу материалов, а также методов их получения и обработки. Расширение

спектра анализируемых объектов требует совершенствования существующих и создания новых методов их анализа. Результативность исследований материалов зависит от качественных и количественных методов анализа структуры, предполагающих использование современных средств компьютерной техники и математической обработки экспериментальных данных [2].

Применение компьютерных технологий позволяет обрабатывать и анализировать изображения микроструктур материалов. На современном этапе развития металловедения наиболее рациональной и эффективной является строго количественная оценка микроструктуры различных сплавов [3].

Совершенствование металлографических методов и компьютерных средств для измерения, анализа, определения, обработки, и прогнозирования свойств структуры металлических сплавов является достаточно актуальной и практической задачей [4].

Нами было разработано клиент-серверное программное приложение для определения площади, занимаемой каждой структурой, и её процентное содержание в исследуемом образце. Приложение предоставляет возможность пользователю выделить область структуры на изображении. Расчеты размеров и процентного содержания материала обрабатываются сервером и далее передаются клиенту. У сервера предусмотрена возможность обслуживать несколько клиентов одновременно.

Для работы приложения сначала необходимо запустить сервер. После запуска сервер будет ожидать подключения клиента. Каждый новый клиент обрабатывается сервером в отдельном потоке.

После успешного запуска сервера пользователи могут производить работу с изображением с помощью клиентского приложения. При нажатии на кнопку «Загрузить» загружаем изображение из файловой системы. Загрузка цветных изображений осуществляется в формате BMP и JPG, PNG. Результат загрузки изображения представлен на рис. 1.

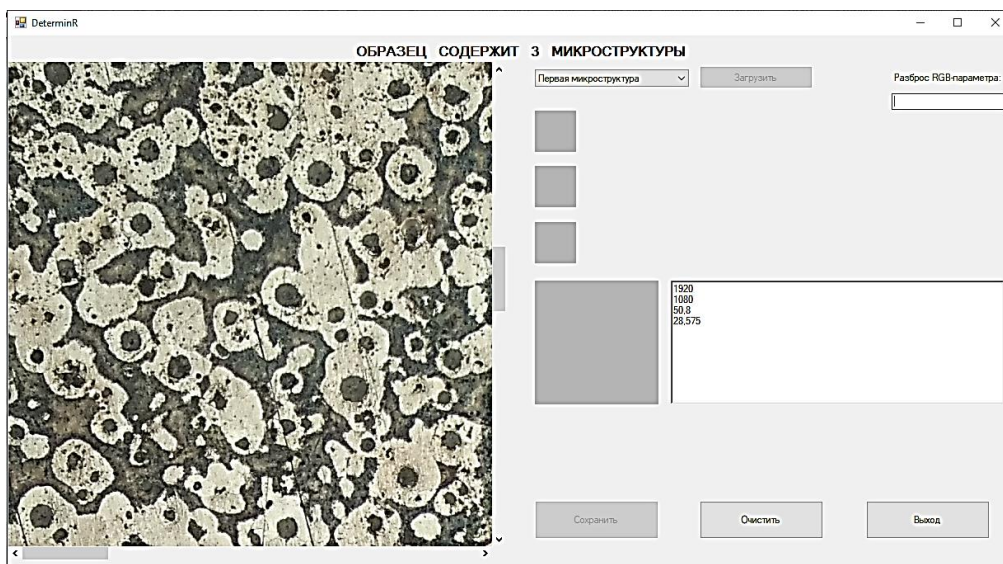


Рис. 1. Загрузка изображения в клиентское приложение

После загрузки изображения вводим разброс RGB параметра. RGB – аддитивная цветовая модель, как правило, описывающая способ кодирования цвета для цветовоспроизведения с помощью трёх цветов (красного, зеленого, синего) [5]. Изображение в данной цветовой модели состоит из трёх каналов. Данный RGB-параметр показывает максимальное отклонение каждого цвета из модели RGB для каждого пикселя в выделенной области. Выделяем двумя точками область. Сразу после установки второй точки выполняется выделение области и дальнейший расчет с выводом результата, отображающего процентное отношение подобных областей, выделенной области, на всем изображении. На рис. 2 представлен результат распознавания.

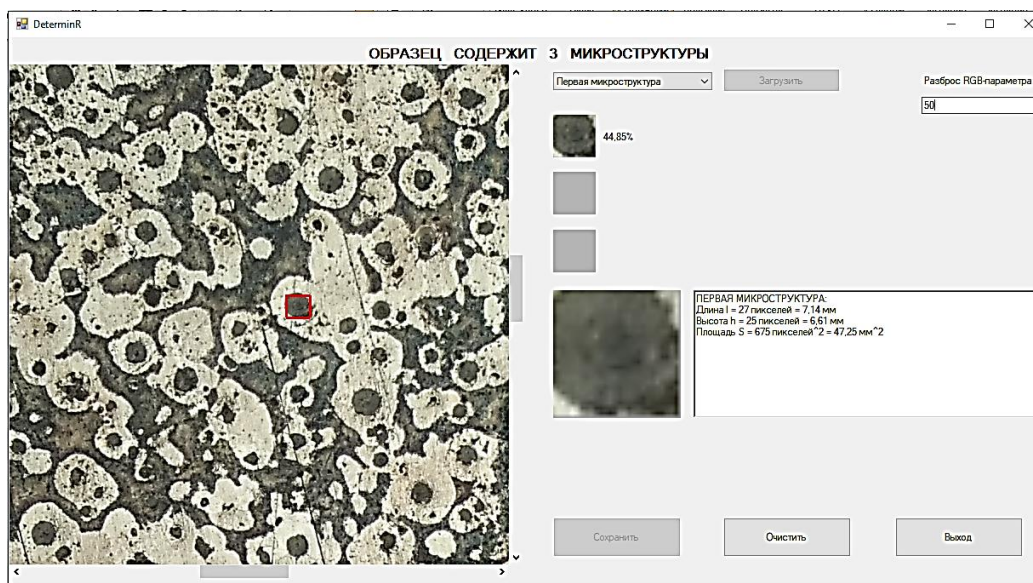


Рис. 2. Результат распознавания структуры образца

После проведения распознавания трех микроструктур результаты можно

сохранить в файл при нажатии на кнопку «Сохранить».

Результат сохранения полученных при расчете данных представлен на рис. 3.

```
FIRST
RGB: 50
W: 27 pixels = 7,14 mm
H: 25 pixels = 6,61 mm
S: 675 pixels^2 = 47,25 mm^2
percent: 44,85%

SECOND
RGB: 50
W: 46 pixels = 12,17 mm
H: 35 pixels = 9,26 mm
S: 1610 pixels^2 = 112,71 mm^2
percent: 35,52%

THIRD
RGB: 50
W: 43 pixels = 11,38 mm
H: 58 pixels = 15,35 mm
S: 2494 pixels^2 = 174,59 mm^2
percent: 29,1%
```

*Рис. 3. Отчет о процентном составе структур в образце*

Данный программный продукт может использоваться для проведения количественного исследования структуры материала, определения размерных характеристик и объемной доли структуры для последующей статистической обработки. Полученное количественное описание микроструктуры материала дает возможность регулировать комплекс физико-механических и эксплуатационных свойств, что приводит к повышению качества изделий, изготавливаемых из данных материалов.

Таким образом, при использовании технологий среды Microsoft Visual Studio 2019 было разработано клиент-серверное приложение для определения процентного содержания трех структур материала в образце. Проведенный вычислительный эксперимент и тестирование программного продукта показали допустимую устойчивость получаемых результатов расчета в пределах 10 %.

#### Литература

1. Наранович О.И. Инновационные подходы в подготовке инженеров программистов / О.И. Наранович, А.В. Никишова // Материалы Международной научной конференции «Проблемы и перспективы инновационного развития университетского образования и науки». – Гродно: ГрГУ, 2015. – С. 139-141.
2. Анисович А.Г. Практика металлографического исследования материалов / А.Г. Анисович, И.Н. Румянцева. – Минск: Беларус. навука, 2013. – 221 с.

3. Стась О.М. Комп'ютерні методи дослідження в металографічному аналізі / О.М. Стась, В.П. Гаврилюк // Методи дослідження та контролю якості металів. – 2000. – № 1-2. – С. 48-52.

4. Повстяной О.Ю. Комп'ютерні методи дослідження в металографічному аналізі за допомогою прикладних програм / О.Ю. Повстяной, О.В. Заболотний, І.І. Чміль // Науковінотатки. – Луцьк: ЛДТУ, 2004. – Випуск 15. – С. 244-251.

5. Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature. – N.Y.: Freeman. – San Francisco. – 1982. – P. 351.

УДК 004.4

### **Сравнительный анализ платформ для онлайн-обучения**

Нестеренко Владислав Андреевич, студент направления

«Информационные системы и технологии»;

Фролова Марина Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры

«Информатика и управление в технических системах»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*В статье проведен сравнительный анализ платформ для онлайн-обучения. Приводятся статистические данные по текущему рынку. Делаются выводы по выбору наиболее предпочтительной платформы.*

На данный момент развитие всех сфер деятельности находится на стадии технологического прорыва и внедрения новых технологий. Образование также не является исключением из правила и претерпевает существенные изменения. Сфера образования является одной из наиболее передовых и инновационных отраслей, которые развиваются с большой скоростью, набирают большие обороты, а внедрение современных технологий в процесс обучения является прогрессивным способом расширения возможностей. Инновации в образовании развиваются в сторону увеличения в образовательном процессе использования информационных технологий, а также внедрения элементов электронного и дистанционного обучения (ДО).

ДО на данный момент времени подразумевает обучение с использованием технического оснащения, средств связи и специального программного обеспечения при удаленном нахождении преподавателя и студента.

Из главных преимуществ ДО следует выделить облегчение графика и гибкость в планировании дел – человек может в любое доступное и удобное ему время воспользоваться необходимыми сервисами и получить интересующую его информацию.

Существует очень много площадок для дистанционного обучения или обучения с использованием элементов электронного обучения, но при выборе конкретной площадки следует определить для себя конкретную стратегию и цели внедрения той или иной платформы. При организации дистанционного обучения необходимо выяснить его характер: электронизация учебного процесса или открытие именно дистанционного обучения.

Существует много классификаций образовательных платформ. Условно по критерию выбора цели внедрения системы дистанционного обучения (СДО) можно подразделять на:

- платформы для внедрения дистанционного обучения в школах, вузах;
- системы для внедрения некоторых элементов дистанционного обучения, то есть для электронизации учебного процесса;
- платформы для корпоративного обучения;
- платформы для проведения бизнес-тренингов.

Elearningindustry был проведен анализ систем управления обучением с точки зрения пользовательского опыта и на базе клиентского опыта [1].

В первом случае общий балл рассчитывается по взвешенному алгоритму, который объединяет удобство использования системы, воспринимаемую полезность и показатель NetPromoterScore (NPS) на основе отзывов пользователей. Во втором случае общий балл рассчитывается по взвешенному алгоритму, который объединяет оценки удовлетворенности клиентов (CSAT), клиентских усилий (CEF) и ожидания клиентов (CEX) на основе отзывов пользователей [1]. Результаты анализа учебных систем, вошедших в ТОП-20 и учитывающих пользовательский опыт, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Оценка учебных СДО на основе пользовательского опыта

№	СДО	Оценка	Вариант использования	Размещение
1	Looop	90	Комплаенстренинг, обучение клиентов, сотрудников	Настольное приложение, мобильное приложение, сервис, облако
2	iSpringLearn	86	Комплаенстренинг, обучение клиентов, сотрудников	Self-Hosted Cloud-based, Self-Hosted System, мобильное приложение
3	Skolera	84	Академическое обучение	Self-HostedCloud-based, мобильное приложение, ПО сервис, облако
4	NEO LMS	84	Академическое обучение, непрерывное образование	Self-HostedCloud-based, мобильное приложение, ПО сервис, облако

5	Moodle	74	Академическое обучение	Self-Hosted Cloud-based, Self-Hosted System, мобильное приложение
6	OpenedX	70	Академическое обучение	SelfHostedCloudbased, SelfHostedSystem, ПО сервис / облако, мобильное приложение, настольное приложение
7	BrightspaceforEducation	70	Академическое обучение	ПО сервис / облако

Все СДО, представленные в табл. 1, имеют бесплатную пробную версию, кроме Moodle, OpenedX.

На основе анализа данных, приведенных в таблице, следует сделать вывод, что по данным elearningindustry самыми популярными системами управления обучением являются Loop, iSpringLearn, Skolera. Если рассматривать системы, которые предназначены только для академического направления, то следует выделить NEO LMS и Moodle.

Более углубленный анализ вышеуказанных двух систем говорит о том, что 80 % пользователей системы Moodle удовлетворены платформой и 92 % пользователей NEO LMS удовлетворены системой.

Лицензия у платформы Moodle открытая, так как данная платформа предоставляется с открытым исходным кодом, а NEO LMS предоставляет лицензии. Иными словами, чтобы пользоваться системой NEO, необходимо запросить у данной компании лицензию, можно попробовать бесплатную пробную версию, которая доступна 14 дней, и, если система понравится, запросить лицензию.

Преимуществом NEO перед Moodle является возможность проведения вебинаров и поддержание синхронного виртуального класса.

При случае внедрения Moodle первоначальные инвестиции будут низкими, однако в дальнейшем, чем больше пользователей будет и чем больше курсов, сумма будет расти, так как появится необходимость в высокопроизводительных серверах и большой емкости хранилища. В случае NEO плата взимается в зависимости от количества обучающихся [2].

Таким образом, при выборе СДО необходимо в первую очередь определить конкретную цель для внедрения системы, во-вторых, определить бюджет, который планируется использовать для внедрения системы и, в-третьих, необходимо определить примерное количество пользователей.



## Литература

1. Топ-20 систем управления обучением (LMS) на основе отзывов пользователей систем. [Электронный ресурс] URL: <http://hr-elearning.ru/top-20-sistem-upravleniya-obucheniem-lms-sistemy-obucheniya-personala/> (дата обращения: 18.04.2020).

2. ТОП-9 отечественных и зарубежных СДО для корпоративного обучения. [Электронный ресурс] URL: <https://lmslist.ru/sdo/> (дата обращения: 15.04.2020).

УДК 004.725

### Блокчейн технология

Рябенков Роман Александрович, студент направления

«Информационные системы и технологии»;

Михеев Иван Васильевич, старший преподаватель кафедры

«Информатика и управление в технических системах»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*В данной статье дана характеристика применения блокчейна в современных информационных системах, проведён анализ технологий блокчейна, её возможное применение и перспективы использования в современных системах. Рассмотрены основные принципы её реализации.*

Введение в блокчейн. Блокчейн технология кардинально меняет ситуацию в самых разных отраслях промышленности. Можно выделить несколько областей применения технологии блокчейна, включая развлечения, например, музыкальную систему Spotify. Кроме того, она применяется в пищевой промышленности, например, в логистике цепочки поставок, и в здравоохранении, например, в хранении и использовании медицинских записей. Несмотря на то, что возможности применения блокчейна могут постоянно расширяться, наиболее известным из них все же может быть биткойн [1].

Проблемы с банковскими системами. Предположим, кто-то хотел перевести деньги со своего счета на чужой счет через банковский канал. За 200-долларовую транзакцию банк может взимать комиссию в размере до 5 долларов, получатель в итоге получит только 195 долларов. В процентном выражении это очень высокая комиссия за транзакцию. Сегодня также существует множество сценариев, когда люди тратят

деньги дважды. Двойные расходы – уникальная проблема, когда цифровые деньги тратятся дважды, а это значит, что пользователь может сделать две покупки на сумму, которая меньше общей стоимости покупки [2].

Кроме того, банковские системы склонны к взлому. Хакеры получают несанкционированный доступ к данным и совершают сделки от имени ничего не подозревающего лица или переводят деньги на нелегальные счета. Учитывая, что нынешняя банковская система подвержена такому большому числу хакерских атак, она может стоить огромных денег.

Биткоин, первое применение технологии блокчейна, решает проблемы с банковскими системами.

Как биткоин решает эти проблемы. Биткоин – децентрализованная система, поэтому вы можете заключить сделку на сумму до \$1 комиссии, по сравнению с \$5, которые банк взимал в рассмотренном ранее примере. А на другом конце пользователь получает фактическую стоимость отправленной суммы. Биткоин – децентрализованная система, в которой третья сторона, такая как правительство, банк или любой другой финансовый посредник, не участвует в сделке между отправителем и получателем, таким образом, значительно снижая стоимость сделки. Это основное назначение криптографических валют и всех технологий, таких как блокчейн, в которой удаляются посредники [2].

Теперь посмотрим, как технологии биткоина и блокчейна решили проблему двойной стоимости. Основная структура включает в себя проверку транзакций. В рассмотренном примере, если бы пользователь перечислил \$500 первому человеку, то он не смог бы перечислить ещё \$500 из-за необходимой верификации блокчейна.

Предположим, пользователь пытается потратить те же биткоины во второй транзакции после проверки первой транзакции. Вторая транзакция не будет проверена и, таким образом, будет признана недействительной, так как после проверки первой транзакции баланс будет проверен во второй транзакции, а адрес будет подтвержден как идентичный. Если кто-то попытается израсходовать больше, чем находится на балансе аккаунта, то разработчики (валидаторы сетевой блокировки) отклонят эту конкретную транзакцию и не добавят ее в лидирующую сетевую блокировку. Таким образом, двойные расходы практически невозможны.

Блокчейн технология. Представьте себе двух людей, живущих далеко друг от друга, и один хотел бы перевести деньги другому, используя технологию блокчейна. Как уже упоминалось, блокчейн – децентрализованная система защищенных и доверенных распределенных баз данных. Ее еще можно назвать – распределенная

бухгалтерская книга, которая записывает и делится деталями транзакций между многими узлами (компьютерами), которые являются частью сети. Каждый участник имеет одну и ту же копию бухгалтерской книги, и она неизменна, то есть запись или транзакция записывается, ее нельзя изменить [4].

Первоначально была введена блок-схема для указания времени цифровых документов и предотвращения фальсификации записей. Проще говоря, цепочка блоков, содержащих информацию, называется блок-схемой. При возникновении транзакции связанная с ней информация записывается в блок. Сделка, инициированная в одном из уголков мира, может быть зарегистрирована в блоке, после чего блок проверяется (валидируется) разработчиками, а затем добавляется в основную цепочку блоков. Блок содержит агрегированные транзакции, которые майнер должен проверить (валидировать), и за это майнер получает денежное вознаграждение [1].

После знакомства с технологией блокчейна необходимо знать, какие существуют компоненты блока:

— PreviousHash. PreviousHash – это атрибут, который соединяет блок с предыдущим. Он состоит из хеш-значения предыдущего блока.

— Data. Этот блок состоит из адреса отправителя, адреса получателя и суммы транзакции. Между несколькими отправителями и получателями может быть несколько транзакций, поэтому каждый блок состоит из произвольного количества транзакций, и каждая транзакция будет иметь адрес отправителя, адрес получателя и нецелевую транзакцию.

— Nonce. Биткоин использует алгоритм проверки производительности, а для выполнения алгоритма изменения выходного значения хеша используется случайное значение, называемое nonce. Доказательством выполнения является процесс проверки транзакции.

— Hash. Для получения хеша для текущего блока процесс берет входное значение (previoushash, data и nonce) и выводит выходное значение фиксированной длины. Биткоин использует алгоритм хеширования SHA-256 для генерации 256-битного хеша [4].

Особенности блокчейна:

— Общественный распределенный реестр. Напомним, что блок-схема представляет собой децентрализованную общедоступную распределенную бухгалтерскую книгу, которая используется для записи транзакций на многих компьютерах. Например, пользователь А переводит деньги пользователю В, пользователь В переводит деньги пользователю С, а пользователь С переводит деньги

пользователю В. Распределенная бухгалтерская книга – база данных, которая совместно используется всеми пользователями, входящими в состав блок-цепочки. Доступ к транзакциям и их проверка осуществляется пользователями сети, что делает её менее подверженной кибер-атакам.

— Шифрование. Блок-схема исключает несанкционированный доступ с помощью криптографического алгоритма SHA-256 для защиты блокировки. Каждый пользователь имеет свои собственные ключи: частные и публичные. Частный ключ известен только отправителю, он также используется для подтверждения законности сделки. Публичный ключ используется для уникальной идентификации пользователя, но отправитель разделяет его с каждой транзакцией.

— Доказательство работы. Доказательством работы является метод валидации транзакций в блочной сети путем решения сложного математического алгоритма, и этот процесс называется майнинг. Поиск неточечной стоимости – математический алгоритм, который майнеры должны решать в сети биткоин, а поиск неточечной стоимости требует огромных вычислительных мощностей и ресурсов. Пользователи, пытающиеся решить алгоритм, называются майнерами.

— Майнинг. Когда майнеры используют свои ресурсы – время, деньги, электричество – для подтверждения новой сделки и внесения ее в общественную книгу, они вознаграждаются биткоинами. На сегодняшний день вознаграждение составляет 12,5 биткоинов и нет другого способа, которым биткоины могут быть сгенерированы в сети биткоинов. Награда уменьшается вдвое после каждых 210 000 блоков или приблизительно каждые четыре года. Когда это произойдет в следующий раз, награда будет уменьшена до 6,25 биткоинов [3].

## Литература

1. Vishtak O.V. The use of the computer training system as the factor of effective formation of information competence of future IT-specialists / O.V. Vishtak, I.V. Mikheyev, I.A. Shtyrova // AIP Conference Proceedings Сер. «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. – С. 020018.
2. Тапскотт Д. Технология блокчейн – то, что движет финансовой революцией сегодня / Д. Тапскотт, А. Тапскотт. – М.: Эксмо, 2018. – 550 с.
3. Tate J., Knapp A. Blockchain 2035: The Digital DNA of Internet 3.0. – М.: BlueShed LLC, 2019.

4. Генкин А. Как это работает и что ждет нас завтра / А. Генкин, А. Михеев. – М.: Альпина Паблишер, 2018.

УДК 004.838.2

### **Искусственный интеллект и его потенциал**

Рябенков Роман Александрович, студент направления

«Информационные системы и технологии»;

Михеев Иван Васильевич, старший преподаватель кафедры

«Информатика и управление в технических системах»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*В данной статье дана характеристика применения искусственного интеллекта в современных информационных системах, проведён анализ технологий искусственного интеллекта, его возможное применение и перспективы использования в современных системах.*

Искусственный интеллект (ИИ) в настоящее время является одним из самых популярных современных словосочетаний в сфере технологий и имеет на это веские основания. За последние несколько лет было замечено несколько технологий, которые ранее относились к области научной фантастики, медленно превращающейся в реальность. Эксперты рассматривают искусственный интеллект как фактор производства, который обладает потенциалом для внедрения новых источников роста и изменения способа работы в различных отраслях промышленности [1].

Согласно докладу о влиянии искусственного интеллекта на увеличение прибыли и инновации в промышленности, искусственный интеллект увеличит экономический рост в 16 отраслях промышленности в среднем на 1,7 процента к 2035 году. Технология искусственного интеллекта может увеличить производительность на 40 и более процентов к 2035 году, удвоив экономический рост в 12 развитых странах, которые продолжают привлекать талантливых и опытных профессионалов в эту область.

Основные принципы искусственного интеллекта. Искусственный интеллект – способ заставить компьютер, робота или программное обеспечение мыслить разумно, подобно человеческому разуму [4, 5, 6]. Искусственный интеллект достигается путем изучения закономерностей человеческого мозга и анализа когнитивного процесса. В

результате этих исследований разрабатываются интеллектуальное программное обеспечение и системы. Исследователи расширяют спектр целей ИИ до следующих:

— Логическое рассуждение. С помощью программ искусственного интеллекта компьютеры могут выполнять сложные задачи [2]. 10 февраля 1996 года компьютер IBM DeepBlue выиграл партию в шахматы у бывшего чемпиона мира Гарри Каспарова.

— Представление знаний. Smalltalk – объектно-ориентированный, динамически типизированный, рефлексивный язык программирования, созданный для поддержки «нового мира» вычислений на примере «человеко-компьютерного симбиоза».

— Планирование и навигация. Процесс, позволяющий компьютеру добраться из точки А в точку Б. Ярким примером является самоходная ToyotaPrius компании Google.

— Обработка естественного языка. Настройка компьютеров, способных понимать и обрабатывать человеческий язык.

— Восприятие. С помощью компьютера можно взаимодействовать с миром через зрение, слух, осязание и обоняние.

— Новый интеллект. Интеллект, который не является явно запрограммированным, но возникает из остальных специфических особенностей ИИ. Видение этой цели состоит в том, чтобы машины демонстрировали эмоциональный интеллект и моральное рассуждение.

К некоторым задачам, выполняемым устройствами, поддерживающими ИИ, относятся:

— Распознавание речи.

— Обнаружение объектов.

— Решение проблем и обучение на предоставленных данных.

Одни из самых популярных типов искусственного интеллекта перечислены ниже:

— Purelyreactive. Данные машины не имеют ни памяти, ни данных, с которыми можно было бы работать, специализируясь только на одном поле [1]. Например, в шахматной игре машина следит за своим прогрессом и принимает лучшее решение относительно победы.

— Limitedmemory. Эти машины собирают предыдущие данные и продолжают накапливать их в своей памяти. У них достаточно памяти и опыта, чтобы

принимать правильные решения, но память существенно ограничена. Например, эта машина может предложить ресторан на основе собранных данных о местоположении.

— Theoryofthemind. Этот тип искусственного интеллекта может понимать мысли и эмоции и может взаимодействовать в социальном аспекте. Однако машина, основанная на этом типе, еще не разработана [3].

Использование искусственного интеллекта. Машины и компьютеры влияют на наш образ жизни и график работы. Лучшие компании постоянно вносят революционные изменения в то, как мы взаимодействуем с технологией машинного обучения.

DeepMindTechnologies, британская компания искусственного интеллекта, была приобретена компанией Google в 2014 году. Компания создала нейронный обучающий компьютер, который позволяет моделировать кратковременную память человеческого мозга. Автопилот без водителя Google и Tesla – внедрение искусственного интеллекта в автомобильный сектор. Илон Маск, генеральный директор TeslaMotors, через Twitter предположил, что Tesla сможет предсказать направление, в котором ее владельцы будут изучать свою модель или поведение с помощью искусственного интеллекта [4, 5, 6].

Кроме того, существует компьютерная система Watson, разработанная компанией IBM, предназначена для использования в медицине. Watson предлагает различные виды лечения для пациентов на основе их истории болезни и оказалась очень полезной [1].

Некоторые из наиболее распространенных коммерческих бизнес-приложений для искусственного интеллекта:

— Выявление банковского мошенничества. Основываясь на обширных данных, состоящих из мошеннических и нечестных транзакций, искусственный интеллект учится предсказывать, является ли новая транзакция мошеннической или нет.

— Поддержка клиентов онлайн. В настоящее время искусственный интеллект автоматизирует большинство систем онлайн-поддержки клиентов и голосовых сообщений.

— Кибербезопасность. Используя алгоритмы машинного обучения и обширную выборку данных, искусственный интеллект можно использовать для выявления аномалий, а также для адаптации и реагирования на угрозы.

— Виртуальные ассистенты. Siri, Cortana, Alexa и Google теперь используют распознавание голоса для выполнения пользовательских команд. Они собирают

информацию, интерпретируют заданный вопрос и предоставляют ответ, используя полученные данные. Эти виртуальные помощники постепенно улучшают и персонализируют решения в соответствии с предпочтениями пользователей.

Оценка результатов и будущее искусственного интеллекта. Учитывая растущее признание и популярность искусственного интеллекта, можно предположить, что изменения, которые окажут системы такого рода на жизнь людей, будут иметь глобальный характер.

Машины смогут приносить с собой чашку кофе, готовить отчеты, везти бытовую технику и решать другие задачи. Домашние роботы помогут пожилым людям в их повседневной работе. Такие задачи, как посещение врача в случае экстренной ситуации, теперь могут выполняться с помощью искусственного интеллекта, а в Японии, например, уже существует подобная программа, в которой начат процесс интеграции роботов. Роботы возьмут на себя такие опасные задачи, как обезвреживание бомб, сварка и другие. Некоторые из них уже находятся в стадии разработки, и компании пытаются донести их до обычных людей в коммерческом бизнесе [4, 5, 6].

#### Литература

1. John K. Kruschke. *Doing Bayesian Data Analysis, Second Edition: A Tutorial with R, JAGS, and Stan.* – М.: Academic Press, Elsevier, 2015.
2. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая Линия. – Телеком, 2006.
3. Рассел С. Искусственный интеллект. Современный подход /С. Рассел, П. Норвиг. – М.: Вильямс, 2015.
4. Vishtak O.V. The use of the computer training system as the factor of effective formation of information competence of future IT-specialists / O.V. Vishtak, I.V. Mikheyev, I.A. Shtyrova // AIP Conference Proceedings Сер. «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. – С. 020018.
5. Михеев И.В. Анализ функциональных возможностей тестирующего программного комплекса для обучения программированию / И.В. Михеев, Д.В. Кондратов, О.В. Виштак // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 3-1. – С. 65-69.



6. Михеев И.В. Система количественных характеристик оценки качества программных продуктов / И.В. Михеев, О.В. Виштак, Д.В. Кондратов // Программные системы и вычислительные методы. – 2018. – № 2. – С. 28-35.

УДК 681.58

### **Компьютерное моделирование теплообмена в электронной аппаратуре**

Савёлов Павел Игоревич, студент специальности

«Промышленные роботы и робототехнические комплексы»;

Лившиц Юрий Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры

«Робототехнические системы»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

*Приведены результаты компьютерного моделирования тепловых потоков и температурных полей электронного устройства для различных типов систем охлаждения и различных конфигураций вентиляционных отверстий, при помощи исследовательского модуля SolidWorks Flow Simulation.*

Среди многообразия факторов, влияющих на надёжность электронных приборов особое место, занимает температурный режим их эксплуатации. Температурные воздействия, как правило, имеют сложный характер и влияют на изменение многих электрических параметров электронного прибора. Постоянное совершенствование конструкции электронных устройств, развитие их элементной базы приводят к увеличению градиента температур нагрева отдельных печатных узлов и модулей. Массогабаритные параметры оборудования уменьшаются, но плотность теплового потока теплонагруженных элементов увеличивается, что приводит к перегреву и нестабильной работе при использовании традиционных систем охлаждения. Поэтому отвод и рассеивание выделяемой тепловой энергии при работе электронной аппаратуры для обеспечения оптимального теплового режима её эксплуатации является актуальным [1].

Наиболее распространёнными системами охлаждения, применяемыми в электронной аппаратуре, являются конвективное охлаждение и принудительное воздушное охлаждение. Кроме того, теплота с поверхности корпуса рассеивается излучением и конвекцией в окружающую среду. Существенным недостатком этих способов является ограниченная тепловая мощность, выделяемая в элементах

электронной аппаратуры, при которой может быть обеспечен нормальный тепловой режим. Для расчёта теплообмена в электронных устройствах разработаны многочисленные методики, но в некоторых случаях они являются или упрощёнными, с большой погрешностью вычислений, или сложными, с большим количеством исходных данных, что вызывает сложность построения математических моделей и значительными затратами времени [2, 3].

На конструкцию электронной аппаратуры, особенно содержащей теплонагруженные элементы, существенно влияют способ и параметры системы охлаждения. Поэтому оптимизацию системы охлаждения и компоновки электронной аппаратуры необходимо выполнять на ранней стадии проектирования.

Наиболее целесообразным является реализация в конструкции электронного прибора пассивной системы охлаждения с такой компоновкой элементов, которая обеспечивала бы быстрое достижение безопасных температур эксплуатации. Разработка таких систем возможна только при помощи методов компьютерного моделирования температурных полей в областях с отличающимися теплофизическими характеристиками и необходимыми условиями теплообмена.

Целью данной работы является компьютерное моделирование теплообмена при функционировании электронного устройства в условиях повышенной температуры окружающей среды и выбор способа охлаждения для различных условий эксплуатации.

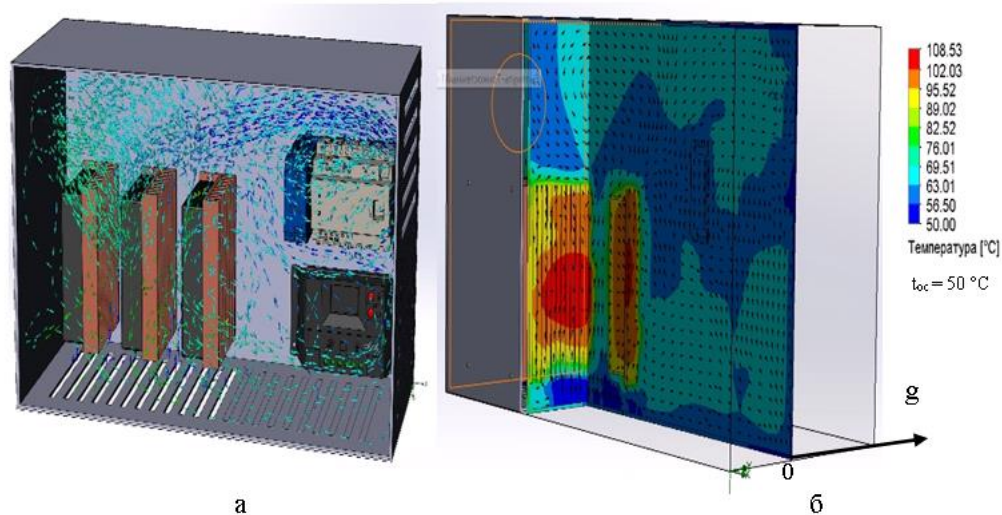
Моделирование проводилось при помощи исследовательского модуля SolidWorks Flow Simulation на основе модели конструкции блока управления системы позиционирования мобильной солнечной электростанции [4]. Основными тепловыделяющими элементами в конструкции являются драйверы управления шаговыми двигателями, мощность тепловыделения каждого составляет  $P = 30$  Вт. Тепловая мощность остальных частей блока – программируемый логический контроллер марки Овен 110, контроллер солнечных батарей, стабилизатор напряжения – незначительна.

Для проведения исследований была разработана твердотельная модель блока управления с горизонтальной компоновкой электронных компонентов, форма защитного корпуса – параллелепипед (рис. 1). Такое упрощённое конструктивное решение позволит устранить, при проведении исследований, влияние конфигурации корпуса на аэродинамику тепловых потоков и позволит в дальнейшем, изменяя его форму, оптимизировать систему охлаждения электронного устройства. Тепловые потоки и температурные поля формировались при температуре окружающей среды  $t_{oc} = 50$  °С, что соответствует рабочим значениям температур эксплуатации

электротехнических изделий по ГОСТ 15543.1-89 «Изделия электротехнические и другие технические изделия. Общие требования в части стойкости к климатическим внешним воздействующим факторам» и при действии гравитации по оси  $0 - g$  (рис. 1). Размер ячеек триангуляционной сетки, формируемой на модели, выбиралась эмпирически, с учётом точности в местах возможного градиента температуры и длительности проведения компьютерных расчётов. Критерием оптимизации системы охлаждения являлось обеспечение допустимых значений температур нагрева теплонагруженных электронных компонентов.

Наиболее распространённым способом обеспечения безопасного эксплуатационного теплового режима эксплуатации электронной аппаратуры является конвективное воздушное охлаждение и принудительное воздушное охлаждение, поэтому нами исследовалось формирование тепловых потоков и температурных полей данных систем охлаждения для вентиляционных отверстий прямоугольного профиля, расположенных на нижней и боковой стенках корпуса. Принудительное воздушное охлаждение моделировалось с учётом технических характеристик вентилятора марки SanyoDenki 9A0812S402 с объёмным расходом воздуха  $0,02 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

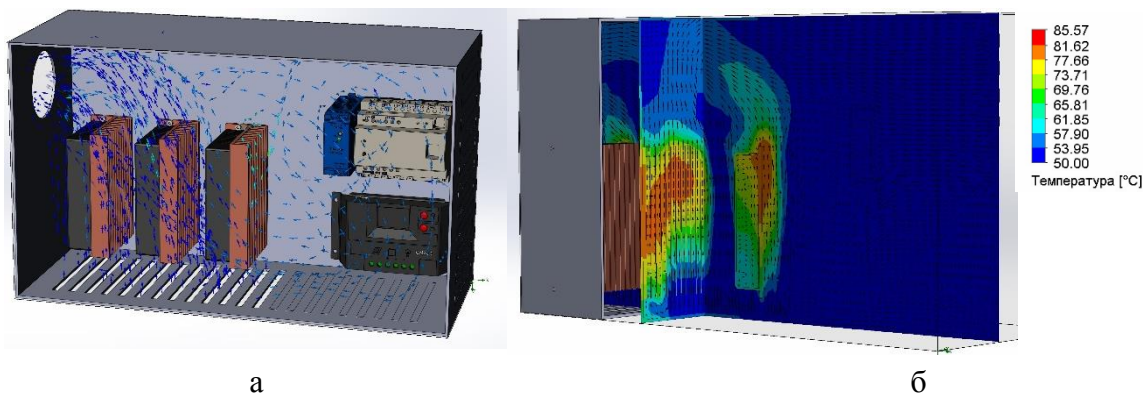
Моделирование тепловых режимов работы блока управления при конвективной системе охлаждения показало (рис. 1), что тепловые потоки, обеспечивающие отвод тепла от теплонагруженных элементов (драйверы шаговых двигателей), формируются в достаточно плотный поток, без застойных зон.



*Рис. 1. Конвективный теплообмен:  
а – воздушные потоки; б – тепловые поля*

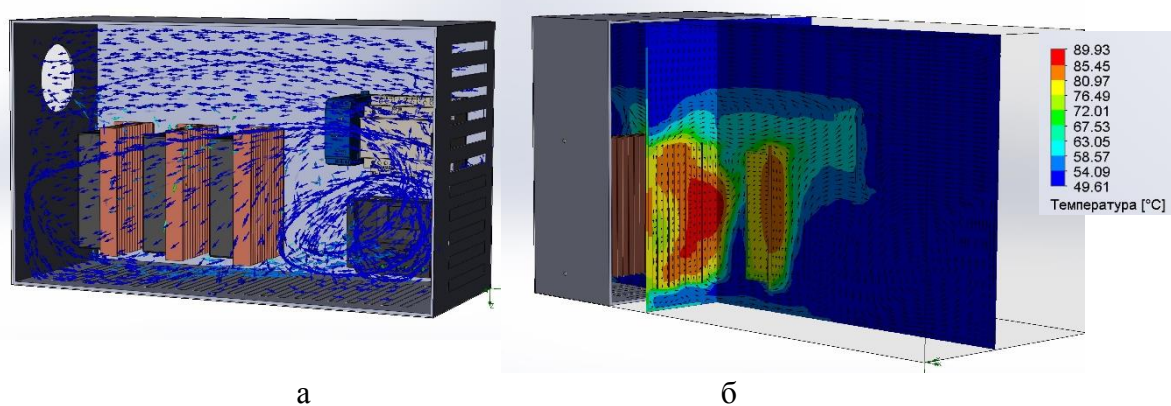
Это обеспечивается равномерной компоновкой электронных узлов блока и наличием достаточного пространства, в котором формируется поток нагретого воздуха, отводящего тепло от драйверов и удаляемого из внутреннего пространства блока через боковые вентиляционные отверстия в окружающую среду. Драйверы расположены на расстоянии 30 мм друг от друга, что обеспечивает формирование направленного конвективного охлаждающего потока. Анализ тепловых полей (рис. 1б) показал, что максимальная температура внутреннего пространства блока составляет не более 70 °С. Но конвективный охлаждающий поток при данном направлении действия гравитации не обеспечивает требуемый уровень температуры драйверов шагового двигателя. Температура радиаторов охлаждения превышает 100 °С, что является неприемлемым (рис. 1б).

Моделирование принудительного воздушного охлаждения с нижним расположением вентиляционных отверстий (рис. 2) проводилось при максимальной производительности вытяжного вентилятора, что обеспечивало скорость теплового потока в среднем до 1,3 м/сек. Установлено, что максимальная температура воздушного потока составляет не более 65 °С. Температурное поле в области расположения радиатора охлаждения не превышает 75 °С, при максимальной допустимой температуре эксплуатации шагового двигателя 80 °С.



*Рис. 2. Принудительное охлаждение с нижним расположением вентиляционных отверстий:  
а – воздушные потоки; б – тепловые поля*

Установлено (рис. 2а), что в зоне расположения контроллера солнечной батареи образуются завихрения теплового потока, которые создают застойные зоны. Хотя температура воздушного потока не превышает 70 °С, но тепловое поле (рис. 2б), возникающее в радиаторе охлаждения драйвера шагового двигателя, составляет 90 °С, что не обеспечит надёжную работу блока управления.



*Рис. 3. Принудительное охлаждение с вентиляционными отверстиями на боковой стенке корпуса:  
а – воздушные потоки; б – тепловые поля*

Таким образом, в результате проведённого моделирования систем охлаждения установлено, что в исследованных условиях эксплуатации и направления действия гравитации нормальные условия эксплуатации можно обеспечить только при помощи принудительного воздушного охлаждения с нижним расположением вентиляционных отверстий. При помощи компьютерного моделирования возможно проведение многофакторной оптимизации теплового режима эксплуатации электронного прибора.

#### Литература

1. Дульнев Г.Н. Теория тепло- и массообмена: учеб. пособие / Г.Н. Дульнев. – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 195 с.
2. Ши Д. Численные методы в задачах теплообмена: [пер. с англ.] / Д. Ши. – М.: Мир, 1988. – 242 с.
3. Дульнев Г.Н. Методы расчёта теплового режима приборов / Г.Н. Дульнев, В.Г. Парфенов, А.В. Сигалов. – М.: Радио и связь, 1990. – 312 с.
4. Лившиц Ю.Е. Универсальная автоматическая система управления устройством позиционирования солнечной батареи / Ю.Е. Лившиц, П.И. Савёлов // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении». – Минск, 2019. – С. 64-65.

## **Образовательная значимость применения технологии дополненной реальности**

Семенова Галина Владимировна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры  
«Иностранные языки»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования «Тульский государственный университет»,  
г. Тула

*В статье поднимается вопрос об образовательной значимости применения технологии дополненной реальности. Приложение дополненной реальности привлекает внимание как технология, позволяющая взаимодействовать с реальными объектами на виртуальной платформе через мобильные приложения. Рост и диверсификация технологий, которые могут быть использованы в образовательной среде, ставит перед педагогами важную роль в признании этих технологий и их эффективном использовании.*

В современном мире каждый день происходят важные события в области технологий, сопровождающиеся быстрыми инновациями в области информации. Развитие технологий, занимающих важное место в жизни отдельных людей, приводит к многочисленным изменениям в образовании, а также во всех сферах нашей жизни. Изменения в технологии не только облегчают жизнь отдельных людей, но и усиливают взаимодействие с компьютером и интернетом.

Эпоха, которую мы переживаем, – это период времени, называемый цифровой эпохой, когда компьютеры и интернет находятся в центре внимания, новые формирующиеся среды стали необходимостью, от которой нельзя отказаться почти во всех областях жизни, цифровые инструменты и приложения занимают большой период времени в повседневной жизни [1]. Новые информационные средства и формы приложений, принесенные технологическими разработками в эту цифровую эпоху, серьезно изменили способ образования, обучения, доступа к информации, использования и представления информации, как и в любой другой области. Когда речь заходит об интернет-технологиях и цифровом оборудовании, в первую очередь на ум приходит Z-поколение, которое довольно активно использует эти инновации.

Люди Z-поколения креативны; они любят творческую деятельность, перемены, инновации и преобразования. Они практичны, быстры и ориентированы на результат. Они сотрудничают друг с другом. Они склонны быть активными и соучастниками, они отказываются быть пассивными. Они социальные, однако их общение происходит в основном через интернет. Их положение в виртуальном мире лучше, чем у предыдущих

поколений. Они предпочитают посылать сообщение, а не говорить. Это может привести к некоторым проблемам в общении. Одна из главных проблем заключается в том, что они могут получить доступ ко всем видам необходимой им информации в интернете и демонстрируют нетерпеливую тенденцию, потому что им нравится быть индивидуальными и независимыми. Поэтому они могут стремиться жить в одиночестве из-за своей технологической зависимости и удаленной связи. С другой стороны, их уровень синхронизации двигательных навыков и интеллекта оценивается выше, чем у всех поколений, поскольку они находятся бок о бок с технологией и растут вместе с технологией. Они считают технологию не только частью деловой жизни, но и частью самой жизни.

Предполагается, что новое поколение, называемое «цифровым поколением» или «z-поколением», будет отличаться от предыдущих поколений в силу их рождения и роста в цифровую эпоху [2]. Можно сказать, что интернет-технологии и цифровое оборудование занимают важное место в жизни этого поколения. По этой причине любая среда, не включающая технологию и традиционные методы обучения, может оказаться недостаточной для привлечения внимания этого поколения и обеспечения эффективного обучения.

В наши дни происходит изменение методов и средств обучения с использованием технологий в учебных средах с целью поддержки более эффективного обучения отдельных лиц и повышения качества образования. В дополнение к быстрому росту знаний вопрос о том, как информационные технологии, включая современные устройства и инновационные технологии, могут быть использованы для поддержки и обогащения образования, руководили работами в области образования и образовательных технологий в последние годы, поскольку навыки 21-го века ориентированы на технологии. Технологизация и информатизация образовательного процесса инициирует формирование качественно новой методологической среды, ее применения в обучении и профессиональной деятельности [3]. А использование мобильных устройств и мобильных приложений в учебных средах становится все более распространенным явлением. Приложение дополненной реальности привлекает внимание как технология, позволяющая взаимодействовать с реальными объектами на виртуальной платформе через мобильные приложения.

Дополненная реальность – это область, которая включает в себя комбинацию реальных и компьютерных данных, таких как аудио, видео, графика, информация о местоположении GPS. Дополненная реальность включает в себя подкрепление и поддержку реальности путем предоставления информации, которая не обнаруживается

человеческими чувствами и когнитивными процессами в нормальных условиях. Другое определение объясняет, что дополненная реальность – это одновременное отображение текста, картинок, звуков и т. д. на реальном изображении, которое позволяет пользователям рассматривать реальный мир как расширенный, обогащенный или дополненный.

Дополненная реальность, которая квалифицируется как разновидность виртуальной реальности, определяется как технология, в которой виртуальные объекты смешиваются с реальным миром, и в то же время реальные и виртуальные объекты взаимодействуют друг с другом [4]. Согласно этому определению, дополненная реальность – это виртуальная среда, в которой поддерживается существующая реальность, а не среда, в которой реальность создается с самого начала. В среде дополненной реальности виртуальные и реальные объекты представляются пользователям гармонично. Другими словами, дополненная реальность – это приложение виртуальной реальности, в котором пользователи взаимодействуют с реальным миром, взаимодействуют с виртуальными объектами в реальном мире [5]. Интерактивная среда между виртуальным и реальным миром устанавливается дополненной реальностью. Это позволяет виртуальным объектам быть добавленными в реальный мир и казаться существующими, как если бы они были реальными. Виртуальные объекты, упомянутые здесь, – это созданный компьютером текст, видео, графика и другая информация. А реальные изображения захватываются камерами таких устройств, как компьютеры, мобильные телефоны и планшеты. Таким образом, дополненная реальность становится средой, которая представляет объекты виртуального и реального мира вместе.

Дополненная реальность похожа на виртуальную реальность, но это совсем другое понятие, чем виртуальная реальность. В технологиях виртуальной реальности пользователь попадает в искусственную среду и не может видеть окружающий его реальный мир. Приложение дополненной реальности позволяет пользователю видеть реальный мир, используя виртуальные объекты, добавленные в реальный мир или соединенные с ним. Дополненная реальность создается путем добавления изображения, аудио- и видеоинформации, полученной из цифровой или компьютерной среды, в среду реального времени. По этой причине дополненная реальность дополняет реальность, а не полностью заменяет ее. С этой точки зрения дополненная реальность – это технологический массив, который интегрирует реальность с цифровыми технологиями.

Цель виртуальной реальности – создать трехмерную среду, в которой моделируется реальный мир. Что касается дополненной реальности, то она призвана



обогатить реальный мир виртуальными данными, разработанными в компьютерной среде. Другими словами, в то время как первая концепция направлена на перенос реальности в виртуальный мир как он есть, вторая концепция фокусируется на обогащении реального мира виртуальными образами. Точка, где дополненная реальность отличается от концепции виртуальной реальности, заключается в том, что реальный образ мира не полностью заброшен и виртуальный вклад составляет около 10-20 % в отличие от виртуальной реальности.

Технология дополненной реальности может быть использована на различных платформах, таких как desktop и портативные компьютеры, портативные устройства и смартфоны. В то время как приложения, разработанные с использованием дополненной реальности, позволяют использовать виртуальные объекты, такие как трехмерные объекты, текст, двумерные изображения, видео и анимацию отдельно, они также позволяют использовать их одновременно. Таким образом, пользователи могут естественным образом взаимодействовать с событиями, объектами и информацией.

Технология дополненной реальности, которая создается путем интеграции виртуальных и реальных объектов, позволяет пользователю создавать опыт участия. С развитием технологии использование различных сенсорных технологий, таких как отслеживание движения, прикосновение, звук, увеличивает силу опыта. Дополненная реальность в основном включает в себя реальный мир, и она поддерживается компьютерными виртуальными факторами. Взаимодействие, навигация и погружение являются общими свойствами приложений дополненной реальности и виртуальной реальности. Кроме того, дополненная реальность использует множество различных инновационных технологий, таких как интеллектуальные мобильные устройства, носимые и иммерсивные технологии, и устанавливает прочные отношения.

В технологии дополненной реальности реальные и виртуальные объекты объединяются в реальной среде, ассоциируются друг с другом и имеют интерактивную структуру. Эта технология, где виртуальный и реальный мир проектируются вместе, обладает свойством пользовательского контроля и индивидуально-интерфейсного взаимодействия. Все эти особенности технологии дополненной реальности способствуют созданию эффективной среды обучения.

С развитием технологий каждый день происходят изменения в среде обучения. Цель среды обучения в наше время состоит в том, чтобы вырастить людей, которые могут использовать доступ и использовать информацию, а также адаптироваться к технологическим разработкам. Технология дополненной реальности оказывает важное влияние на образование и преподавание, поскольку она позволяет сочетать реальный

мир с виртуальными учебными материалами и дает пользователям возможность контролировать эти материалы. Благодаря этой технологии индивид может взаимодействовать с окружающей средой и находит возможность активно учиться с ментального аспекта, проходить обогащенный опыт и имеет возможность учиться путем открытия. В этом аспекте дополненная реальность обеспечивает расширенную среду обучения и поддерживает конструктивные принципы обучения.

Хотя мир, в котором мы живем, является трехмерным, двумерные среды обычно предпочтительны по таким причинам, как пригодность, гибкость, мобильность и экономичность в образовательных процессах. Однако двумерные среды являются статичными и не представляют учащимся динамического содержания. Приложение дополненной реальности гарантирует, что объекты и материалы обогащаются за счет использования виртуальных объектов, подготовленных с помощью компьютерных систем, и становятся более эффективными. Поскольку технология дополненной реальности предоставляет возможность преобразования учебников, досок в классах и стационарных объектов в учебных средах в мультимедийные возможности, функциональная природа среды возрастает и в процессе обучения работают различные когнитивные каналы.

Интерактивное и хорошо продуманное мультимедийное обращение к более чем одному органу чувств с помощью мультимедийных материалов, разработанных с помощью технологий дополненной реальности, поддерживает активное участие учащихся в этом процессе, а также создает постоянное обучение. Таким образом, технологии дополненной реальности обеспечивают более эффективное обучение, предоставляя конкретные примеры в процессе обучения.

Поскольку опыт, приобретенный наблюдением, более эффективен, чем обучение через чтение, перемещение изображения, существующего на экране, в третье измерение и обеспечение конкретного обучения окажет серьезное влияние с точки зрения рассуждения и внесения изменений. Благодаря виртуальной конкретизации феномен, который не существует в реальной жизни, может ощущаться так, как будто он есть в жизни, и взаимодействие человека и компьютера может быть более эффективно использовано в обучении.

Приложения дополненной реальности могут представлять учащимся, не абстрагируя их от реального мира во время учебной деятельности, и сделать процесс обучения более приятным и значимым с помощью мгновенных взаимодействий, которые они обеспечивают. Эффективное обучение происходит до тех пор, пока учащийся активно участвует в учебном процессе и наслаждается им, а элемент

взаимодействия, который играет важную роль на данном этапе, может быть достигнут с помощью приложений дополненной реальности. В дополнение к переживанию реального или почти реалистичного опыта между учеником, учителем, окружающей средой и содержанием, это приложение также позволяет учащимся учиться, свободно открывая, организуя свой собственный опыт обучения и выполняя события реальной жизни с помощью приложений дополненной реальности в процессе обучения.

Сравнительные исследования между дополненной реальностью и традиционными классными практиками показали, что технология дополненной реальности улучшает обучение учащихся. А в исследованиях, проведенных с книгами, поддержанными дополненной реальностью, было обнаружено, что такие учебные среды повышают мотивацию и интерес студентов к обучению и положительно поддерживают участие студентов и уровень обучения.

Технология дополненной реальности позволяет передавать вербальный (печатный и звуковой) и аудиовизуальный (статический, движущийся) контент по богатым каналам связи. Успех в профессиональной деятельности современного специалиста в большей степени определяется его способностью к осуществлению иноязычной профессиональной коммуникации и зависит от степени развития коммуникативной компетенции [6]. Студенты, которые могут общаться лицом к лицу в реальной иноязычной среде, представленной дополненной реальностью, имеют возможность поделиться своими знаниями и опытом внутри группы. Дополненная реальность обеспечивает гибкую среду обучения для студентов, обеспечивая при этом богатое взаимодействие, интерпретацию, решение проблем и улучшение навыков творческого мышления. С помощью приложений дополненной реальности, которые обеспечивают реалистичную среду моделирования и тестирования для студента путем переноса компьютерных приложений в реальный мир, процесс обучения и преподавания становится более интерактивным, влиятельным и мощным, а также приятным во время обучения. Все эти факты свидетельствуют о преимуществах технологии дополненной реальности.

В наши дни эксперты, которые фокусируются на том, как передовые технологии могут быть использованы для повышения ценности обучения, рассматривают технологию дополненной реальности как эффективную среду. Теперь можно разрабатывать вспомогательные материалы, основанные на решении проблем, конкретизировать абстрактные понятия, предоставлять возможность для различных стилей обучения, предоставлять вспомогательные материалы для студентов, которые обеспечивают ориентированный на обучение подход в рамках гибкого процесса

обучения, с виртуальными элементами, которые будут помещены в реальный мир с помощью технологии дополненной реальности.

Технология дополненной реальности привлекла внимание в области образования благодаря способности взаимодействовать с виртуальными и реальными объектами, учиться, живя, повышать внимание и мотивацию. Учебные среды с этими возможностями становятся более эффективными и сильными, поскольку они становятся интерактивны и приятны. Эта технология используется в различных областях образования и на разных этапах, и утверждается, что она особенно эффективна при обучении невидимым объектам и событиям, показе опасных ситуаций, конкретизации абстрактных понятий и представлении сложной информации.

Согласно конструктивистскому подходу, физическая и умственная учебная деятельность, которую студенты изучают, исследуя и экспериментируя с целью построения знаний, имеет большое значение. Поскольку технология дополненной реальности дает возможность эффективно использовать цифровые технологии, уже знакомые этому поколению, то использование этой технологии в сфере образования растет с каждым днем.

Использование приложений дополненной реальности в образовании оказывает положительное влияние на процесс обучения. В ходе проведенных исследований был сделан вывод, что технология дополненной реальности имеет много преимуществ, особенно в контекстуальной поддержке, пространственных навыках, обеспечении более интересной учебной среды для студентов, визуализации и конкретизации понятий.

В последние годы широкое распространение получило использование технологий дополненной реальности в образовании, и использование этих технологий стало проще. Ожидается, что значение, придаваемое технологиям дополненной реальности, которые, как считается, способствуют экспериментальному обучению в учебных средах, и носимым технологиям, которые являются общим методом использования этих технологий, будет возрастать. Рост и диверсификация технологий, которые могут быть использованы в образовательной среде, ставит перед педагогами важную роль в признании этих технологий и их эффективном использовании. По этой причине преподаватели должны следить за технологическими разработками и стремиться использовать наиболее подходящие инструменты для своих областей. Предполагается, что дополненная реальность повысит эффективность процесса обучения и внесет важный вклад в образование в будущем.

## Литература

1. Arslan A., Kırık A.M., Karaman M., Çetinkaya A. Lise ve üniversite öğrencilerinde dijital bağımlılık. Uluslararası Hakemli İletişim ve Edebiyat Araştırmaları Dergisi, 8(8). – 2015. – P. 34-58.
2. Prensky M. Digital natives, digital immigrants. Part 1. – On the Horizon, 9(5). – 2001. P. 1-6.
3. Семенова Г.В. Использование интернет-технологий для оценивания иноязычной компетенции студентов неязыковых вузов / Г.В. Семенова // Известия Тульского государственного университета. Педагогика. – 2019. – Вып. 2. – С. 70-74.
4. Kaufmann H. and Papp M. (2006). Learning objects fore ducation with augment edreality, Proc. of EDEN (European Distance and E-Learning Network) Conference (pp.160-165).
5. Zhu W., Owen C., Li H. and Lee J. - H. (2004). Personalized in-storee-commerce with PromoPad: an augmented reality shopping assistant. Electronic Journal for E-commerce Tools and Applications, 1(3), 1-19.
6. Коннова З.И. Прагматический подход при изучении иностранных языков в рамках современной парадигмы образования / З.И. Коннова, Г.В. Семенова // Известия Тульского государственного университета. Педагогика. – 2018. – Вып. 1. – С. 64-69.

УДК 004

### **Анализ архитектуры REST на основе сравнения с SOAP**

Сидоренко Даниил Евгеньевич, студент направления

«Информационные системы и технологии»;

Михеев Иван Васильевич, старший преподаватель кафедры

«Информатика и управление в технических системах»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*Анализ базовых положений архитектуры REST. В статье рассмотрены места применения REST на основе сравнительной характеристики REST и SOAP, также определены достоинства и недостатки архитектур. Рассмотрены основные форматы данных для работы с веб-интерфейсами разных стандартов, также выделены основные методы передачи данных по протоколу HTTP.*

Интерфейсы или же API в современных реалиях являются важнейшей составляющей программирования, упрощая взаимодействие между модулями. В результате развития данной сферы стали появляться различные стандарты и архитектуры, определяющие стиль написания и функционал интерфейса (API). Одним из таких стилей является REST, реализации которого достаточно часто встречаются на различных интернет ресурсах, называются RESTfulAPI [4].

API – это модуль, организующий взаимодействие между блоками, программами, сервисами. Из чего следует, что API является инструментом для разработчика, который регламентирует обращения к различным услугам у операционной системы или другого приложения. Такой подход при разработке программного продукта позволяет интегрировать существующие отдельные модули или целые программы с необходимым функционалом, что значительно сокращает разработку конечного продукта [1].

Развитие облачных технологий и веб-сервисов и популярность у пользователей на интеграцию различной информации из сервисов обусловили необходимость в разработке API для предоставления и организации доступа к веб-службам. Для создания такого типа интерфейса появилось несколько протоколов и стандартов, одним из которых стал REST, что является обоснованным выбором для создания API. API, построенные по такому принципу, позволяют пользователям гибко подключаться к облачным сервисам, управлять ими и взаимодействовать с ними в распределенной среде. API RESTful используются такими сайтами, как Amazon, Google, LinkedIn и Twitter [3].

Принципами проектирования RESTfulAPI являются:

- клиент-сервер, отделяющий проблемы пользовательского интерфейса от проблем хранения данных, такой подход улучшает переносимость пользовательского интерфейса на несколько платформ, а также масштабируемость за счет упрощения компонентов сервера;

- отсутствие сохранения состояния, это приводит к тому, что каждый запрос от клиента к серверу должен содержать всю информацию, необходимую для понимания запроса, и не может использовать какой-либо сохраненный контекст на сервере, поэтому состояние сеанса полностью сохраняется на клиенте;

- ограничения кэширования требуют, чтобы данные в ответе на запрос были неявно или явно помечены как кешируемые или не кешируемые. Если ответ кешируется, клиентскому кешу дается право повторно использовать эти данные ответа для последующих эквивалентных запросов;

- методы в интерфейсе должны быть однозначно идентифицированы посредством URL-адреса, а работа с данными происходит только с помощью базовых методов сетевого протокола;

- стиль многоуровневой системы позволяет архитектуре состоять из иерархических уровней, ограничивая поведение компонента таким образом, что каждый компонент не может «видеть» за пределами непосредственного уровня, с которым они взаимодействуют [2].

В реализациях интерфейса по REST, обычно используется протокол HTTP. При составлении запросов используются методы, а именно GET – для получения данных, PUT – для извлечения данных, POST – для размещения данных и DELETE – для удаления данных. Однако такой подход носит исключительно рекомендательный характер, что позволяет при разработке изменять предназначения для методов работы с данными.

Для доступа к сервису, реализованном на архитектуре REST, используется специальный метод, который при вызове идентифицирует переданные данные. Если они валидны, то происходит авторизация, в процессе которой создаётся и передаётся token. Особенностью такого подхода является то, что авторизация происходит каждый раз при не посредственном вызове методов API. Данная особенность обязывает указывать токен при каждом обращении к интерфейсу в специальном параметре в заголовке запроса [1].

Несомненным преимуществом REST является то, что нет строгой привязанности к определенному типу данных. Так, тип возвращаемых или передаваемых значений в RESTfulAPI зависит от конкретной реализации, наиболее частые: JSON, XML. Для определения передаваемого типа данных нужно указать в заголовке (head) свойство «Content-Type» и тип передаваемого объекта, данная запись является указателем в HTTP какой контент хранится в файле.

JSON отлично подходит для передачи массивов данных, также его не нужно отдельно парсить на клиенте потому, что существует множество методов и функций для работы с расширением в JSON на различных платформах, кроме того, расширение является легко читаемым и понятным, имеет меньший объём по сравнению с тем же XML, но данное расширение имеет ряд недостатков, так, например, не имеется поддержки каких-либо вычислений и обработки данных, отсутствуют комментарии и не размещаются метаданные [3, 5].

В отличие от предыдущего расширение XML является языком разметки, из-за чего поддерживает множество функций, которых нет в JSON, а именно метаданные,

сложные типы данных – диаграммы, картинки, также имеет пространство имён и позволяет обрабатывать и форматировать страницы. Из плюсов данного типа данных следуют и недостатки, такие как: объем файла, слабая поддержка на некоторых технологиях, например, на JavaScript данный тип данных не поддерживается без преобразования самих данных в то, что можно использовать, в итоге получается много дополнительной работы только для обычной передачи данных [2, 6].

Для выявления недостатков в REST следует сравнить его с протоколом SOAP, так как оба предлагают различные методы для вызова функционала из сторонних сервисов. REST – это архитектурный стиль, в то время как SOAP определяет стандартную спецификацию протокола связи для обмена сообщениями на основе XML. Кроме того, RestfulAPI оперирует ресурсами, из-за отсутствия состояний может только осуществлять ограниченное число действий, в отличие от SOAP, достаточно стандартизированный, имеющий множество протоколов и стандартов в себе, что позволяет активно работать с операциями над данными [2].

Также реализация на основе REST проста по сравнению с SOAP, но пользователи должны понимать контекст и передаваемый контент, поскольку нет стандартного набора правил для описания интерфейса веб-сервисов REST, также отсутствие правил сказывается на различную интерпретацию статус кодов и статус текста, что может привести к ошибке, так как в одинаковое значение «200 OK» могут вкладывать разные смыслы и понимать по-своему [1].

Неоспоримое преимущество SOAP – требуется меньше программного кода, то есть низкоуровневого инфраструктурного кода, который соединяет модули основного кода вместе, в отличие от дизайна сервисов REST. Веб-сервисы SOAP имеют возможности для асинхронной обработки и вызова транзакций, что сказывается на скорости выполнения по сравнению с REST. Большим недостатком SOAP является строгая стандартизация и исполнение всех требований протоколов, также использование XML как основного типа данных, что усложняет код на клиенте [2, 6].

Из чего следует вывод, что, несмотря на похожую сферу применения REST и SOAP, данные технологии для разработки API имеют различные задачи, исходя из своего строения. Так, технология REST подходит для передачи данных в высоконагруженных веб-сервисах из-за своей скорости работы и простого применения у клиента, что же касается SOAP, на нём стоит создавать сложные системы для специфических областей с большим количеством асинхронных транзакций и динамически изменяемыми данными.



## Литература

1. Википедия. Rest. [Электронный ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/REST> (дата обращения: 12.04.2020).
2. Medium. Сравнение SOAP и REST с JSON, 2019. [Электронный ресурс] URL: <https://medium.com/@nanotехnolagiya/> (дата обращения: 12.04.2020).
3. INTERVOLGA. Рельсы веб-интеграции. REST vs SOAP. [Электронный ресурс] URL: <https://www.intervolga.ru/blog/projects/relsy-veb-integratsii-rest-i-soap/> (дата обращения: 12.04.2020).
4. Википедия. SOAP. [Электронный ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/SOAP> (дата обращения: 12.04.2020).
5. Википедия. JSON. [Электронный ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/JSON> (дата обращения: 12.04.2020).
6. Википедия. XML. [Электронный ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/XML> (дата обращения: 12.04.2020).

УДК 004

### **Анализ реализаций асинхронных процессов в языке программирования JavaScript**

Сидоренко Даниил Евгеньевич, студент направления

«Информационные системы и технологии»;

Михеев Иван Васильевич, старший преподаватель кафедры

«Информатика и управление в технических системах»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*Современные подходы к асинхронному программированию на языке программирования JavaScript. Выделены проблемы синхронного подхода разработки. В статье рассмотрены основные понятия асинхронного программирования, а также выделены основные инструменты и возможность их применения при разработке веб-приложения.*

При разработке веб-приложения часто возникают проблемы при обычном синхронном подходе, связанные с тем, что при отправке запроса в процессе получения ответа от сервера обработка пользовательского интерфейса приостанавливается. Одним

из методов решения данной проблемы является использование методов асинхронного программирования. В данной статье асинхронное программирование будет рассмотрено на примере языка программирования JavaScript [1, 2].

В модели синхронного программирования выполнение инструкций происходит последовательно, одно за другим. Когда вызывается функция, которая выполняет длительное действие, переход на следующую инструкцию происходит только после завершения действия данной функции. Это останавливает программу на время обработки функции [2].

Решение в синхронной парадигме данной проблемы – это создание дополнительного потока, который обрабатывает вычисления и после возвращает результат, но для этого нужно сообщить первому потоку о завершении и вызвать специальный метод обработки запрошенных данных. Для упрощения данных задач существуют различные инструменты, фреймворки. Однако, даже при использовании инструментов и шаблонов для распараллеливания задачи, их внедрение в программу займет некоторое время, кроме этого в операциях с потоками при возникновении ошибки нужно приложить немалое количество усилий для её решения. В итоге решение проблемы данным методом растянет процесс разработки [1].

Для решения такого типа проблем появилась асинхронная модель, которая позволяет нескольким операциям происходить, одновременно не используя дополнительный поток. При запуске длительной по времени функции в асинхронном подходе, например, запроса на сервер, программа выполняется, несмотря на то что ответ на запрос ещё не выполнен. Когда ответ на запрос будет получен, основной поток программы получит доступ к ответу из сервера. Такой инструмент, детали реализации которого скрыты, достаточно прост в использовании и не заставляет разработчика углубляться в детали, из чего получается инструмент, упрощающий разработку повторяющихся задач, связанных с потоками [3].

На рис. 1 приведены схемы работы различных парадигм.

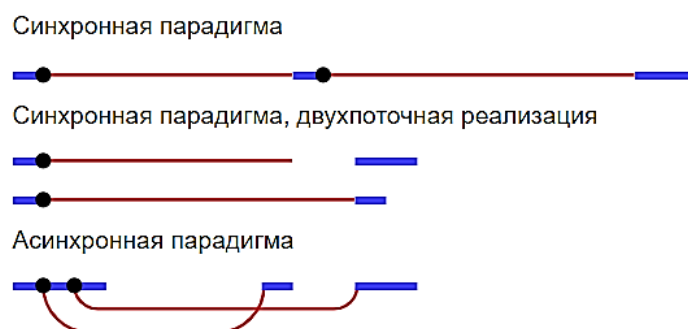


Рис. 1. Иллюстрация парадигм, описанных выше

Из вышесказанного можно сделать вывод, что асинхронное программирование – это средство параллельного выполнения, в котором единица работы выполняется отдельно от основного потока приложения и уведомляет вызывающий поток о его завершении, сбое или прогрессе [3].

Основными преимуществами, которые можно получить от использования асинхронного программирования, являются повышение производительности приложений и быстроты реагирования. Одним из хорошо подходящих приложений для асинхронного шаблона является предоставление отзывчивого пользовательского интерфейса в клиентском приложении при выполнении вычислительной или ресурсоемкой операции [3].

Реализация асинхронного программирования в JavaScript выражена:

- Callback.
- Promise.
- Async function.

Callback – один из подходов к асинхронному программированию. Высока вероятность того, что при исполнении программы не будет ошибок или пустых значений при вызове функции с длительным процессом. Для этого в первоначальную функцию помещается в аргумент значение «callback» и в тело функции вызов функции «callback()». Так, при выполнении данной функции и передачи в параметр «callback» нужного обрабатывающего метода порядок действий будет таким: сначала выполнится тело первоначальной функции независимо от того, как долго по времени будет выполняться этот процесс, а после уже вызовется переданная функция, которая завершит действие с данными. Таким образом, после завершения вложенной функции вызывается функция обратного вызова, которая будет оперировать результатом [3, 4, 5].

Также callback реализован в некоторых функциях по умолчанию, например, метод «setTimeout()» вызывает переданную в аргумент функцию и вычисляет выражение через указанное во втором аргументе количество миллисекунд. Другим примером callback функции является «setInterval()», который также вызывает переданную в аргумент функцию, но уже вычисляет выражение с заданными интервалами в миллисекундах до вызова специальной функции «clearInterval()».

Достаточно частым примером использования callback является получение данных из какого-либо микро-сервиса через API, что с огромной вероятностью произойдет не мгновенно, а с каким-либо временным интервалом, особенно в сервисах

с высокой нагрузкой на сервер. В данной ситуации стоит воспользоваться рассматриваемым выше методом [4].

Другим инструментом для использования асинхронного программирования являются `promise`. Данный инструмент является оберткой для асинхронного запроса, которая позволяет создавать функции обработчиков `callback` в более читаемой форме, так, при выполнении начальное состояние является значением «`pending`». Данное состояние сообщает о том, что функция ожидает выполнения. После того как ожидание завершится и данные появятся, состояние изменится на два значения «`fulfilled`», «`rejected`». Первое состояние является сигналом, что запрос выполнен правильно и может быть обработан в соответствии с заданной функцией со значением «`onFulfilled`», второе же состояние является сигналом, что данный запрос выполнен с ошибкой: также как и в первом состоянии можно будет обработать, но уже функцией со значением «`onRejected`» [5].

Кроме того, у данной обертки имеются операторы «`then`», «`catch`» и «`throw`». Оператор «`then`» позволяет удобно создавать функции обработчики над `promise`, благодаря данной конструкции увеличивается читаемость и упрощается разбор программного кода сторонним разработчиком, оператор «`catch`» позволяет удобно создавать обработчик на ошибку, а оператор «`throw`» является обработчиком на данные с ошибкой, то есть дополняет оператор «`catch`». Появление данных операторов над `promise`, позволяет структурировать обработку данных после выполнения тела `promise` [4, 5].

Немаловажным инструментом в асинхронном программировании является `asyncfunction`. Данный префикс перед функцией обозначает то, что функция будет возвращать `promise`, также конструкция упрощает создание «`promise`» и его обработку. Неотъемлемой частью функции `async` является оператор «`await`», который заставляет интерпретатор ожидать выполнения функции, а после возвращения значений работы функции будет выполнена остальная часть программы. Стоит отметить, что данный оператор не останавливает работу всей программы из-за особенностей интерпретатора JavaScript, а именно его реализации стека. Фактически `await` является более гармоничной записью `callback` с более простым синтаксисом [3].

Из приведенных выше инструментов асинхронного программирования можно сделать вывод, что язык JavaScript развивается, как и многие другие языки, создавая обертки над уже имеющимися функциями, кроме того, асинхронность в целом удачно применяется при создании веб-сервисов из-за простоты реализации.

## Литература

1. Википедия. Параллельные вычисления. [Электронный ресурс] URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Параллельные\\_вычисления](https://ru.wikipedia.org/wiki/Параллельные_вычисления) (дата обращения: 10.04.2020).
2. Википедия. Распараллеливание программ. [Электронный ресурс] URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Распараллеливание\\_программ](https://ru.wikipedia.org/wiki/Распараллеливание_программ) (дата обращения: 10.04.2020).
3. Википедия. Асинхронность. [Электронный ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Асинхронность> (дата обращения: 10.04.2020).
4. Medium. Полное понимание синхронного и асинхронного JavaScript с Async/Await. [Электронный ресурс] URL: <https://medium.com/@stasonmars/> (дата обращения: 10.04.2020).
5. LearnJavaScript.ru. Promise. [Электронный ресурс] URL: <https://learn.javascript.ru/promise> (дата обращения: 10.04.2020).

УДК 004.04

### **Применение web-технологий в образовании на примере Skype**

Тусова Александра Евгеньевна, старший преподаватель кафедры  
«Информатика и прикладная математика»;

Карягина Татьяна Васильевна, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Информатика и прикладная математика»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Российский государственный социальный университет», г. Москва

*В данной статье представлена специфика программы Skype при дистанционном обучении. Рассмотрены различные аспекты применения web-технологий в образовании.*

В нашей жизни сложно найти человека, который не слышал бы про Skype. Популярность такого дистанционного способа обучения в нашей стране в последнее время выросла в разы. Быстрое развитие сетевых информационных технологий активно внедряется в повседневную жизнь, открывая новые перспективы в сфере образования. В настоящее время Skype широко используется в образовательных программах.

Данное исследование посвящено применению web-технологий, а именно: работа в программе Skype при обучении информатики и информационных технологий в профессиональной деятельности. Повышение квалификации и сама методика преподавания постоянно развиваются, и уже нет необходимости только в аудиторных

занятиях. Данный фактор указывает на то, что использование Skype-технологии в образовательном процессе является будущим флагманом, а также малоизученным в контексте возможностей именно в образовании.

В условиях университетской студенческой среды технологии дистанционного электронного обучения по Skype трудно переоценить. Процесс обучения становится гибким и высококачественным, позволяет привлекать к чтению лекций, семинарских занятий, консультаций, вебинаров опытейших преподавателей, ученых, методистов, ведущих специалистов предприятий и учреждений, школ, колледжей, проводить видео- и аудио-конференции в режиме онлайн. С этим подробнее можно ознакомиться в работе Т.В. Карягиной [1]. Это способствует подготовке компетентных, грамотных, успешных и конкурентноспособных на рынке труда специалистов, выпускников вузов [2].

Skype предлагает некоторые удобные функции, характерные для обычного телефона, такие как удержание вызова, автоматический повторный набор номера, отключение микрофона и быстрый набор номера. Кроме того, существует возможность поиска абонентов, что позволяет быстрее найти человека, которому хотите позвонить. Можно группировать абонентов под разными заголовками в зависимости от того, по каким вопросам с ними связываетесь [3].

Основной задачей применения Skype-технологии в образовании является обеспечение бесперебойной связи студентов и профессорско-преподавательского состава.

Одними из наиболее популярных инструментов Skype-технологии являются:

- создание собрания и групповых чатов;
- передача аудио и видео;
- пересылка файлов;
- бесплатные звонки абонентам Skype;
- запись экрана видео и аудио (хранится 30 дней).

Положительные стороны применения технологий такого рода в образовании очевидны. Ниже рассмотрим плюсы применения современных информационных технологий в образовании.

Онлайн-преподавание – это наше будущее.

Дистанционное образование – это необходимое условие для престижа университета.

Дистанционный формат преподавания обязательно должен сочетаться и с аудиторными занятиями.

Для того чтобы качественно работать дистанционно, необходимо пройти соответствующее обучение.

У студентов и преподавателей развиваются компетенции по применению web-технологий.

Не тратится время на дорогу и контакт с людьми в метро и общественном транспорте (особенно актуально в период гриппа и массовых заболеваний).

В режиме реального времени можно делиться со студентами всеми необходимыми материалами (лекциями, лабораторными и практическими заданиями, проводить вебинары).

Меньше пропусков занятий у студентов, так как данный формат удобен абсолютно из любой точки города, района или страны, главное, чтобы был интернет.

Можно сделать видеозапись занятия и пересмотреть ее в любое время.

Разумеется, минусы имеются тоже, а именно:

- непривычно работать в виртуальной аудитории;
- могут быть технические неполадки и сбои;
- отсутствует непосредственная связь преподавателя и студента.

Несмотря на недостатки использования скайпа, необходимо признать, что ничто не стоит на месте, и скайп – это одна из ступеней в развитии, в том числе для российского образования.

При правильном наборе и использовании инструментов web-технологий в образовании все это позволит вывести преподаваемые дисциплины на более высокий уровень, привлечь студентов, работать в сети преподавателям разных возрастных категорий и должностей.

Перечислим области применения Skype-технологий:

- получение профессионального образования, не выходя из дома;
- повышение квалификации (дополнительное образование);
- переподготовка;
- способствует развитию глобализации в научной сфере;
- создание среды удобной для пользователя.

В обширном смысле целью web-технологий является получение профессиональных навыков и новаторство в образовательном процессе. Об этом пишут многие авторы: О.А. Бакаева, Е.А. Тагаева [4], С. Мартишин, В. Симонов, М. Храпченко [5].

Применение Skype-технологий повышает конкурентоспособность дополнительных образовательных программ преподавателей, создавая условия для

построения индивидуальных образовательных траекторий, максимальной индивидуализации учебного процесса. Использование подобных интернет-технологий дает возможность осуществить на практике гибкое сочетание самостоятельной познавательной деятельности обучающихся с различными источниками информации, групповую работу, оперативное и систематическое взаимодействие с преподавателями [6, 7].

#### Литература

1. Карягина Т.В. Дистанционное образование на базе компьютерных телекоммуникаций / Т.В. Карягина // Ученые записки Российского государственного социального университета. – 2011. – № 9. – С. 142-146.
2. Прохорова С.Н. Использование скайп-технологий в дистанционном обучении / С.Н. Прохорова // Вестник ВГУ. – 2014. – С. 83-86.
3. Яковлева Е.С. Самоучитель Skype. Бесплатная связь через Интернет / Е.С. Яковлева. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 285 с.
4. Бакаева О.А. Использование интернет-технологий в образовании / О.А. Бакаева, Е.А. Тагаева / Сборник научных статей 4-й Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы развития современного общества». – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. – С. 420-423.
5. Мартишин С. Использование свободного программного обеспечения HTML5 BOILERPLATE, BOOTSTRAP, INITIALIZR для обучения студентов технологиям создания клиентской части web-приложений / С. Мартишин, В. Симонов, М. Храпченко / Сборник тезисов Четырнадцатой конференции «Свободное программное обеспечение в высшей школе». – М.: МАКС Пресс, 2019. – С. 103-107.
6. Володин Ю.В. Об особенностях и проблемах организации дистанционного обучения в вузе в современных условиях / Ю.В. Володин // Сборник материалов 3-й Международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития науки и образования: теория и практика». – М.: ВИПО, 2019. – С. 91-93.
7. Карягина Т.В. Использование современных информационных технологий в учебном процессе / Т.В. Карягина, М.С. Маркина // Труды двадцатых математических чтений «Математические методы и приложения». – 2011. – С. 99-100.



## **История Интернета.**

### **Отдельные события, влиявшие на становление Интернета**

Усова Лада Вячеславовна, студент направления

«Педагогическое образование»;

Ходакова Нина Павловна, доктор педагогических наук, профессор департамента

«Методика обучения»

Государственное автономное образовательное учреждение высшего образования города Москвы «Московский городской педагогический университет», г. Москва

*В статье раскрываются основные этапы создания и развития сети Интернет, а также раскрываются и описываются отдельные события в истории создания и развития глобальной сети.*

Чтобы понять, что повлияло на развитие Интернета и его современный вид, нужно вернуться в 1957 год, когда идея о глобальной сети только зарождалась. По мере роста потребностей размеры вычислительных устройств становились больше и их приходилось располагать в отдельных, хорошо вентилируемых помещениях. В связи с этим требовалось каким-то образом соединить программиста и устройство. Также до середины 20 века компьютеры работали по схеме «пакетной обработки» – оператор приносил задание для компьютера, сформированное в пакет, на перфокарте, загружал его в компьютер и ждал, пока тот сам, без вмешательства оператора выполнял требуемые вычисления [1].

Но со временем стало понятно, что такая работа крайне неэффективна, как из-за временных трат, так и из-за высокой стоимости устройств, что делало непозволительным простои в работе. Некоторые исследователи стали предлагать другой подход к работе, они заявляли, что процесс нужно сменить на более эффективный: вместо того, чтобы давать задание устройству, пользователь должен сам напрямую работать с машиной. Также из-за ограниченности количества устройств, требовалось как-то оптимизировать время их использования. Для этого использовалась идея «разделения времени» [2], при которой мощность одного компьютера распределялась на нескольких пользователей. И пока один программист тратил время на расшифровку полученного вывода, другой мог в это же время загрузить свою программу и так далее. Такая необходимость в интерактивности была обусловлена действиями Советского союза по первому испытанию атомной бомбы в 1949 году и по запуску Спутника-1.

Итак, 4 октября 1957 года СССР запускает первый искусственный спутник. Так как это происходило во время Холодной войны, американское правительство всерьёз опасалось внезапной ракетной атаки и поэтому создало DARPA – управление перспективными исследовательскими программами в области обороны. А они в свою очередь, чтобы максимально эффективно и быстро проводить исследования, создали масштабную компьютерную сеть – ARPANET.

Предком этой сети можно считать сеть интерактивных компьютеров SAGE, созданную для решения задач противовоздушной обороны, которая заложила техническую основу для более поздних компьютерных сетей, благодаря созданию модема – устройства способного модулировать аналоговый телефонный сигнал при помощи набора исходящих цифровых данных, и демодулировать биты из входящей волны. В 1969 году сеть ARPANET объединила четыре научных учреждения в Лос-Анджелесе, Стэнфорде, Солт-Лейк-Сити и в Санта-Барбаре – узлы, наиболее вовлеченные в создание этой сети. В начале сеть поддерживалась Министерством обороны США, а позже активно развивающуюся и быстрорастущую сеть стали использовать учёные из разных областей науки.

Легендарное событие, произошедшее 29 октября 1969 года в 21:00 впервые между двумя компьютерами сети ARPANET расстояние между которыми составляло 640 километров (были выбраны компьютеры в Калифорнийском университете и Стэнфордском университете как наиболее удалённые) была налажена связь. Двое учёных пытались передать сообщение длиной в пять символов, а результат передачи каждого подтверждался по телефону. Однако удалость передать только два символа LO, после чего сеть, не выдержавшая нагрузки, прекратила работу. Спустя около часа соединение снова наладили и смогли полностью передать сообщение LOGIN. Именно это событие служит отправной точкой в формировании образа глобальной сети в том виде, с которым мы знакомы сегодня [3].

Следующим важным этапом в формировании интернета можно считать появление электронной почты. Программа mail была написана в 1965 году сотрудниками Массачусетского технологического института. Вначале пользователи могли присылать друг другу письма в рамках одного мейнфрейма, далее появилась возможность отправить письмо человеку, использующему другую машину, а затем отправлять письма через третий компьютер. Но способ записи адреса пользователя был громоздкий и необходимо было знать точный путь до адресата.

После распространения глобальной системы DNS, для указания адреса начали использовать доменные имена. Теперь для писем выделялись отдельные серверы,

доступ к которым имели только администраторы. Именно на эти серверы стали приходить сообщения, и чтобы «забрать» своё письмо использовались различные протоколы, например, POP3, IMAP, STMP. Начиная с 1971 года, немногочисленные пользователи высоко оценили email, стали активно общаться между собой с помощью электронных писем, а позже стали появляться онлайн чаты. Но действительно масштабной сеть стала только в 1973 году. До этого по сети соединялись только американские компьютеры, а в тот год добавились британские и норвежские пользователи, интернет начинает шагать по планете.

Благодаря доменным именам стало возможным посещать различные сайты в сети. Домен – узел в древе имен, с подчиненными ему узлами. Доменное имя читается слева направо, причём каждый следующий домен стоит выше по иерархии чем предыдущий. Со временем у ARPANET появляется конкурент в виде сети NSFNET, созданной при поддержке Национального научного фонда США, который работал во много раз лучше и стал более популярным. Эта сеть стала каркасом для Интернета и понятие Интернет стало всё больше ассоциироваться с NSFNET. Концепт Всемирной паутины появился в Европе в 1989 году, её предложил учёный Тим Бернс-Ли, и он же разработал технологии URL, HTTP, HTML, которые используются и сегодня.

Всемирная паутина связывала между собой огромное количество документов, находящихся на различных компьютерах, подключенных к Интернету. На сегодняшний день говоря об Интернете, люди часто имеют в виду Всемирную паутину, но это одно и то же. Не выдерживая соперничества с набирающим популярность вебом ARPANET, заканчивает своё существование в 1990 году, передавая свои устройства NSFNET.

В свою очередь эта сеть передала значительную часть каналов в общедоступное пользование и вернулась к научно-исследовательским работам. На сегодняшний день сеть продолжает существовать, на её базе развивается проект Internet2, призванный обеспечивать связь на невероятно высоких скоростях. В России в 90-е годы был популярен Фидонет – любительская и некоммерческая компьютерная сеть, использующая принцип соединения «из точки в точку», однако на сегодняшний день хоть она и сохранилась, но перестала быть настолько известной.

#### Литература

1. What is batch processing? [Электронный ресурс] URL: [https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/zosbasics/com.ibm.zos.zconcepts/zconc\\_whatbatch.htm](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/zosbasics/com.ibm.zos.zconcepts/zconc_whatbatch.htm) (дата обращения: 02.04.2020).

2. Большой энциклопедический политехнический словарь. 2004. [Электронный ресурс] URL: <http://find-info.ru/doc/dictionary/big-polytechnical/index.htm> (дата обращения: 02.04.2020).

3. Ровно 50 лет назад зародился Интернет. Как это было. [Электронный ресурс] URL: <https://www.ferra.ru/news/techlife/day-in-tech-history-october-29-29-10-2018.htm> (дата обращения: 02.04.2020).

4. Что Такое POP3, SMTP и IMAP? [Электронный ресурс] URL: <https://www.hostinger.ru/rukovodstva/chto-takoe-pop3-smtp-i-imap> (дата обращения: 02.04.2020).

УДК 373.1

### **Организация самостоятельной работы обучающихся с использованием web-ресурса**

<sup>1</sup>Штырова Ирина Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Информатика и управление в технических системах»;

<sup>2</sup>Панина Ольга Ивановна, преподаватель

<sup>1</sup>Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального  
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково;

<sup>2</sup>Государственное автономное профессиональное образовательное учреждение  
Саратовской области «Балаковский промышленно-транспортный техникум  
им. Н.В. Грибанова», г. Балаково

*Разработка компьютерных обучающих систем, учитывающих индивидуальные особенности обучающихся, в настоящее время является актуальным направлением в развитии информационных технологий, направленных на помощь преподавателю и обучающемуся в образовательном процессе. Использование обучающих систем, построенных на основе web-технологий, позволяет эффективно организовать самостоятельную работу обучающихся.*

Эффективность образовательного процесса в образовательном учреждении в значительной степени обусловлена средой, сопровождающей обучение, воспитание и развитие личности обучающегося.

Информационно-образовательная среда – это единое пространство, в котором организованы процессы по сохранению, обработке и представлению всей информации внутри образовательного учреждения, пронизывающей все сферы деятельности

образовательного учреждения. Большинство образовательных учреждений формирует свою информационную среду на основе систем, основанных на web-технологиях, позволяющих аккумулировать данные о каждой области деятельности [1]. Информационно-образовательная среда, удовлетворяющая современным требованиям, должна включать образовательные ресурсы, позволяющие организовать как аудиторную, так и самостоятельную работу обучающихся, в том числе и в дистанционной форме [2].

В условиях модернизации образования для подготовки высококвалифицированных, конкурентоспособных специалистов самостоятельная работа обучающихся является одной из важных форм организации учебного процесса на всем протяжении обучения.

Целью внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся является закрепление, расширение и углубление получаемых знаний, умений и навыков, самостоятельное изучение и усвоение нового материала без помощи преподавателя.

Внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся:

- позволяет глубоко вникнуть в сущность изучаемого вопроса;
- способствует развитию познавательных способностей, исследовательских умений обучающихся;
- вырабатывает стойкие идейные взгляды и убеждения;
- формирует самостоятельность мышления, трудолюбие, организованность, инициативу, целеустремленность, способность к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- повышает культуру умственного труда, развивает умение самостоятельно приобретать и углублять знания.

Использование компьютерных обучающих систем при организации самостоятельной работы обучающихся позволяет обеспечить непрерывность и полноту дидактического цикла процесса обучения, предоставляя теоретический материал, обеспечивая тренировочную учебную деятельность, осуществляя контроль уровня знаний [3]. При этом именно для организации внеаудиторной самостоятельной работы наиболее эффективно можно применять компьютерные обучающие системы, а также использовать дистанционные образовательные технологии. Преимуществом такого подхода является возможность реализации индивидуального подхода, доступность необходимых учебных материалов для обучаемого в любое время.

Для организации компьютерных обучающих систем существует множество программных продуктов, как свободных, так и коммерческих, а также самостоятельно

разрабатываемых образовательными организациями под свои нужды, которые реализуют различные концепции обучения. Оптимальным вариантом для организации самостоятельной работы обучающихся является использование web-ресурса, не только предоставляющего пользователям доступ к учебно-методическим материалам, но и позволяющего преподавателю отслеживать результаты работы обучающихся [4].

Образовательный web-ресурс должен обеспечивать выполнение следующих задач [5, 6]:

- размещение учебных материалов различного вида (документы, видеоматериалы, тесты и так далее);
- отслеживание хода образовательной деятельности и результатов работы;
- организация взаимодействия между преподавателями и обучающимися;
- формирование отчетности в удобной для восприятия форме.

Выделим основные требования, предъявляемые к web-ресурсу для организации самостоятельной работы обучающихся:

- должна иметься возможность учитывать индивидуальные особенности обучающегося;
- должен реализовываться гибкий алгоритм управления познавательной деятельностью;
- необходима поддержка предоставления учебного материала в разных формах;
- web-ресурс должен удовлетворять единым требованиям подготовки предметного обучающего материала;
- web-ресурс должен иметь интуитивно-понятный, дружелюбный интерфейс;
- необходимо обеспечивать разделение прав доступа, регистрацию и авторизацию преподавателя и обучаемого;
- web-ресурс должен обеспечивать ведение истории обучения, накопление результатов обучения и информирование обучающегося об успехах учебной деятельности.

Предлагается следующий механизм взаимодействия пользователей web-ресурса:

- Администратор системы – управление ресурсами, управление результатами, управление пользователями системы. Администратор имеет полный доступ к web-ресурсу.
- Преподаватель – управление ресурсами, управление результатами.
- Обучающийся – использование ресурсов системы.

Следовательно, архитектура web-ресурса должна содержать как минимум два модуля с различными интерфейсами:

- модуль обучающегося;
- модуль преподавателя и администратора.

Модуль обучающегося должен содержать список дисциплин по семестрам, по каждой дисциплине – список тем для самостоятельной работы, учебно-методические материалы (например, методические рекомендации по подготовке докладов, презентаций, контрольных работ, эссе, выполнению практических работ и так далее), задания на самостоятельную работу, контрольные материалы (вопросы, тесты и так далее). Также обучающемуся должен быть предоставлен «журнал», содержащий номера и темы работ, которые необходимо отправить на проверку, и результаты выполнения этих работ. Также должна иметься форма для отправки работы на проверку и возможность просмотра списка отправленных работ.

Интерфейс модуля преподавателя также должен содержать разделы со списком дисциплин, тем для самостоятельной работы, учебно-методических, контрольных материалов. Но у преподавателя должна иметься возможность добавления, удаления и редактирования всех материалов. Кроме того, преподавателю необходимо устанавливать сроки сдачи работ. Для осуществления контроля выполнения самостоятельной работы обучающихся преподаватель должен иметь возможность просматривать присланные работы, выставлять результаты и оставлять комментарии по работе. Наиболее эффективным будет работа преподавателя в двух режимах – со списком всех обучающихся и с каждым обучающимся в отдельности (чтобы преподаватель мог организовать диалог с конкретным обучающимся). Дополнительным преимуществом является возможность формирования преподавателем различных видов отчетов.

Таким образом, организация самостоятельной работы обучающихся с использованием web-ресурса позволяет сочетать теоретическую и практическую подготовку, обеспечивать методическую, учебную и организационную поддержку процесса обучения, осуществлять эффективное взаимодействие преподавателя с обучаемым и упростить контроль результатов выполнения работы.

#### Литература

1. Штырова И.А. Использование web-ресурса при мониторинге научно-исследовательской деятельности преподавателей вуза / И.А. Штырова, Е.А. Абузова // Сборник статей участников V-ой Международной научно-практической конференции «Современные Web-технологии в цифровом образовании: значение, возможности, реализация». – Арзамас: Арзамасский филиал ФГАОУ ВО «Национальный

исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», 2019. – С. 569-573.

2. Виштак О.В. Электронные образовательные ресурсы как базовый компонент информационно-образовательной среды / О.В. Виштак, М.В. Фролов // Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – С. 142-146.

3. Амирбекова Р.Х. Использование информационных технологий в процессе формирования профессионального мастерства студентов // Р.Х. Амирбекова, Н.П. Ходакова, Н.М. Виштак // Сборник трудов II «Проблемы развития предприятий энергетической отрасли в условиях модернизации российской экономики и общества». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2016. – С. 69-70.

4. Виштак О.В. Программные средства разработки автоматизированных обучающих систем / О.В. Виштак, Д.А. Фролов, С.В. Абросимов // Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Проблемы развития предприятий энергетической отрасли в условиях модернизации российской экономики и общества». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – С. 80-85.

5. Виштак Н.М. Подходы к организации тестового контроля знаний в компьютерных обучающих системах / Н.М. Виштак, Е.И. Мануйлова // Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции «Проблемы развития регионов в условиях модернизации экономики, общества и образования». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2018. – С. 48-50.

6. Дауленбаева Т. Инновационные технологии как фактор активизации познавательной деятельности обучающихся / Т. Дауленбаева, Н.П. Ходакова, Н.М. Виштак // Сборник трудов II «Проблемы развития предприятий энергетической отрасли в условиях модернизации российской экономики и общества». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2016. – С. 77-78.



**СЕКЦИЯ 3**  
**«ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ**  
**В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И УПРАВЛЕНИИ»**

УДК 681.5

**Анализ современного уровня развития в области систем контроля при хранении  
нефтепродуктов**

Белякова Наталия Олеговна, студент направления

«Управление в технических системах»;

Фролова Марина Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры

«Информатика и управление в технических системах»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального  
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*В статье рассматриваются особенности хранения нефтепродуктов. Анализируются существующие системы контроля, применяемые для организации процесса хранения сырья и сокращающих степень возможных потерь, проводится их оценка.*

В любом технологическом процессе задача минимизации потерь является одной из приоритетных. В процессе хранения нефтепродуктов необходимо обеспечивать ряд мероприятий, направленных на предотвращение возможных потерь, возникающих вследствие образующихся испарений или утечек.

Потери нефтепродуктов делятся на качественно-количественные (смешанные), качественные и количественные.

Качественно-количественные потери образуются при испарении горючего и нефтепродуктов. В зависимости от условий протекания процесса можно выделить два вида испарения: статистическое и динамическое. Их следует рассматривать как модели, к которым приближаются по механизму реальные сложные процессы испарения. Испарение горючего с неподвижной поверхности в неподвижную среду называется статическим, а испарение, при котором жидкость и газовая среда движутся относительно друг друга, – динамическим. В результате испарения из горючего теряются лёгкие углеводороды, которые являются наиболее ценным сырьем для нефтеперерабатывающей промышленности. Потери лёгких фракций снижают качество

горючего. В наибольшей степени это относится к бензинам, в несколько меньшей степени к реактивным топливам. Дизельное топливо, масла, мазуты и смазки практически не испаряются и, соответственно, по этой причине не теряют своих качеств и эксплуатационных свойств.

Качественные потери возникают в результате смешения, загрязнения, обводнения, окисления нефтепродуктов. Так, последовательная перекачка нефтепродуктов с разными характеристиками по общему трубопроводу, а также заполнение емкостей, содержащих остатки нефтепродукта другого сорта, приводят к смешению и, следовательно, к снижению качества продукта.

Количественные потери – это результат утечек, переливов, неполного слива транспортных емкостей и резервуаров. Причинами этих потерь могут быть негерметичность стенок и днищ резервуаров, нарушение правил их технической эксплуатации, неправильная эксплуатация нефтескладского оборудования, проявляющаяся в несоблюдении технологии проведения операций, в неисправности запорной арматуры и/или контрольно-измерительного оборудования.

Количественные потери можно избежать за счёт регулярного контроля емкостей на наличие их повреждений, своевременного обслуживания оборудования, проверки плотности прилегания соединительных элементов. Одним из наиболее надёжных способов предотвращения перелива нефтепродукта в резервуаре является внедрение системы контроля.

В настоящее время в сфере нефтепродуктообеспечения активно разрабатываются новые и модернизируются уже существующие системы контроля, предназначенные для выполнения различного рода задач.

Одним из примеров является система автоматизированной отгрузки топлива автомобильной газонаполнительной компрессорной станции, которая была запущена в июле 2019 года в Московском нефтеперерабатывающем заводе «Газпром нефть» [1].

Автоматизированный терминал отгрузки топлива состоит из 12 постов с возможностью отгружать в автоцистерны бензин, дизельное и авиационное топливо одновременно, что в свою очередь приводит к уменьшению времени отгрузки в четыре раза. При этом точность отгрузки топлива составляет до 100 граммов за счёт высокоточной цифровой системы контроля.

Мониторинг транспортировки топлива в режиме реального времени осуществляется цифровой системой «Нефтеконтроль – Газпром нефть». Цель данной системы заключается в обеспечении измерения показателей нефти на входе в нефтеперерабатывающий завод и нефтепродуктов при отгрузке, а также контроль

параметров продукта во время хранения и отгрузки с нефтебаз и отпуске конечным потребителям. Система содержит более чем 50 тысяч датчиков, осуществляющих прием и обработку данных, что повышает эффективность контроля качества на всех технологических этапах. Все этапы контролируются специалистами Центра управления эффективностью нефтепереработки и сбыта «Газпром нефти».

В комплексе имеется система улавливания испарений, в задачи которой входит сбор отходящих паров, превращение их в жидкий конденсат и возврат в повторный цикл производства. К тому же нижний налив продукции абсолютно герметичен, то есть исключается выход нефтепродукта в атмосферу, попадание пыли или осадков в отсеки автоцистерн.

Кроме того, созданный комплекс благодаря внедрению современных природоохранных технологий и систем управления значительно снижает пагубное воздействие на окружающую среду.

Резервуары, согласно государственному стандарту, должны подвергаться периодической зачистке. Для этого нефтепродукты выкачивают из резервуара, очищают его и проводят осмотр для исключения повреждений. Данный процесс занимает много времени, имеет некоторые сложности, а также может иметь некоторые экономические затраты, например, если в ёмкости хранился мазут, его остаток необходимо утилизировать в соответствии с рядом природоохранных правил. Однако данные трудности можно избежать. Так, для контроля внутреннего состояния резервуаров больших объёмов, в которых хранится нефтепродукт или вода, российской компанией «Диаконт» разработана роботизированная система диагностики РД-СКР [2].

Такой робот позволяет миновать слив содержимого резервуара, при этом наличие осадка не влияет на функционирование устройства и даже может очищать внутреннюю поверхность от наслоений до 25 миллиметров. Робот защищен от воздействия агрессивных сред, учитывая и риски взрыва при работе с горючей жидкостью.

В 2016 году инженерами белорусской компании «Техникон» совместно со специалистами проектного института «Белнефтехимпроект» была создана система для автоматизации станций хранения и перевалки нефтепродуктов на основе программно-технического комплекса MitsubishiElectric. Проект реализован на нефтебазе в районе населенного пункта Бернады РУП «ПО Белоруснефть».

Данная автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) ведёт учет поступивших нефтепродуктов на основе данных, полученных от весоизмерительной системы; осуществляет прием нефтепродуктов из

железнодорожных цистерн в резервуарный парк, формируя маршрут слива с учётом технологических блокировок; контролирует внутрибазовые перекачки. Также в задачи системы входит управление насосным оборудованием, диагностика работы узлов системы управления, отображение информации, предоставленной системой измерения уровня и учета нефтепродуктов, хранящихся в резервуарном парке [3].

Таким образом, разработанные современные системы контроля направлены на одновременное регулирование сразу несколькими технологическими процессами с нефтепродуктами. В целом, созданные автоматизированные системы имеют одинаковые задачи: сократить потери нефтепродукта, обеспечить точность измерений его параметров в режиме реального времени, при этом система должна быть надёжной и обеспечивающей безопасные условия эксплуатации. Достаточно развитая на сегодняшний день технологическая платформа позволяет реализовывать такие системы и эффективно эксплуатировать на предприятиях нефтепродуктообеспечения.

#### Литература

1. Московский НПЗ перешел на автоматизированную систему отгрузки топлива. [Электронный ресурс] URL: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/moskovskiy-npz-pereshel-na-avtomatizirovannuyu-sistemu-otgruzki-topliva/> (дата обращения: 20.04.2020).
2. Орлова Н. РД-СКР готов услужить. [Электронный ресурс] URL: [https://spbvedomosti.ru/news/obshchestvo/rd\\_skr\\_gotov\\_nbsp\\_usluzhit/](https://spbvedomosti.ru/news/obshchestvo/rd_skr_gotov_nbsp_usluzhit/) (дата обращения: 22.04.2020).
3. Автоматизированная система управления станции хранения и перевалки нефтепродуктов. [Электронный ресурс] URL: <https://neftegaz.ru/science/Oborudovanie-uslugi-materialy/331586-avtomatizirovannaya-sistema-upravleniya-stantsii-khraneniya-i-perevalki-nefteproduktov/> (дата обращения: 22.04.2020).

## **Результаты реализации алгоритма идентификации личности**

Дружин Дмитрий Сергеевич, студент направления

«Информационные системы и технологии»;

Фролова Марина Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры

«Информатика и управление в технических системах»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*Рассматривается пример реализации аппарата нейронных сетей для идентификации человека среди группы лиц. Описываются основные технологические решения, использованные для реализации идентификации личности человека. Делаются выводы по влиянию размера изображений на скорость анализа.*

Идентификация личности является активной и постоянно расширяющейся областью научных исследований. Так, идентификация и верификация людей на изображениях упрощает доступ к различным устройствам и системам. Технологии, применимые в данной сфере, в настоящее время широко внедряются в нашу жизнь: большинство современных телефонов оснащены встроенным сканером лица; в банковской сфере используют биометрическое изображение лица вместо пин-кода; система распознавания лиц широко внедряется в системах видеонаблюдения в общественных местах [1].

Для реализации системы идентификации человека по изображению в работе была использована связка из языка программирования Python и библиотеки анализа данных dlib. Python зарекомендовал себя как язык программирования, хорошо приспособленный для реализации рядовых прикладных задач и обладающий большим набором библиотек. Dlib обладает наличием предобученных искусственных нейронных сетей и инструментов для работы с ними.

В качестве готовых нейронных сетей была выбрана сеть для распознавания лиц `dlib_face_recognition_resnet_model_v1` и сеть для выделения ключевых точек лица `shape_predictor_68_face_landmarks`. Данная модель хорошо себя зарекомендовала тем, что в ней для выявления ключевых точек отсутствует необходимость в хорошем освещении и фронтальном положении лица, при этом внешние аксессуары, такие как очки и некоторые другие, также не влияют на результат распознавания.

Соответствующее модели распределение точек по элементам лица представлено в табл. 1.

Таблица 1

Распределение точек по частям лица

Элемент лица	Номера точек	Количество точек
Абрис лица	от 1 до 17	17
Бровь правая	от 18 до 22	5
Бровь левая	от 23 до 27	5
Нос	от 28 до 36	9
Глаз правый	от 37 до 42	6
Глаз левый	от 43 до 48	6
Губы	от 49 до 68	20

Алгоритм поиска совпадений представлен на рис. 1.

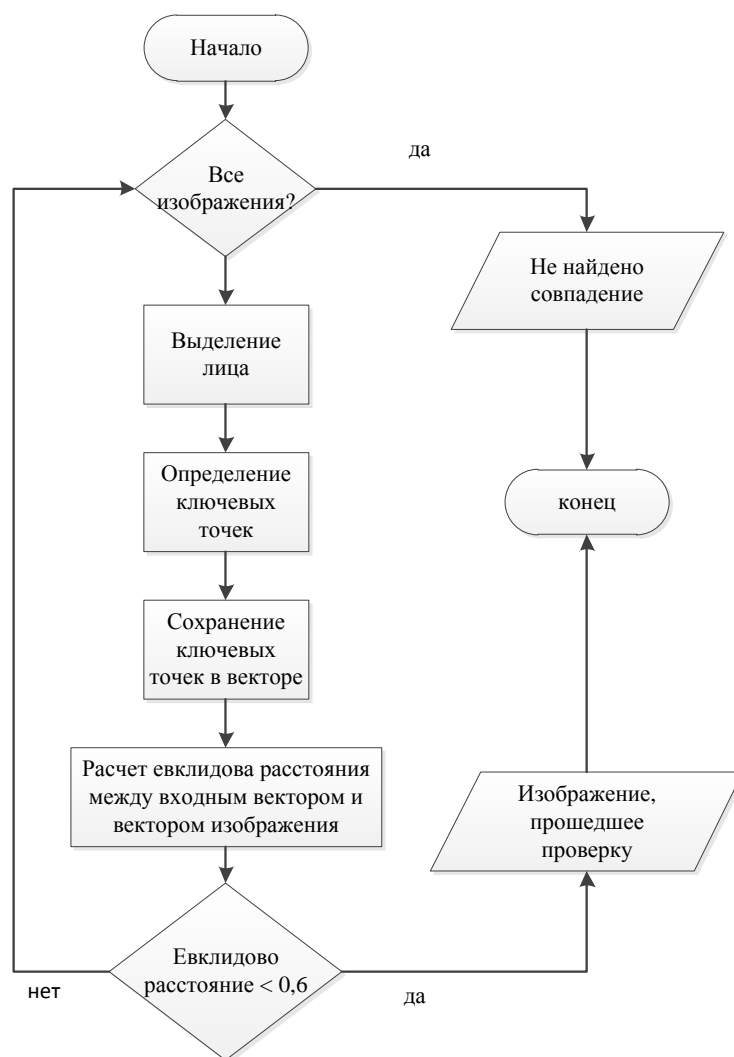


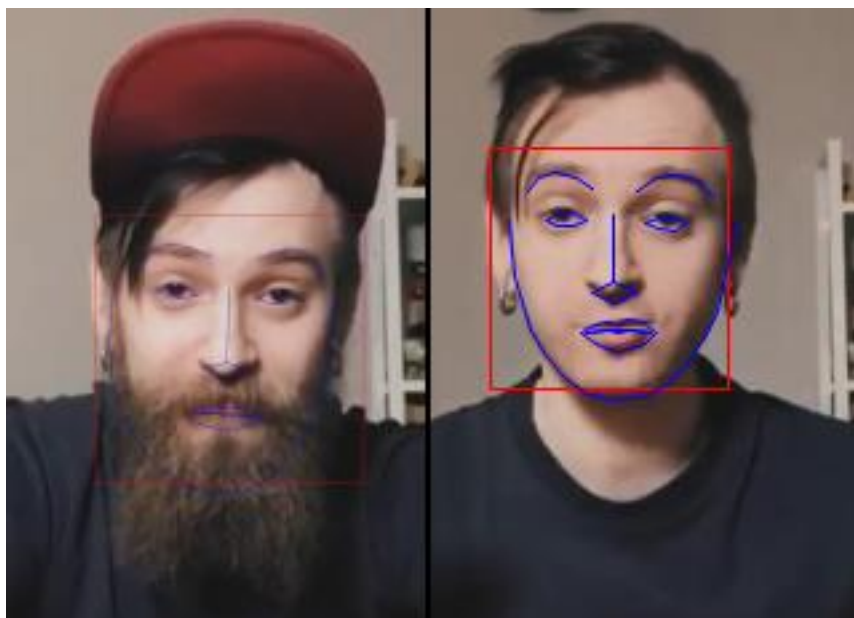
Рис. 1. Алгоритм поиска совпадений

Отработка модели была проведена на изображениях лиц, находящихся в свободном доступе сети Интернет (рис. 2).



*Рис. 2. Используемый набор изображений*

На рис. 3 можно наблюдать найденную пару совпадений, также по этой паре изображений можно заметить, что ни головной убор, ни наличие бороды не повлияли на точность поиска совпадения, евклидово расстояние между векторами данных изображений составило 0,471 и более чем удовлетворяет необходимому условию [2].



*Рис. 3. Входное изображение и изображение из базы*

Рассмотрим влияние размеров изображения в имеющейся базе данных на скорость обнаружения лица на изображении. Данные, приведённые в табл. 2, содержат время на поиск совпадений без учета расчета евклидова расстояния между векторами

контрольных точек. Проанализировав данные, можно заметить, что при значительном увеличении веса изображения идет незначительный рост точности расчета искомого коэффициента, однако этим приростом нельзя пренебрегать [3, 4].

Таблица 2

Сравнение влияния размера изображений на точность и скорость идентификации

№	Кол-во пикселей x3			Обычное кол-во пикселей			Кол-во пикселей x0.3		
	Вес, КБ	Время, сек	Расстояние	Вес, КБ	Время, сек	Расстояние	Вес, КБ	Время, сек	Расстояние
1	583	0,668	0,709	97,2	0,378	0,716	14,8	0,309	0,745
2	269	0,791	0,81	160	0,374	0,807	27,9	0,309	0,783
3	541	0,766	0,8	179	0,372	0,8	25,1	0,34	0,811
4	498	0,736	0,466	96,1	0,360	0,471	17,3	0,302	0,519
5	829	0,86	0,871	154	0,374	0,866	25	0,35	0,843
6	1039	0,806	0,795	151	0,368	0,796	20,2	0,324	0,785
7	616	0,835	0,727	145	0,364	0,724	21,8	0,312	0,734

В мире существует множество людей с очень похожей внешностью, и для более точной идентификации можно снизить пороговое значение коэффициента с 0,6 до 0,5 и тогда изображение с высотой 106 пикселей уже не будет проходить проверку. Справедливо будет возразить, что за большую точность придется платить увеличением занимаемого дискового пространства в 9,6-51,4 раза при сравнении изображений с высотой 106 пикселей и 960 пикселей соответственно, а время, требуемое на расчеты, будет увеличено более чем в два раза.

Однако данные затраты необходимы только при динамичной базе данных, это означает что рост мощностей нужен только при активном удалении и добавлении элементов в базу, речь идет о десятках операций удаления и добавления в час. Эти операции и расходы на оборудование излишни при реальном использовании на каком-либо предприятии, ведь не обязательно хранить сами изображения. Можно заранее произвести расчет контрольных точек всех изображений и хранить уже только вектора из них.

Предположим, что у нас есть предприятие с 10000 сотрудников. Для расчёта вектора для каждого изображения с высотой 1080 пикселей необходимо время, равное 1 секунде. Следовательно, для обработки всего массива понадобится 2 часа 46 минут. Это разовый расход времени. В дальнейшем для расчета евклидова расстояния между входным и одним вектором из базы будет необходима 0,001 секунды. Таким образом,



для сравнения векторов всех сотрудников будет потрачено 10 секунд, при учете расчета в одном потоке на домашнем персональном компьютере без каких-либо оптимизаций.

На данном примере можно убедиться, что для идентификации личности по изображению лица можно обойтись и без профессиональных аппаратных и программных средств, но это справедливо только при идеальных условиях, предоставляемых контрольно-пропускным пунктом предприятия.

#### Литература

1. Локтев А.А. Алгоритм распознавания объектов / А.А. Локтев, А.Н. Алфимцев, Д.А. Локтев // Вестник МГСУ. – 2012. – № 5. – С. 194-201.
2. Interactive Facial Feature Localization. [Электронный ресурс] URL: [http://www.ifp.illinois.edu/~vuongle2/helen/eccv2012\\_helen\\_final.pdf](http://www.ifp.illinois.edu/~vuongle2/helen/eccv2012_helen_final.pdf) (дата обращения: 12.04.2020).
3. Гулаков В.К. Структуры и алгоритмы обработки многомерных данных: монография / В.К. Гулаков, А.О. Трубаков, Е.О. Трубаков. – СПб: Лань, 2018. – 356 с.
4. Дюк В.А. Применение технологий интеллектуального анализа данных в естественнонаучных, технических и гуманитарных областях / В.А. Дюк, А.В. Флегонтов, И.К. Фомина // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. – 2011. – № 138. – С. 77-84.

УДК 681.515

### **Система автоматического регулирования уровня воды в компенсаторе давления реакторной установки атомной станции**

Зернов Дмитрий Сергеевич, студент направления

«Управление в технических системах»;

Грицюк Светлана Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры

«Информатика и управление в технических системах»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет» МИФИ», г. Балаково

*В статье рассмотрена система компенсации давления в установках с реакторами типа ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор), представлена функциональная схема системы, рассмотрены этапы оптимизации САР и преимущества процесса оптимизации.*

В современном мире электроэнергия является движущей силой любого производства. В соответствии с отчетом Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» за 2019 год доля в выработке электроэнергии Российской Федерации, которая приходится на атомные станции, составила 19,04 %. Этот объем обеспечивается десятью атомными станциями, в промышленной эксплуатации которых находится 36 энергоблоков.

К технологическому оборудованию и системам, применяемым на атомных электростанциях, предъявляются высокие требования по надежности, что позволяет обеспечить необходимый уровень безопасной эксплуатации энергоблоков.

Реакторные установки с реактором типа ВВЭР работают по двухконтурной схеме циркуляции. В первом контуре обеспечивается циркуляция теплоносителя и передача тепла активной зоны реактора воде во втором контуре, что позволяет генерировать пар для турбогенератора.

В состав первого контура входит система компенсации давления, функциональная схема которой приведена на рис. 1.

Система компенсации давления предназначена для компенсации объема теплоносителя при температурном расширении, для создания и поддержания давления в первом контуре реактора в заданном интервале, а также для ограничения отклонений давления в аварийных или переходных режимах. Система включает паровой компенсатор давления, барботер, импульсно-предохранительные устройства, трубопроводы и арматуру.

Основной элемент системы компенсации давления – компенсатор давления, обеспечивающий регулирование давления в первом контуре, уровня теплоносителя, а также разности температур теплоносителя. Нижняя часть компенсатора заполнена водой и соединена с «горячей» ниткой трубопровода главного контура. Верхняя часть – с «холодной» ниткой трубопровода главного контура. За счет сжатия или расширения так называемой «паровой подушки» происходит ограничение отклонения давления от номинального значения.

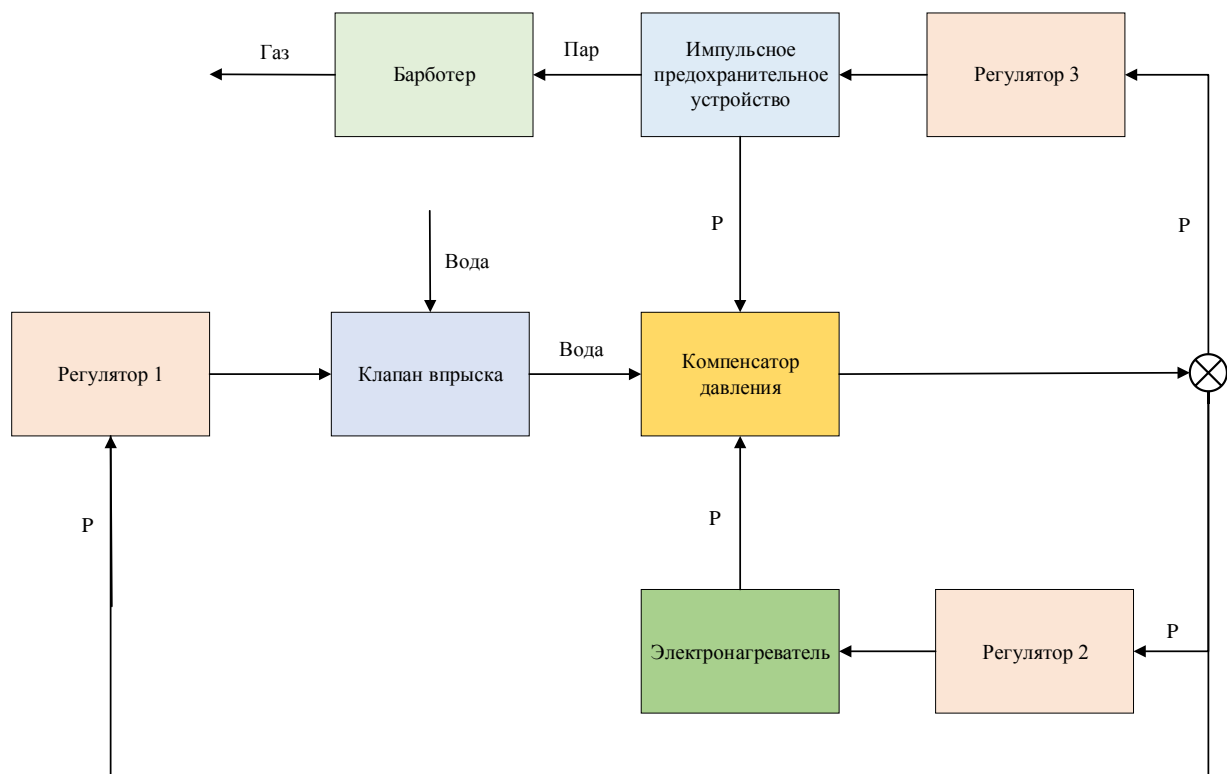


Рис. 1. Функциональная схема системы компенсации давления

В зависимости от скорости изменения давления регулирующий клапан увеличивает подачу «холодной» воды, прекращая или замедляя рост давления в первом контуре. При дальнейшем росте давления происходит срабатывание защиты реактора от превышения давления, и пар будет отводиться в бак – барботер.

Электронагреватели осуществляют нагрев теплоносителя, что приводит к его кипению и созданию «паровой подушки», повышающей давление в компенсаторе. Если в первом контуре происходит незначительное изменение давления, то компенсатор произведет его выравнивание за счет переходов пара в жидкость и обратно. При падении давления происходит испарение воды в компенсаторе давления, в случае повышения давления происходит конденсация воды, что ограничивает дальнейший его рост. Если же изменения давления происходят интенсивно, то в работу подключаются электронагреватель или клапан впрыска холодного теплоносителя. При возникновении ситуации очень быстрого подъема давления в главном циркулирующем контуре предусмотрен трубопровод аварийного расхолаживания для сброса теплоносителя в паровое пространство компенсатора давления.

Трубопровод впрыска имеет разветвленный участок из двух параллельных линий с двумя задвижками на каждой. В обвод трубопровода основного впрыска предусмотрен трубопровод аварийного расхолаживания, на котором находятся запорный, обратный и регулирующий клапаны.

Импульсное предохранительное устройство необходимо для обеспечения сброса пара из компенсатора, если происходит подъем давления выше необходимого уровня. Схема импульсно-предохранительного устройства приведена на рис. 2.

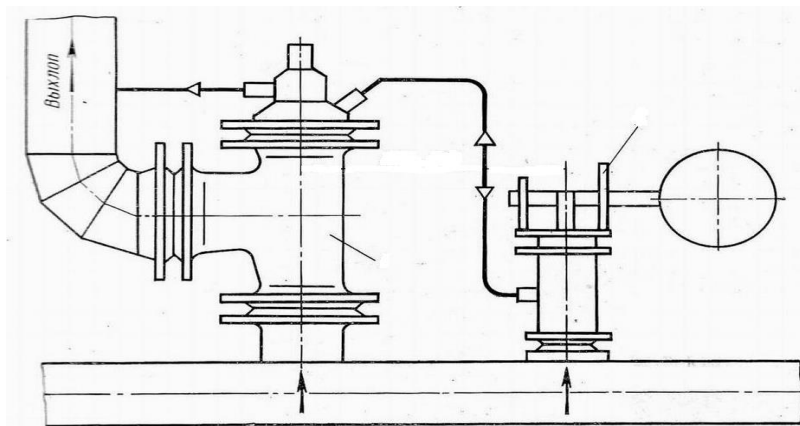


Рис. 2. Схема импульсно-предохранительного устройства:  
1 – главный предохранительный клапан; 2 – импульсный клапан

В состав устройства входят три клапана – два импульсных и один главный предохранительный, а также электротехнические устройства и трубопроводы связи. Срабатывание главного клапана происходит после открытия любого из двух импульсных клапанов, в этом случае пар от предохранительного клапана поступает в парораспределяющие коллекторы барботера.

Если в системе происходит превышение давления, открывается импульсный клапан, через который пар попадает в надпоршневое пространство главного предохранительного клапана и под действием пара происходит его открытие. При снижении давления в системе до заданного уровня импульсный клапан закрывается. Эти клапаны устанавливаются на горизонтальных участках трубопроводов в горизонтальном положении.

Системы автоматического регулирования (САР) используются в реакторных установках атомных электростанций в качестве технических средств для создания автоматизированных производств, технологических процессов. Задача САР заключается в обнаружении отклонения регулируемой величины и воздействии на нее таким образом, чтобы отклонение было устранено. САР компенсации давления обеспечивает требуемую точность регулирования, реализацию защит и блокировок, необходимых для выполнения условий работы энергоблока, предусмотренных проектом.

Разработаны требования, предъявляемые к САР компенсации давления:

- использование комплекта аппаратуры, обладающего необходимой функциональной полнотой;

- использование схем регулирования, отвечающих задачам регулирования и свойствам объекта при различных режимах эксплуатации;
- использование схем «безударного» включения регуляторов, позволяющего перед включением их в работу не производить корректировку настроек;
- организация автоматической проверки исправности системы перед пуском и диагностики во время работы.

Оптимизация параметров системы автоматического регулирования уровня воды в компенсаторе давления реакторной установки атомной станции заключается в доработке САР в части расчета и реализации оптимальных параметров настройки регулятора, в анализе принципа работы системы автоматического регулирования уровня. Поставленная задача связана с обеспечением безопасной эксплуатации атомных электростанций, что на сегодняшний день является крайне актуальным.

Процесс оптимизации САР – сложная и ответственная часть комплекса работ, выполняемых при наладке систем автоматического регулирования на атомных электростанциях. Основные этапы процесса следующие:

- получение экспериментальной динамической характеристики объекта регулирования (кривой разгона);
- определение математической модели объекта (решение задачи идентификации);
- расчет оптимальных параметров настройки регулятора;
- исследование переходных и установившихся процессов в САР;
- расчет параметров элементов системы по задающему и возмущающему воздействию;
- включение системы регулирования в работу и анализ переходных процессов.

Если система автоматического регулирования удовлетворяет заданным критериям качества, её настройку на этом заканчивают. В противном случае уточняют математическую модель или параметры регулятора и повторно включают систему в работу.

Применение процесса оптимизации САР дает повышение качества выполняемых работ при наладке систем автоматического регулирования; снижение трудозатрат; повышение безопасности при эксплуатации атомных станций.

#### Литература

1. Бесекерский В.А. Руководство по проектированию систем автоматического управления / В.А. Бесекерский. – М.: Высшая школа, 1983. – 293 с.

2. Топчеев Ю.И. Атлас для проектирования систем автоматического регулирования / Ю.И. Топчеев. – М.: Машиностроение, 1989. – 840 с.

3. Тепловые и атомные электрические станции: справочник / под общ. ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.

УДК 621.039.62

**Синтез пропорциональной САР мощности нелинейной динамической модели реактора ВВЭР-1000**

Иванов Константин Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроника и автоматика физических установок»;

Правосуд Сергей Сергеевич, студент специальности

«Электроника и автоматика физических установок»

Северский технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Северск

*Задача обеспечения качества регулирования ЯЭУ является актуальной в связи с необходимостью повышения качества ведения технологического процесса производства электрической энергии. В данной работе представлена функциональная схема линейного регулятора мощности, а также математическая модель реактора со сосредоточенными параметрами. Получены переходные процессы по возмущающему воздействию и произведен анализ устойчивости, разработанной САР.*

В рамках текущего исследования была смоделирована нелинейная динамическая модель реактора на тепловых нейтронах типа ВВЭР-1000, а также смоделирована система управления мощностью данного реактора.

К смоделированной системе управления и защиты выдвигаются следующие требования:

- а) Поддержание заданного уровня мощности с достаточно высокой точностью.
- б) Исключение состояния мгновенной критичности за счет ошибок или отказа автоматической системы.
- в) Исключение ложных срабатываний системы аварийной защиты за счет колебательного переходного процесса в контуре регулирования.
- г) Система автоматического регулирования мощности должна работать как в режиме стабилизации заданного уровня мощности, так и в режиме слежения за изменяющейся мощностью.

В линейной системе перемещение стержня прямо пропорционально ошибке регулирования и направлено в сторону ее уменьшения. Функциональная схема линейной САР представлена на рис. 1.

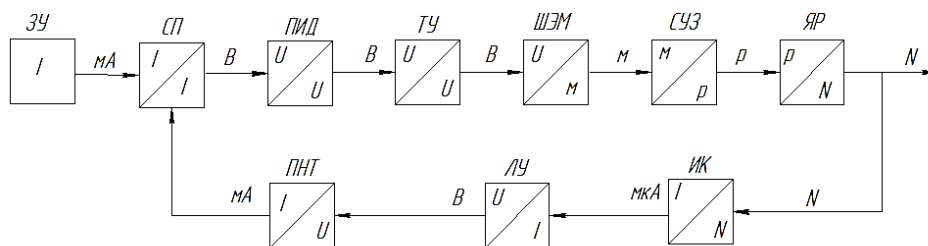


Рис. 1. Функциональная схема линейной САР

Произведем описание полученной математической модели. Управление реактором осуществляется по принципу обратной связи. Увеличение плотности потока тепловых нейтронов влечет за собой увеличение тока ионизационной камеры (ИК). Токовый сигнал ионизационной камеры поступает на логарифмический усилитель (ЛУ). Выбор логарифмического усилителя обусловлен тем, что он своей нелинейной частью может скомпенсировать нелинейность объекта управления – ядерного реактора. Напряжение на выходе из логарифмического усилителя поступает на преобразователь напряжение-ток (ПНТ), затем токовый сигнал в суммирующем преобразователе (СП) сравнивается по значению с токами ручного задатчика мощности (ЗУ). Затем сигнал рассогласования поступает на регулятор мощности (ПИД), сигнал с которого усиливается тиристорным усилителем (ТУ) и поступает на шаговый электромагнитный привод (ШЭМ), который осуществит перемещение регулирующего стержня и скомпенсирует скачок реактивности, что приведет к изменению нейтронной мощности реактора.

Для уточнения математической модели ядерного реактора следует перейти к системе дифференциальных уравнений, описывающих динамику неотравленного ксеноном и самарием реактора, учитывающим изменение температуры теплоносителя, его расход, а также изменение температуры топлива:

$$\begin{cases} \frac{dN(t)}{dt} = \frac{\rho + K_{tc} \cdot (t_{\Gamma} - \bar{t}_{\Gamma}) - \beta}{l} \cdot N(t) + \lambda \cdot C(t); \\ \frac{dC(t)}{dt} = \frac{\beta}{l} \cdot N(t) - \lambda \cdot C(t); \\ \frac{dt_{\Gamma}(t)}{dt} = \frac{t_{\text{BX}} - t_{\Gamma}(t)}{T_{tc} \cdot \left(1 + 0,5 \frac{K_Q}{D_p C_T}\right)} + \frac{P_t \cdot N}{M_3 \cdot C_{\Gamma} \cdot N_0}; \end{cases} \quad (1)$$

Уравнения, раскрывающие взаимосвязь между величинами:

$$\bar{t}_T = t_{\text{вх}} + 0,5 \cdot \frac{Q_{\text{ВН}}}{D_p C_T} \quad (2)$$

$$Q_{\text{ВН}} = K_Q (t_\Gamma - \bar{t}_T) \quad (3)$$

$$K_Q = \frac{F_\Gamma}{\frac{R}{4\lambda_{\text{ТВЭЛ}}} + \frac{1}{\alpha}} \quad (4)$$

$$D_p = \frac{P_t \cdot T_{tc} \cdot (1 + 0,5K_Q)}{(t_\Gamma(t) - t_{\text{вх}}) \cdot M_3 \cdot C_\Gamma \cdot C_T} \quad (5)$$

где  $\rho$  – реактивность;  $K_{tc} = -3,8 \cdot 10^{-4}$  – температурный коэффициент реактивности;  $t_\Gamma$  – температура горючего, К;  $l = 0,083 \cdot 10^{-3}$  – среднее время жизни нейтронов, с;  $\beta = 0,0064$  – доля запаздывающих нейтронов;  $\lambda = 0,4353$  – постоянная распада,  $\text{с}^{-1}$ ;  $t_{\text{вх}} = 298$  – температура ТН на входе в реактор, К;  $T_{tc} = 0,6$  – постоянная времени инерционности ТВЭЛа (по температуре), с;  $K_Q$  – мощностной коэффициент реактивности;  $D_p$  – расход ТН через реактор, кг/с;  $C_T = 4187$  – удельная теплоемкость ТН в реакторе, Дж/(кг К);  $P_t = 3200 \cdot 10^6$  – тепловая мощность реактора, Дж/с;  $M_3 = 192 \cdot 10^3$  – масса загруженного топлива, кг;  $C_\Gamma = 235$  – удельная теплоемкость горючего, Дж/(кг К);  $\bar{t}_T$  – средняя температура ТН, К;  $Q_{\text{ВН}}$  – тепловой поток от ТВЭЛов к ТН, Дж;  $F_\Gamma = 17923$  – полная поверхность теплообмена ТВЭЛов,  $\text{м}^2$ ;  $R = 0,00465$  – радиус ТВЭЛа, м;  $\lambda_{\text{ТВЭЛ}} = 24,1$  – теплопроводность ТВЭЛа, Вт/м К;  $\alpha = 30000$  – коэффициент теплопередачи, Дж/с · К ·  $\text{м}^2$ ;  $t_{\Gamma 0}$  – начальная температура горючего, К.

Эти уравнения не имеют смысла без следующих начальных условий:

$$\left. \frac{dC(t)}{dt} \right|_{t=0} = 0; \Rightarrow C(0) = \frac{\beta \cdot N(0)}{l \cdot \lambda} \quad (6)$$

Для реализации данной математической модели реактора в SIMULINK используется блок MATLABS-function. Также для уточнения расчетов математическая модель регулирующего стержня представлена в виде нелинейной функциональной зависимости, описывающейся следующим уравнением:

$$\Delta k_{\text{ср}} = \frac{2\Delta k}{N_0} \int_0^{\frac{H_0}{2}} \frac{z}{H_0} \left( 1 - \frac{\sin \frac{2\pi z}{H_0}}{\frac{2\pi z}{H_0}} \right) dz \quad (7)$$

где  $\Delta k$  – полная эффективность стержня в долях реактивности;  $z$  – глубина погружения, см;  $H_0$  – высота активной зоны, см.

На основании вышеизложенного в SIMULINKMATLAB была составлена следующая схема, приведенная на рис. 2:





Рис. 2. Математическая модель линейной САР ВВЭР-1000

В качестве результатов были получены следующие переходные процессы по задающему воздействию при отклонении потока нейтронов на 2 % от номинального режима:

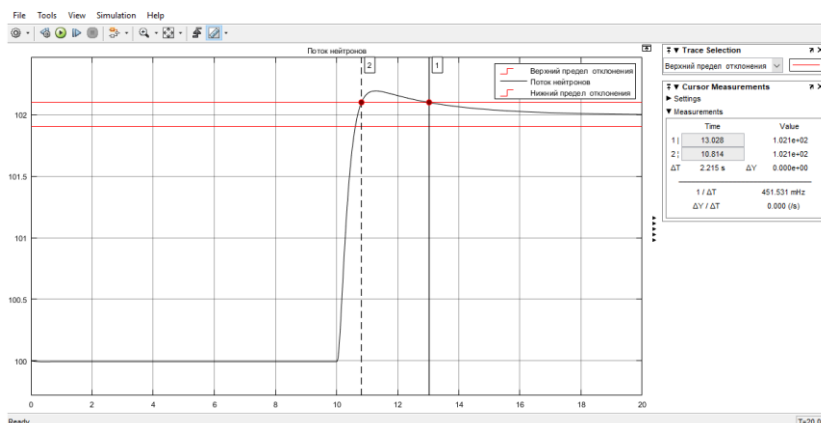


Рис. 3. Переходный процесс по задающему воздействию при увеличении мощности на 2 %

До момента времени, в котором происходит скачок реактивности, стержни управления находились в активной зоне на глубине 195 см. Затем в момент времени 10 секунд они начинают опускаться в активную зону для компенсации избыточной реактивности и возвращаются в исходное положение.

Показатели качества смоделированной САР представлены в табл. 1:

Таблица 1

Оценка качества пропорциональной САР

Набор мощности	Сброс мощности
$S = 5.8 \%$	$S = 5.8 \%$
$T_{\text{рег}} = 2.1 \text{ с}$	$T_{\text{рег}} = 2.1 \text{ с}$

На основании приведенных данных можно судить о качестве регулирования. Однако следует отметить, что при больших скачках реактивности данная САР не обеспечивает необходимой точности. Для обеспечения качества регулирования при

отличном от текущего возмущающим воздействиям в подсистему ШЭМ встроен PID-регулятор Simulink. С помощью встроенной в SIMULINK настройкой регулятора «PID-Tune» можно добиться желаемых результатов.

#### Литература

1. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов / Г.Г. Бартоломей [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 512с.
2. Галанин А.Д. Введение в теорию ядерных реакторов на тепловых нейтронах / А.Д. Галанин. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 536 с.
3. Дементьев Б.А. Кинетика и регулирование ядерных реакторов / Б.А. Дементьев. – М.: Атомиздат, 1986. – 272 с.
4. Фейнберг С.М. Теория ядерных реакторов / С.М. Фейнберг, С.Б. Шихов, В.Б. Троянский. – М.: Атомиздат, 1978. – 400 с.
5. Шульц М.А. Регулирование ядерных энергетических установок / М.А. Шульц. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1957 – 460 с.

УДК 681.5

#### **Технологический процесс обработки высокоточных деталей как объект управления**

Игнатъев Александр Анатольевич, доктор технических наук, профессор кафедры  
«Технология и системы управления в машиностроении»;

Добряков Владимир Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Технология и системы управления в машиностроении»;

Игнатъев Станислав Александрович доктор технических наук, профессор кафедры  
«Технология и системы управления в машиностроении»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Саратовский государственный технический университет имени

Гагарина Ю.А.», г. Саратов

*Рассматриваются вопросы анализа процесса обработки высокоточных деталей на автоматизированных металлорежущих станках как объекта управления с применением методов теории автоматического управления для выбора оценки целесообразного режима резания.*

Для обеспечения заданных в соответствии с техническими требованиями значений параметров качества изделий технологический процесс должен иметь

высокую степень надежности. Это особенно существенно для современного производства, эффективное функционирование которого определяется, в первую очередь, технологической надежностью автоматизированных металлорежущих станков (АМС) [1, 2]. Указанное особенно актуально при изготовлении высокоточных изделий для машино- и приборостроения, качество которых определяет надежность функционирования сложных технических объектов в ракетной технике, авиации, железнодорожном и автомобильном транспорте и других отраслях.

Уровень качества АМС определяет, в первую очередь, технологические возможности станка по качеству изготавливаемых деталей, под которым понимается: во-первых, точность обработки (размеров, формы, волнистость, шероховатость и т. п.), во-вторых, качество физико-механических свойств обработанного поверхностного слоя деталей. Именно сохранение во времени точностных показателей АМС определяет его технологическую (параметрическую) надежность [1], которая рассчитывается и закладывается в конструкцию станка на этапе проектирования, обеспечивается на этапе его изготовления и поддерживается на этапе эксплуатации. В приложении к высокоточным АМС решение всех этих вопросов возможно только на основе системного подхода, который означает согласованный выбор альтернатив между современными конструкторскими решениями, технологическими возможностями и ценой; уровнем автоматизации, сложностью системы управления и программного обеспечения и надежностью функционирования МРС; гибкостью, точностью и производительностью, причем качество обработки рассматривается как целевая функция и ей подчинены все остальные характеристики станка [3].

Необходимо отметить, что качество обработки и производительность АМС взаимосвязаны, однако при изготовлении высокоточных деталей можно допустить снижения производительности, но не снижения качества ниже регламентированного.

В условиях производства режимы резания на АМС в большинстве случаев назначаются на основе априорной информации о необходимой точности детали, о материалах заготовки и инструмента, о технических возможностях станка, а также с учетом нормативной документации по обработке аналогичных деталей. Применение новых моделей станков, использование новых инструментальных материалов и материалов заготовок, а также несовершенство методик расчета режимов приводят к тому, что в производственных условиях значения параметров режима обработки чаще всего занижаются так, чтобы гарантировать заданные значения параметров качества обработки. Это, естественно, снижает эффективность эксплуатации АМС.

Одним из направлений обеспечения технологической надежности АМС является управление параметрами режима резания на основе информации о реальном протекании процесса обработки, что позволяет скорректировать или даже оптимизировать процесс резания по выбранному критерию, связанному, например, с динамическим качеством станка [4]. Значительная информация о динамическом качестве станка, в том числе в процессе резания, содержится в виброакустических (ВА) колебаниях, зарегистрированных на элементах динамической системы АМС и оказывающих существенное влияние на качество обработки. Фундаментальные исследования по анализу ВА колебаний в станках были впервые выполнены в работе [5], причем в ней широко использовались понятия теории автоматического управления, в частности, передаточная функция и устойчивость динамической системы.

Дальнейшее развитие данное направление в динамике станков получило в СГТУ имени Гагарина Ю.А., где были выполнены исследования токарных и шлифовальных АМС [4], целью которых было выявление корреляционной связи между предложенными функционалами от зарегистрированных при резании ВА колебаний и качеством обработки (рис. 1). Варьирование значениями параметров режима резания позволило обосновать целесообразный с точки зрения эффективности режим обработки. Из изложенного следует, что процесс обработки рассматривается как объект управления, основной целью которого является обеспечение технологической надежности станка. Для достижения поставленной цели реализуется разработанная и апробированная методика, включающая ряд этапов.

Этап 1. Поисковые исследования станка (обучающие эксперименты), в ходе которых устанавливаются точки контроля ВА колебаний, диапазон их изменения при варьировании параметрами режима резания, а также оценивается степень связи предложенных функционалов с качеством обработки.

Этап 2. Моделирование динамической системы станка, позволяющее обосновать связь изменения функционалов или других характеристик ВА колебаний с изменением динамического состояния АМС. Формирование критерия, на основе которого осуществляется управление динамическим качеством станка.

Этап 3. Контрольные эксперименты на АМС, в ходе которых окончательно обосновывается применимость предложенного критерия для назначения режима резания.



*Рис. 1. Оценка технологической надежности автоматизированного станка на основе выявления связи его динамического качества со значениями параметров качества деталей*

Этап 4. Разработка практических рекомендаций по использованию предложенного критерия для обоснованного назначения режима резания и апробация его в производственных условиях на станках различных моделей.

На основе результатов многолетних исследований в СГТУ имени Гагарина Ю.А. для оценки динамического качества токарных и шлифовальных АМС были апробированы функционалы в виде интегральных оценок спектральной плотности мощности и интегральных оценок автокорреляционных функций ВА колебаний, а также запаса устойчивости динамической системы станка, вычисляемого в результате обработки ВА колебаний [4, 6]. Критерием оценки целесообразного режима резания служат либо минимальные значения интегральных оценок, либо максимум запаса устойчивости, причем показатели качества обработки соответствуют заданным.

Таким образом, анализ процесса обработки высокоточных деталей на АМС как объекте управления с применением методов теории автоматического управления показал свою эффективность для обеспечения технологической надежности станков.

#### Литература

1. Проников А.С. Технологическая надежность станков / под ред. А.С. Проникова. – М.: Машиностроение, 1971. – 342 с.

2. Григорьев С.Н. Обеспечение качества деталей при обработке резанием в автоматизированных производствах / С.Н. Григорьев, А.Р. Маслов, А.Г. Схиртладзе. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 412 с.

3. Игнатъев А.А. Технологический процесс обработки резанием как объект управления / А.А. Игнатъев, Е.А. Сигитов // Сборник научных трудов «Автоматизация и управление в машино- и приборостроении». – Саратов: СГТУ, 2018. – С.38-41.

4. Режим резания и их корректировка на автоматизированных металлорежущих станках: учеб. пособие для студентов машиностроительных специальностей / А.А. Игнатъев [и др.]. – Саратов: СГТУ, 2017. – 84 с.

5. Кудинов В.А. Динамика станков / В.А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967. – 360 с.

6. Игнатъев С.А. Мониторинг технологического процесса как элемент системы управления качеством продукции / С.А. Игнатъев, В.В. Горбунов, А.А. Игнатъев. – Саратов: СГТУ, 2009. – 160 с.

УДК 681.5

### **Системный подход к организации мониторинга технологического процесса**

Игнатъев Александр Анатольевич, доктор технических наук, профессор  
кафедры «Технология и системы управления в машиностроении»;

Добряков Владимир Анатольевич, кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Технология и системы управления в машиностроении»;

Игнатъев Станислав Александрович доктор технических наук, профессор  
кафедры «Технология и системы управления в машиностроении»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов

*Рассматривается вопрос организации мониторинга технологического процесса на основе системного подхода при изготовлении деталей подшипников.*

Применение систем мониторинга технологического процесса (СМТП) является одним из основных направлений обеспечения качества изделий авиа-, машино- и

приборостроительных предприятий [1, 2]. При этом качество функционирования системы мониторинга в значительной степени зависит от её организации в рамках предприятия.

Под мониторингом машин понимается научно спроектированная система (средства и методы) непрерывных наблюдений и измерений с применением соответствующих оценочных процедур идентификации, анализа текущего состояния, распознавания особых состояний, краткосрочного (1-2 с) и долгосрочного (минуты, часы) прогнозирования и автоматического принятия оперативных и тактических решений [3].

Мониторинг технологического процесса (ТП) включает измерение основных параметров оборудования, процесса обработки и изготавливаемых деталей (до и после обработки) [2]. Существующие методы мониторинга не полностью учитывают специфические особенности СМТП как сложной системы, выполняющей в общем случае функции контроля, идентификации, диагностирования, оценки технического состояния, прогнозирования и управления состоянием ТП на основе анализа информации и принятия решения как на уровне предприятия, так и на уровне цеха и индивидуально каждой единицы автоматизированного технологического оборудования [1, 4].

Методологической основой при построении СМТП служит системный подход как начальный этап системного анализа, применяемого при исследовании сложных технических систем [5]. Многоаспектные исследования в соответствии с системным подходом позволяют получить достаточно полное представление об организации СМТП и ее взаимодействии с другими системами предприятия. Следует отметить, что кроме решения задачи обеспечения заданного качества продукции СМТП позволяет повысить надежность функционирования оборудования за счет снижения аварийных ситуаций и перехода к техническому обслуживанию по состоянию [2, 4, 6].

При организации СМТП следует выделить ряд подсистем, необходимых для ее функционирования: организационная подсистема; подсистема технического обеспечения; подсистема научно-методического обеспечения; информационная подсистема (рис. 1).

В структуру организационной подсистемы входят представители аппарата управления предприятием, отделов и цехов, ответственные за качество продукции, лаборатории мониторинга ТП, отдела АСУТП, а также отдельные операторы, осуществляющие контрольные операции в подразделениях предприятия. В этой подсистеме анализируется выходная информация о качестве продукции, состоянии ТП, в том числе оборудования, поступающая из СМТП в виде документов,

принимаются общие решения по структуре документооборота (в том числе электронного) и по совершенствованию ТП, СМТП и системы менеджмента качества предприятия (СМК).

Подсистема технического обеспечения включает в свой состав, во-первых, человеческие ресурсы, в частности, представителей лаборатории мониторинга ТП и производственных подразделений, обеспечивающих нормальное функционирование аппаратных средств СМТП, а также специалистов по диагностированию и ремонту технологического оборудования, во-вторых, аппаратные средства, с помощью которых реализуется СМТП, в том числе внешние и встроенные, автоматизированные, неавтоматизированные и автоматические измерительные устройства, входящие в состав информационно-измерительных каналов, осуществляющих регистрацию, первичную обработку, передачу, хранение и воспроизведение исходной информации о состоянии оборудования, ТП и качестве деталей. Аппаратные средства СМТП базируются на широком применении современных средств автоматизированных измерений различных параметров и компьютерной техники, в частности осуществляется контроль динамического качества станков на основе виброизмерений и вихретоковый контроль качества шлифованных деталей подшипников (колец и роликов) [2, 6].

В состав подсистемы научно-методического обеспечения входят специалисты лаборатории мониторинга, отдела контроля качества, конструкторского и технологического отделов, а также специалисты других предприятий и научно-исследовательских организаций, привлекаемые в роли экспертов по ключевым вопросам. Указанные специалисты решают ряд взаимосвязанных задач:

- разработка общей схемы организации мониторинга на предприятии и частных схем для конкретных видов ТП, включая выбор информативных параметров для СМТП;
- формирование критериев оценки качества ТП;
- разработка рекомендаций по принятию управляющего решения для повышения качества изделий на основе данных, полученных из информационной подсистемы;
- выбор известных и разработка новых методов и средств измерения основных параметров ТП;
- оценка метрологических характеристик новых средств контроля;
- разработка методик проведения измерений, обучающих экспериментов и обработка их результатов;



- построение комплекса математических моделей объектов контроля и соответствующего программного обеспечения для количественной и качественной интеграции результатов измерений и их использования в СМТП;
- разработка алгоритмов диагностирования оборудования.

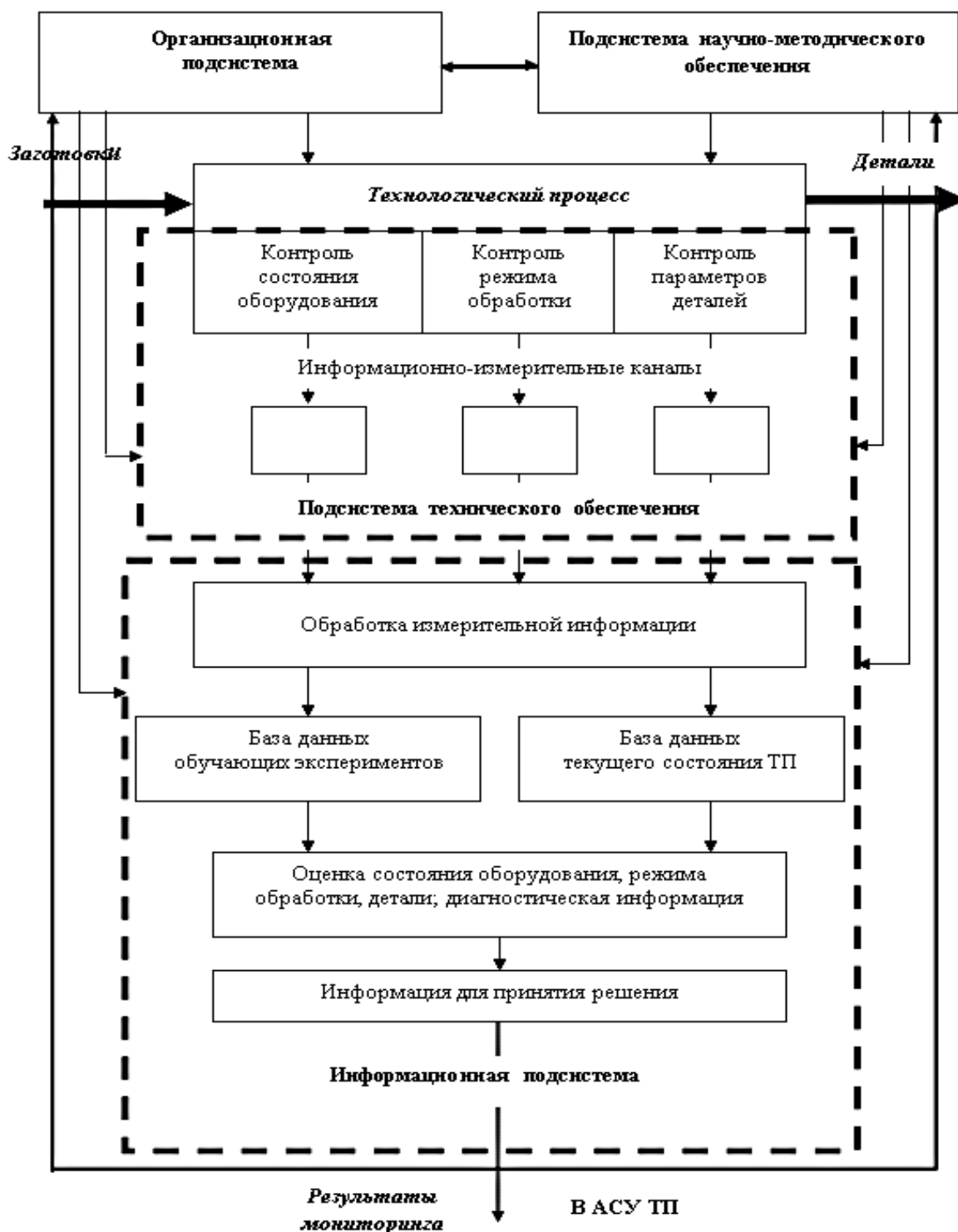


Рис. 1. Организация системы мониторинга технологического процесса

Подсистема информационного обеспечения включает в свой состав, во-первых, человеческие ресурсы, в частности, специалистов отдела АСУТП и лаборатории

мониторинга, во-вторых, аппаратные средства, состоящие из компьютерных систем обработки информации и линий связи с измерительными устройствами на объектах контроля. Данная подсистема обеспечивает сбор и обработку измерительной информации, формирование диагностической информации, создание баз данных, формирование и передачу информационных потоков в виде электронного документооборота между другими подсистемами СМТП. Именно на основе данных из информационной подсистемы и рекомендаций из подсистемы научно-методического обеспечения формулируются управляющие решения как лицом, принимающим решение (из организационной подсистемы), так и экспертными системами по мере повышения уровня интеллектуальности аппаратно-программных средств данной подсистемы.

В той или иной степени рассмотренные подсистемы прошли апробацию в рамках СМТП, реализованной в ОАО «ЕПК-Саратов» [2, 6], так что представленная организация СМТП позволяет достаточно эффективно решить вопросы управления качеством продукции.

#### Литература

1. Пуш А.В. Моделирование и мониторинг станков и станочных систем / А.В. Пуш // СТИН. – 2000. – № 9. – С. 12-20.
2. Игнатъев С.А. Мониторинг технологического процесса как элемент системы управления качеством продукции / С.А. Игнатъев, В.В. Горбунов, А.А. Игнатъев. – Саратов: СГТУ, 2004. – 124 с.
3. Надежность и эффективность в технике: справочник. Эксплуатация и ремонт. – М.: Машиностроение, 1990. – Т. 8. – 320 с.
4. Игнатъев А.А. Активный контроль и мониторинг процесса шлифования деталей подшипников: монография / А.А. Игнатъев, В.В. Горбунов, С.А. Игнатъев. – Саратов: СГТУ, 2007. – 104 с.
5. Перегудов Ф.И. Основы системного анализа / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – Томск: Изд-во НТЛ, 1997. – 396 с.
6. Игнатъев А.А. Применение средств активного контроля и мониторинга для управления процессом шлифования высокоточных деталей / А.А. Игнатъев, В.А. Добряков, С.А. Игнатъев // Сборник статей XVI Международной научно-технической конференции «Материалы и технологии XXI века». – Пенза: ПДЗ, 2019. – С. 42-45.

**Расчетные соотношения для профиля скорости жидкости  
в проточной части пятисекционного исполнительного устройства**

Корнилова Наталья Валерьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Информатика и управление в технических системах»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального  
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*Рассматриваются уравнения динамики несжимаемой вязкой жидкости. Производится вывод расчетных соотношений для профиля скорости жидкости в проточной части пятисекционного исполнительного устройства, а также скорости на поверхности магнитоожидкостного сенсора при его обтекании.*

Самым простым случаем движения вязкой несжимаемой жидкости является ламинарное движение по цилиндрической трубе произвольного сечения. При этом линии тока представляют собой прямые, параллельные оси трубы. Если число Рейнольдса не превосходит некоторого критического значения, то такое движение осуществляется в цилиндрических трубах с различными формами сечений. Проточная часть пятисекционного исполнительного элемента представляет собой трубу, внутри которой помимо жидкости расположены магнитоожидкостные сенсоры.

Рассматривая рис. 1, направим ось  $Oz$  по оси трубы и предположим, что труба имеет бесконечную длину. Поток направим вдоль оси трубы таким образом, что из трех компонент скорости  $u$ ,  $v$ ,  $\omega$  останется лишь  $\omega$ , а остальные равны нулю.

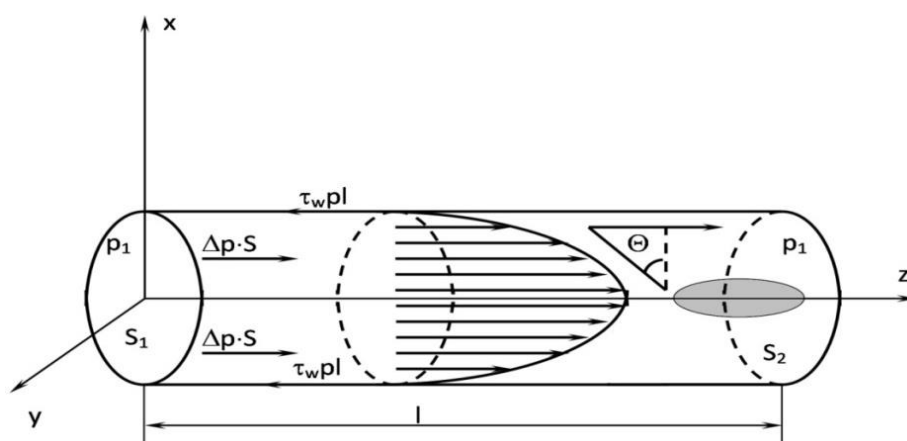


Рис. 1. Участок трубы в координатах  $x$ ,  $y$ ,  $z$

Воспользуемся общим уравнением в напряжениях для составления уравнений динамики несжимаемой вязкой жидкости в ее простейшей ньютоновской модели и условии изотермичности движения:

$$\rho \frac{dV}{dt} = \rho F + \operatorname{div} P, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости,  $\text{кг/м}^3$ ;  $V$  – вектор скорости,  $\text{м/с}$ ;  $F$  – сила,  $\text{Н}$ ;  $P$  – давление,  $\text{Па}$ .

Система уравнений в проекциях, соответствующая общему уравнению в напряжениях, имеет вид:

$$\begin{cases} \rho \frac{du}{dt} = \rho F_x + \frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zx}}{\partial z} \\ \rho \frac{dv}{dt} = \rho F_y + \frac{\partial p_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zy}}{\partial z} \\ \rho \frac{d\omega}{dt} = \rho F_z + \frac{\partial p_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zz}}{\partial z}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $u$  – проекция вектора скорости  $V$  на ось  $ox$ ,  $v$  – проекция вектора скорости  $V$  на ось  $oy$ ,  $\omega$  – проекция вектора скорости  $V$  на ось  $oz$ .

Подставим в систему уравнений (2) величины  $p_{xx}$ ,  $p_{yx}$ ,  $p_{zx}$ ,  $p_{xy}$ ,  $p_{yy}$ ,  $p_{zy}$ ,  $p_{xz}$ ,  $p_{yz}$ ,  $p_{zz}$ , которые выражены в прямоугольной декартовой системе координат ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) следующим образом:

$$\begin{cases} p_{xx} = -p + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \\ p_{yy} = -p + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \\ p_{zz} = -p + 2\mu \frac{\partial \omega}{\partial z} \\ p_{xy} = p_{yx} = \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\ p_{yz} = p_{zy} = \mu \left( \frac{\partial \omega}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \\ p_{zx} = p_{xz} = \mu \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial \omega}{\partial x} \right), \end{cases} \quad (3)$$

где  $\mu$  – динамический коэффициент вязкости жидкости,  $\text{Н}\cdot\text{с/м}^2$ .

Согласно условиям изотермичности движения  $\mu = \text{const}$  можно вынести из-под знака дифференцирования. Так как жидкость несжимаема, то  $\operatorname{div} V = 0$ .

Таким образом, получим:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zx}}{\partial z} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + 2\mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \mu \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial \omega}{\partial x} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} \\ &+ \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \mu \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 u + \mu \frac{\partial}{\partial x} (\operatorname{div} V) = \\ &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 u. \end{aligned} \quad (4)$$

Разделим обе части системы уравнений (2) на постоянную  $\rho$  и выделим в левой части локальные и конвективные части ускорения. Получим систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \omega \frac{\partial u}{\partial z} = F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \nabla^2 u \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \omega \frac{\partial v}{\partial z} = F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \nabla^2 v \\ \frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial x} + v \frac{\partial \omega}{\partial y} + \omega \frac{\partial \omega}{\partial z} = F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \nabla^2 \omega, \end{cases} \quad (5)$$

где  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости жидкости,  $\text{см}^2/\text{с}$ .

В векторной форме уравнение принимает вид:

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} = \mathbf{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p + \nu \nabla^2 \mathbf{V}, \quad (6)$$

где  $\nabla^2 \mathbf{V}$  – вектор с проекциями  $(\nabla^2 u, \nabla^2 v, \nabla^2 \omega)$ .

Уравнения (5) и (6) называются уравнениями Стокса. Присоединим к ним также уравнение несжимаемости:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial z} = 0. \quad (7)$$

Будем считать поток изотермическим, а плотность и коэффициент вязкости постоянными, тогда согласно уравнениям Стокса (5) и неразрывности (7) получим:

$$\begin{cases} 0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \\ 0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \\ \omega \frac{\partial \omega}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial \omega}{\partial z} = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Из последнего уравнения данной системы следует, что  $\omega$  является функцией только  $x$  и  $y$ , а из первых двух, что  $p$  – функция только  $z$ . Таким образом, можно сделать вывод: если провести нормали к оси трубы сечения, то во всех таких сечениях распределения скоростей одинаковы. При этом давление меняется только от сечения к сечению, сохраняя в данном сечении одинаковое значение. Такое движение называется установившимся.

Система равенств сводится к уравнению:

$$\mu \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) = \frac{\partial p}{\partial z}. \quad (9)$$

Левая часть равенства (9) представляет функцию только от  $x$  и  $y$ , правая – только от  $z$ . При независимости координат друг от друга это условие может соблюдаться только в случае неизменных левой и правой частей уравнения по отдельности.

Обозначим:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \text{const} = \frac{\Delta p}{l}, \quad (10)$$

где  $\Delta p$  – постоянное вдоль проточной части падение давления на участке  $l$ , Па;  $l$  – длина произвольно выбранного участка проточной части, м.

При установившемся движении вязкой жидкости по проточной части перепад давления  $\Delta p$ , умноженный на площадь сечения  $S_1 = S_2 = S$  (рис. 1), является движущей силой  $\Delta p \cdot S$ , которая уравнивается силами сопротивлений трения жидкости о поверхность цилиндра с равнодействующей, равной:

$$\int \tau_{\omega} ds \cdot l, \quad (11)$$

где  $\tau_{\omega}(S)$  – переменное по периметру напряжение трения.

Отсюда следует, что давление проточной части исполнительного элемента должно уменьшаться вниз по течению, а, следовательно,  $\Delta p < 0$ .

В некоторых случаях перепад давления  $\Delta p$  на участке длиной  $l$  задается или непосредственно, или выражается через другие заданные величины, такие как секундный расход жидкости сквозь проточную часть, среднюю по сечению или максимальную скорости.

Уравнение (9) сводится к линейному уравнению в частных производных второго порядка в плоскости  $Oxy$ :

$$\nabla^2 \omega = \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} = - \frac{\Delta p}{\mu l}. \quad (12)$$

Уравнение необходимо решить с учетом граничного условия обращения в нуль скорости  $\omega$  на контуре  $C$  нормального к оси цилиндра сечения. Дополнительное условие определяет заданный перепад давления на произвольно выбранном участке трубы, секундный объемный расход сквозь сечение трубы или максимальную скорость на оси трубы.

Рассмотрим основные формулы ламинарного течения сквозь цилиндрическую проточную часть круглого сечения. Распределение скоростей имеет вид:

$$\omega = \omega_{\max} \left( 1 - \frac{r^2}{a^2} \right), \quad (13)$$

где  $a$  – радиус трубы, м;  $r$  – радиус-вектор точки с координатами  $(x, y, z)$ .

Максимальная по сечению скорость на оси эллиптической трубы:

$$\omega_{\max} = \frac{a^2 \Delta p}{4 \mu l} = 2 \omega_{\text{ср}} . \quad (14)$$

В этом случае графиком скорости является параболоид вращения с сечением в виде параболы, которая называется параболой Пуазейля.

Секундный объемный расход, выражающий закон Пуазейля, равен:

$$Q = \frac{\pi a^4 \Delta p}{8 \mu l} . \quad (15)$$

При постоянном ламинарном движении вязкой несжимаемой жидкости сквозь цилиндрическую проточную часть круглого сечения секундный объемный расход пропорционален перепаду давления на единицу длины и четвертой степени радиуса трубы. Под постоянным движением понимается наличие одинакового распределения скоростей во всех сечениях трубы. Подобный характер движения достигается в части трубы, достаточно удаленной от входа в нее. В начальном участке трубы, расположенном за входом, движение неустановившееся, и закон Пуазейля неприменим. В этом случае особенностью течения является то, что необходимый для получения заданного расхода сквозь трубы разного диаметра, перепад давления обратно пропорционален четвертой степени диаметра трубы. Это обстоятельство имеет особое значение в случае перекачки жидкостей сквозь трубы малого диаметра, а также в случаях движения очень вязких жидкостей.

Определим коэффициент сопротивления трубы формулой:

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho \omega_{\text{ср}}^2}{2} . \quad (16)$$

Выразим  $\Delta p$  через  $\omega_{\text{ср}}$  и получим закон сопротивления для цилиндрических труб:

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} , \quad (17)$$

где  $\text{Re}$  – число Рейнольдса  $\text{Re} = \omega_{\text{ср}} d / \nu$ ;  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости  $\nu = \mu / \rho$ ,  $\text{см}^2/\text{с}$ .

Подставляя выражение  $\lambda$  через  $\bar{V}_{\text{ср}}$  в (16), можно убедиться, что в случае ламинарного потока сопротивление трубы пропорционально первой степени средней скорости движения жидкости сквозь трубу. Зависимость от средней скорости

определяется на основании закона сопротивления (17), выводимого из уравнения движения жидкости:

$$\Delta p = \frac{64}{\text{Re}} \frac{1}{d} \frac{\rho \omega_{\text{cp}}^2}{2} = \frac{64 \nu}{\omega_{\text{cp}} d} \frac{1}{d} \frac{\rho \omega_{\text{cp}}^2}{2} = \frac{32 \nu l}{d^2} \rho \omega_{\text{cp}} . \quad (18)$$

Распределение скоростей (76) в цилиндрической трубе круглого сечения можно получить, заменив лапласиан его выражением в полярных координатах. Тогда:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{d\omega}{dr} \right) = - \frac{\Delta p}{\mu l} . \quad (19)$$

Так как правая часть этого уравнения не зависит от  $r$ , то его можно дважды проинтегрировать, получим:

$$\omega = - \frac{\Delta p}{4 \mu l} r^2 + C_1 \ln r + C_2 . \quad (20)$$

Из условия ограниченности скорости на оси трубы при  $r = 0$  следует, что  $C_1 = 0$ , вторая постоянная найдется из условия  $\omega = 0$  при  $r = a$ :

$$C_2 = - \frac{\Delta p}{4 \mu l} a^2 . \quad (21)$$

Следовательно, закон распределения скоростей выразим по формуле:

$$\omega = \frac{\Delta p}{4 \mu l} (r^2 - a^2) . \quad (22)$$

На оси трубы при  $r = 0$  скорость достигает максимального значения:

$$\Delta p = \lambda \frac{1}{d} \frac{\rho \omega_{\text{cp}}^2}{2} . \quad (23)$$

Разделим (22) на (23), получим безразмерную форму закона распределения скоростей:

$$\frac{\omega}{\omega_{\text{M}}} = 1 - \frac{r^2}{a^2} . \quad (24)$$

В проточной части пятисекционного исполнительного элемента течет плоский, параллельный оси  $Oz$  однородный поток со скоростью  $V_{\Psi}$  и потенциалом скорости  $j$ . Движение происходит в двух областях – вне и внутри круга. Первая область – обтекание круглого цилиндра радиуса  $a$  плоскопараллельным потоком, имеющим на бесконечности скорость  $V_{\Psi}$ ; этому потоку соответствует потенциал:

$$\varphi = \left( V_{\infty} + \frac{m}{2\pi} \cdot \frac{1}{x^2 + y^2} \right) x . \quad (25)$$



Для нахождения проекции скорости представим потенциал скорости  $\varphi$  в цилиндрических координатах. Так как:

$$\begin{cases} x = r \cos \Theta \\ y = r \sin \Theta \\ x^2 + y^2 = r^2 \end{cases} \quad (26)$$

Тогда

$$\varphi = r \cos \Theta \left( V_\infty + \frac{m}{2p} \cdot \frac{1}{r^2} \right) = V_\infty r \cos \Theta \left( 1 + \frac{m}{2p} \cdot \frac{1}{r^2} \right) \quad (27)$$

Зная выражение для  $\varphi$ , можно найти проекции скорости, представленные на рис. 2.

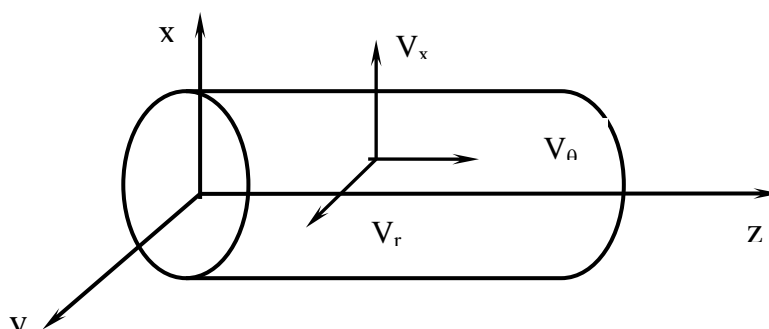


Рис. 2. Составляющие скорости потока жидкости

Радиальная составляющая скорости:

$$V_r = \frac{\partial \varphi}{\partial r} = V_\infty \cos \theta \left( 1 - \frac{a^2}{r^2} \right) \quad (28)$$

где  $V_\infty$  – скорость потока жидкости, м/с;  $a$  – радиус цилиндра обтекания, м;  $r$  – расстояние от центра цилиндра до точки, в которой ведется расчет скорости, м;  $\theta$  – угол между радиусом-вектором и осью Oz.

Тангенциальная составляющая скорости:

$$V_\theta = \frac{\partial \varphi}{r \partial \theta} = -V_\infty \sin \theta \left( 1 + \frac{a^2}{r^2} \right). \quad (29)$$

Внутри магнитожидкостного сенсора движение не происходит. Остановимся подробнее на обтекании сенсора. Определим распределение скоростей в области течения  $r^3 a$ :

$$\bar{V} = -V_\infty \left( 1 - \frac{a^2}{r^2} \right). \quad (30)$$

Найдем скорости на контуре круга:

$$\begin{cases} V_r = 0 \\ V_\theta = -2V_\infty \sin \theta \end{cases}$$

Таким образом, можно сделать вывод, что скорость на поверхности магнитожидкостного сенсора при его обтекании изменяется по синусоиде, достигая своего максимального значения  $\theta = \pm r / 2$ ; при  $\theta = 0$  и  $\theta = r$  скорости жидкости в этих точках равны нулю.

#### Литература

1. Бутковский А.Г. Характеристики систем с распределенными параметрами / А.Г. Бутковский. – М.: Наука, 1979. – 224с.
2. Власов В.В. Основы векторной энергетики (Энергетика векторного взаимодействия потоков) / В.В. Власов. – М.: Буркин, 1999. – 124с.
3. Власов А.В. Упругооболочечные магнитожидкостные управляющие и измерительные устройства в гидрофицированном технологическом оборудовании / А.В. Власов // Четвертая международная молодежная школа-семинар «Бикамп-03», посв. 300-летию Санкт-Петербурга. – СПб: ГУАП, 2003. – 80 с.
4. Власов А.В. Расчет векторно-энергетических параметров механических пружинных и электронных транзисторных элементов систем управления: учеб. пособие / А.В. Власов, В.В. Власов. – Балаково: БИБиУ, 2007. – 28 с.

УДК 62-503.56

#### **Разработка математической модели, учитывающей отклонения номинальных размеров при печати на 3D-принтере NEO**

Кольжецов Дмитрий Алексеевич студент специальности  
«Проектирование технологических машин и комплексов»;  
Морозова Анастасия Валерьевна студент специальности  
«Проектирование технологических машин и комплексов»;

Токарев Артем Сергеевич, старший преподаватель кафедры технологии  
машиностроения

Трехгорный технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Трехгорный

*В данной работе производились исследования с целью изучения воздействия настройки 3D-печати на изменение размеров напечатанных изделий и создание программы, при помощи которой будет достигаться более точная печать.*

*Полученные результаты исследований легли в основу создания приложения для принтера NEO, которое позволило оптимизировать настройки качества печати*

*данного 3D-принтера. Это привело к получению наименьших отклонений от номинальных значений.*

3D-печать – это быстрое создание реальной модели по ее виртуальному образу. Технологический процесс 3D-печати представляет собой послойное создание будущего предмета без использования форм или дополнительной оснастки.

В последние годы технология 3D-печати становится всё более актуальной. Существует большое количество различных методов печати [1].

Самой распространенной технологией 3D-печати является технология FDM-печати (FusedDepositionModeling – моделирование методом послойного наплавления).

Стоит отметить, что данная технология 3D-печати не всегда отвечает требованиям к качеству и точности напечатанной детали. На отклонения размеров деталей влияют режимы печати, которые задаются при его настройке. Это следствие недостаточного научного обеспечения технологий 3D-печати, отсутствия информации о методах управления качеством изделий. В связи с этим изучение указанных аспектов проблемы является актуальной научно-технической задачей [2].

Актуальность данной работы заключается в необходимости повышения эффективности 3D-печати.

Целью работы является изучение воздействия настройки 3D-печати на изменение размеров напечатанных изделий и создание программы, при помощи которой будет достигаться более точная печать.

Одной из главных задач является получение готовых изделий с минимальными отклонениями от номинальных размеров. Возможным решением может послужить создание программы, позволяющей выполнить анализ смоделированной электронной модели детали. Она позволит печатать детали более высокой точности.

Представленная работа содержит описание проведенных экспериментов, полученные результаты которых послужили основой для создания программы, которая позволила печатать детали с минимальными отклонениями от номинальных размеров.

В ходе проведения исследований потребовалось напечатать образцы деталей для определения отклонений размеров. Печать деталей происходила на 3D-принтере NEO, установленном в лаборатории Трехгорного технологического института. В качестве материала для печати использовался PLA-пластик. Технические характеристики и основные показатели печати 3D-принтера NEO приведены в табл. 1.

## Технические характеристики и основные показатели печати 3D-принтера NEO

Параметры	Значения			
Технология печати	FDM			
Рабочая область построения, мм	210x210x250			
Толщина слоя, мм	0,1-0,4			
Количество печатающих головок, шт	1			
Заявленная точность печати, мм	0,1-0,3			
Температура экструдера при печати, t°	0-260			
Температура стола при печати, t°	0-85			
Название параметра	Тип печати			
	Faster print	Normal print	High print	Ulti print
Плотность заполнения, %	10	15	20	20
Экструзионный множитель, %	100	100	100	100
Высота слоя, мм	0,3	0,25	0,2	0,1
Толщина стенки (число проходов)	1	2	2	3

Настройка параметров печати производилась с помощью слайсера CURA. Это приложение является наиболее распространенным и позволяет настраивать параметры печати для многих 3D-принтеров. Также данное приложение имеет ряд стандартных настроек печати [3].

Для выявления отклонений размеров от номинального значения была смоделирована деталь, которая имеет различные геометрические формы, позволяющие оценить качественные параметры печати данного 3D-принтера. На рис. 1 представлена напечатанная модель детали и контролируемые размеры после печати.

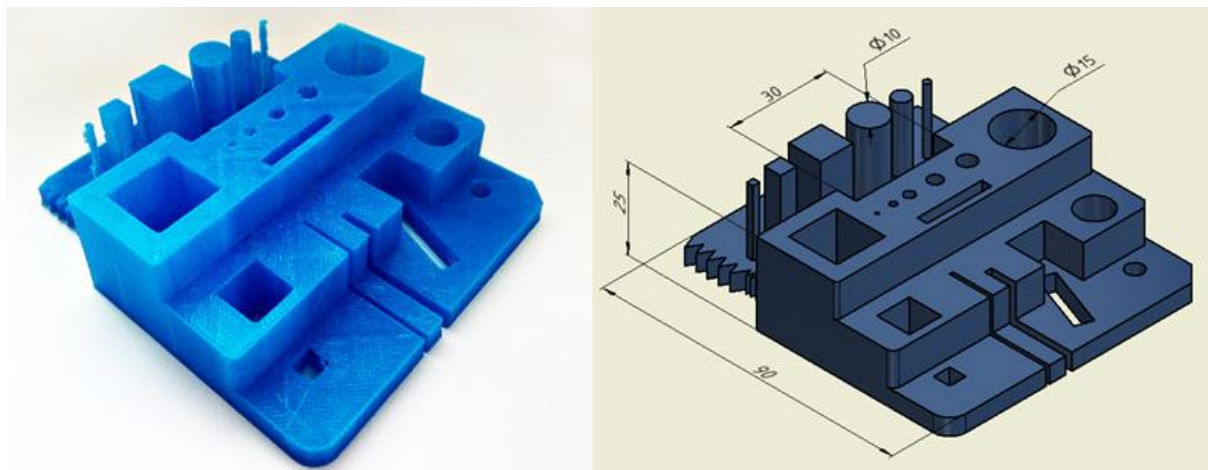


Рис. 1. Напечатанная деталь и контролируемые размеры после печати

Проведя литературный обзор существующей информации о воздействии на точность размеров, удалось выделить следующие показатели:

- 1) плотность заполнения;
- 2) экструзионный множитель;
- 3) высота слоя;

4) толщина стенки;

5) базовые настройки печати [4]. Слайсер CURA предоставляет четыре типа печати: Faster print, Normal print, High print, Ulti print. Каждый тип содержит определенные настройки печати.

Было решено провести опыт, который позволит оценить каждый тип печати и сравнить полученные образцы с эталонной моделью. В процессе опыта были исследованы 4 детали по одной для каждого типа печати.

Измерения проводились с помощью штангенциркуля фирмы «Ермак» с ценой деления 0,02 мм. В ходе измерений и анализа распечатанных деталей была выявлена максимальная погрешность при печати, которая составила 0,26 мм, что подтверждает заявленную точность 3D-принтера. Мелкие элементы, такие как зубчатая рейка с шагом 1 мм и отверстия до 2 мм, не отвечали заданной форме.

Определение отклонений размеров. Для определения точности напечатанных размеров детали были выбраны 5 размеров, представленных на рис. 1. После измерения они были занесены в табл. 2, также были определены абсолютное и относительное отклонения. Результаты измерений приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерений в зависимости от типа печати

Параметры	Тип печати			
	Faster print	Normal print	High print	Ulti print
Номинальный размер 90 мм				
Действительный размер, мм	90,26	90,24	90,18	90,12
Абсолютное отклонение, мм	0,26	0,24	0,18	0,12
Относительное отклонение, %	0,29	0,27	0,2	0,13
Номинальный размер 25 мм				
Действительный размер, мм	25,20	25,16	25,18	25,10
Абсолютное отклонение, мм	0,20	0,16	0,18	0,10
Относительное отклонение, %	0,8	0,62	0,72	0,40
Номинальный диаметр 15 мм				
Действительный размер, мм	14,80	14,86	14,86	14,90
Абсолютное отклонение, мм	0,20	0,14	0,14	0,10
Относительное отклонение, %	1,33	0,93	0,93	0,67
Номинальный диаметр 10 мм				
Действительный размер, мм	10,12	10,14	10,10	10,10
Абсолютное отклонение, мм	0,12	0,14	0,10	0,10
Относительное отклонение, %	1,20	1,40	1,00	1,00
Номинальный размер 30 мм				
Действительный размер, мм	29,78	29,82	29,84	29,86
Абсолютное отклонение, мм	0,22	0,18	0,16	0,14
Относительное отклонение, %	0,73	0,60	0,53	0,47

Значительное влияние на точность размеров оказывает высота печатных слоев: первого слоя и последующих [5]. Для определения отклонений размеров были распечатаны образцы кубиков с гранью 25 мм. Для получения более достоверных данных было напечатано в каждом стандартном типе печати по 3 образца.

По полученным данным можно сделать вывод, что высота печатного слоя имеет значительное влияние на отклонение размера от его нормального значения. Также это отклонение изменяется в зависимости от типа печати. При печати Faster print было получено максимальное отклонение – 0,16 мм, а при печати Ulti print минимальное – 0,08 мм.

В базовых параметрах экструзионный множитель равен 100 %. Для определения его воздействия на отклонение были распечатаны по три кубика со стороной 25 мм на каждый тип печати с разными экструзионными множителями: 90 % и 110 %.

Проведя анализ данных, была выявлена зависимость: наружные размеры увеличиваются, а внутренние уменьшаются, чем больше экструзионный множитель.

Одним из параметров, который также оказывает воздействие на точность печати, является толщина стенки. Толщина стенки является основным параметром, характеризующим прочность детали. Для определения воздействия толщины стенки были исследованы кубики со стороной 25 мм.

Проанализировав данные, можно сделать вывод, что толщина стенки влияет на точность получаемых размеров. При толщине стенки, равной показателю 2, достигается наименьшее отклонение от номинального размера.

На основе полученных данных исследований была разработана программа, позволяющая печатать детали более высокой точности.

Данная программа позволяет повысить точность печати 3D-принтера NEO. Она работает совместно с программой Компас-3D. Для работы с программой потребуется 3D-модель детали, выполненная в Компас-3D, и сама программа Компас-3D. На рис. 2 представлено рабочее пространство программы «Настройка печати 3D-принтера NEO».

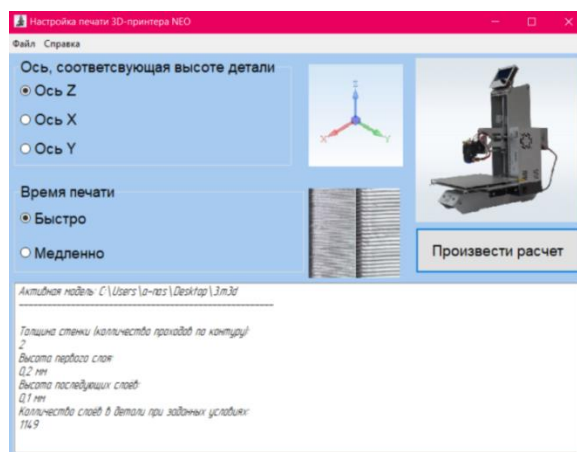


Рис. 2. Рабочее пространство программы

Рабочее пространство программы содержит область, в которую необходимо перенести готовую 3D-модель детали или открыть её в Компас-3D. После чего необходимо выбрать ось ориентации детали, а также время печати. Стоит отметить, что

время печати будет влиять на шероховатость боковых поверхностей. Чем больше время печати, тем качественнее и с меньшей шероховатостью получится поверхность.

После выбора оси расположения и времени печати программа произведет расчёт и выведет на экране параметры, которые необходимо задать в слайсере.

Для проверки данной программы были напечатаны три партии по шесть тестовых деталей, четыре из которых были напечатаны со стандартными настройками принтера и две с использованием разработанной программы. Во всех деталях контролировались четыре размера. Все три партии имеют схожие результаты, поэтому в работе представлены данные, полученные в ходе измерения первой партии. На рис. 3 представлены измеряемые размеры детали. Полученные результаты измерений были занесены в табл. 3.

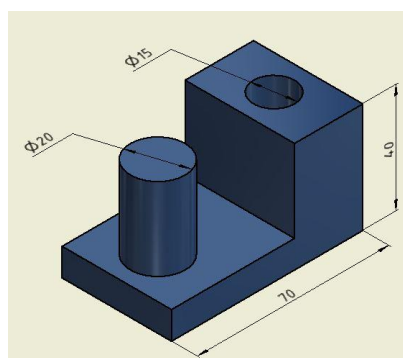


Рис. 3. Измеряемые размеры

Таблица 3

Результаты измерений первой партии

Параметры	Тип печати					
	Быстрая	Медленная	Faster print	Normal print	High print	Ulti print
Номинальный размер 70 мм						
Размер, мм	70,06	70,04	70,26	70,22	70,18	70,12
Абсолютное отклонение, мм	0,06	0,04	0,26	0,22	0,18	0,12
Относительное отклонение, %	0,08	0,06	0,37	0,31	0,26	0,17
Номинальный размер 40 мм						
Размер, мм	40,04	40,04	40,24	40,22	40,16	40,14
Абсолютное отклонение, мм	0,04	0,04	0,24	0,22	0,16	0,14
Относительное отклонение, %	0,10	0,10	0,60	0,55	0,40	0,35
Номинальный диаметр 15 мм						
Размер, мм	14,94	14,98	14,80	14,86	14,88	14,90
Абсолютное отклонение, мм	0,06	0,02	0,20	0,14	0,12	0,1
Относительное отклонение, %	0,40	0,13	1,33	0,93	0,80	0,67
Номинальный диаметр 20 мм						
Размер, мм	20,04	20,04	20,20	20,16	20,16	20,10
Абсолютное отклонение, мм	0,04	0,04	0,20	0,16	0,16	0,10
Относительное отклонение, %	0,20	0,20	1,00	0,80	0,80	0,50
Время печати, мин	36	104	33	48	102	153

По полученным данным можно сделать вывод, что при использовании данной программы детали изготавливаются с наименьшими отклонениями, как при быстрой, так и при медленной печати.

Подводя итог изучению изменения размеров деталей, напечатанных на 3D-принтере NEO, рассматривая каждый параметр печати в отдельности, можно выделить следующее:

– размеры куба со стороной 25 мм по осям OX и OZ после печати значительно отличаются от номинальных размеров;

– размеры куба со стороной 25 мм после изменения значения экструзионного множителя значительно отличаются от номинальных размеров, а также выявлена пропорциональная зависимость отклонений размеров от экструзионного множителя;

– размеры куба со стороной 25 мм после изменения толщины стенки значительно отличаются от номинальных размеров, наиболее оптимальные показатели были достигнуты при числе проходов, равном 2.

Полученные результаты исследований легли в основу создания приложения для принтера NEO, которое позволило оптимизировать настройки качества печати данного 3D-принтера, что привело к получению наименьших отклонений от номинальных значений.

#### Литература

1. ГОСТ Р 57911-2017. Изделия, полученные методом аддитивных технологических процессов. Термины и определения.
2. Валетов В.А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы): учеб. пособие / В.А. Валетов. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 63 с.
3. Нарисава И.В. Прочность полимерных материалов / И.В. Нарисава. – М.: Химия. 1987. – 400 с.
4. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.А. Зленко, А.А. Попович. – СПб: Санкт-Петербургский госуд. политехн. унив., 2013. – 222 с.
5. Шкуро А.Е. Технологии и материалы 3D-печати / А.Е. Шкуро, П.С. Кривоногов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т., 2017. – 98 с.
6. Процент заполнения в 3D-печати. [Электронный ресурс] URL: <https://www.st3d.ru/5-zapolnenie/> (дата обращения: 05.02.2020).



## Исследование задачи регулирования уровня конденсата в подогревателе высокого давления атомной станции

Мефедова Юлия Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Информатика и управление в технических системах»;  
Колбанов Яков Александрович, студент направления  
«Управление в технических системах»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального  
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*Исследовано назначение и принцип работы подогревателя высокого давления атомной станции, выполнен анализ его контролируемых и регулируемых параметров, в частности, регулирование уровня конденсата греющего пара.*

Система регенерации высокого давления, в которую входит подогреватель высокого давления (ПВД), является одной из основных систем турбинного отделения атомной станции наряду с такими системами, как системы главных паропроводов и сброса пара в конденсаторы, системы паропроводов собственных нужд и расхолаживания, система регенерации низкого давления, система питательной воды. На Балаковской АЭС находится в эксплуатации конденсационная турбина К-1000-60/1500-2, изготовленная Харьковским турбогенераторным заводом, номинальной мощностью 1114 МВт с частотой вращения 1500 об/мин, максимальным расходом свежего пара 6430 т/ч. Принципиальная схема паротурбинной установки представлена на рис. 1.

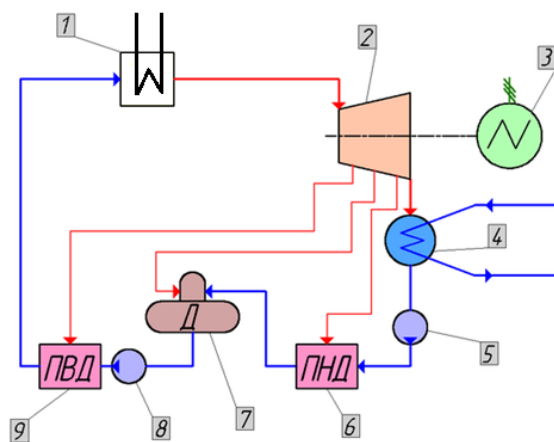


Рис. 1. Принципиальная схема паротурбинной установки:

1 – парогенератор; 2 – турбина; 3 – электрогенератор; 4 – конденсатор;  
5 – конденсаторный насос; 6 – подогреватель низкого давления (ПНД); 7 – деаэратор;  
8 – турбопитательный насос; 9 – подогреватель высокого давления (ПВД)

Система регенерации высокого давления предназначена для подогрева питательной воды, подаваемой питательными насосами (8) из деаэраторов (7) в парогенераторы (1) паром, частично отбираемым из проточной части главной турбины (2). ПВД состоит из двух групп ПВ 2500-97-18А и ПВ 2500-97-28А (соответственно ПВД-6 и ПВД-7), включенных параллельно. Конструктивно они подобны друг другу.

Питательная вода поступает в подогреватель снизу и с помощью тройника подводится к раздающим коллекторным трубам. Диафрагмы, установленные на этих коллекторах, разделяют общий поток питательной воды таким образом, что часть воды проходит через охладитель и смешивается с основным потоком питательной воды, прошедшим через диафрагмы. По спиральным трубам поверхности нагрева в зоне конденсации пара питательная вода проходит в собирающие коллекторы, откуда через специальный тройник поступает в выходной патрубок ПВД. При отсутствии регенеративного подогрева питательной воды весьма значителен бесполезный отвод теплоты в холодном источнике – конденсаторе турбины. Часть теплоты используется для подогрева питательной воды в специальных регенеративных подогревателях перед ее поступлением в парогенерирующую установку. Для осуществления регенеративного подогрева питательной воды влажный пар из ступеней турбины отводится для частичной конденсации в регенеративных подогревателях и затем возвращается в турбину для дальнейшей работы в ней. Значительное и легко достижимое увеличение термического КПД при использовании регенеративного подогрева питательной воды привело к обязательному его использованию во всех паротурбинных установках. Используются следующие режимы работы системы регенерации высокого давления (табл. 1).

Таблица 1

Режимы работы системы регенерации высокого давления

При номинальной нагрузке энергоблока	<ul style="list-style-type: none"> <li>· подключены обе группы ПВД по питательной воде и по пару от 1-го и 2-го отборов главной турбины; регуляторы уровня работают в автоматическом режиме;</li> <li>· КГП из ПВД-7 поступает в ПВД-6 и далее – в деаэрактор;</li> <li>· КГП из КС-2ст СПП поступает в ПВД-7;</li> <li>· КГП из КС-1ст СПП поступает в ПВД-6.</li> </ul>
При номинальной нагрузке энергоблока и одной отключенной группе ПВД	<ul style="list-style-type: none"> <li>· питательная вода направляется в парогенератор через работающую группу ПВД-6,7, а также через открытые задвижки на байпасе обеих групп ПВД;</li> <li>· открыты задвижки греющего пара из 1,2-го отборов и дренажи из 1,2-го отборов главной турбины в корпуса работающих ПВД;</li> <li>· КГП работающего ПВД-7 поступает в ПВД-6 и далее – в деаэрактор;</li> <li>· КГП из конденсатосборника 1,2-ой ступени сепаратора-пароперегревателя поступает только в деаэрактор.</li> </ul>

При электрической нагрузке энергоблока менее 750 МВт	· все ПВД отключены по пару; · питательная вода направляется в парогенератор через обе группы ПВД и открытые их байпасы (если обе группы ПВД не готовы к включению, то питательная вода подается в парогенератор только по байпасным линиям).
При электрической нагрузке энергоблока менее 30 %	· все ПВД отключены по пару; · питательная вода подается в ПГ через обе группы ПВД и открытые их байпасы (при неготовности к включению ПВД гр. А(Б) отключены по питательной воде).

\*КГП – конденсат греющего пара

Для стабильной эксплуатации подогревателей необходим контроль и регулирование ряда параметров конденсата греющего пара, питательной воды и греющего пара, номинальные значения которых представлены в табл. 2.

Таблица 2

## Контролируемые параметры ПВД

Контролируемый параметр	Номинальное значение параметра	БЩУ	УВС	По месту
Уровень КГП в ПВД-6 (7), мм	2900 ± 40	+	+	+
Давление питательной воды до ПВД, кгс/см <sup>2</sup>	90 ± 9	+	+	+
Давление питательной воды за ПВД, кгс/см <sup>2</sup>	84 ± 9	-	+	+
Давление пара во 2-м отборе к ПВД-6, кгс/см <sup>2</sup>	16 ± 2	-	+	+
Давление пара в 1-м отборе к ПВД-7, кгс/см <sup>2</sup>	26,5 ± 2	-	+	+
Температура питательной воды до ПВД-6, °С	158 ± 6	-	+	-
Температура питательной воды за ПВД-6, °С	198 ± 4	-	+	-
Температура питательной воды за ПВД-7, °С	216 ± 5	-	+	-
Температура КГП за ПВД-7, °С	200 ± 5	-	+	-
Температура КГП за ПВД-6, °С	180 ± 4	-	+	-
Температура греющего пара до ПВД-6, °С	200 ± 6	-	+	-
Температура греющего пара до ПВД-7, °С	225 ± 5	-	+	-
Расход питательной воды через ПВД, т/ч	3000 ± 265	-	+	-

\*БЩУ – блочный щит управления, УВС – управляющая вычислительная система

Одной из основных регулируемых величин в подогревателях является уровень конденсата греющего пара. Изменение (повышение) уровня конденсата может быть вызвано следующими факторами:

- снижение электрической нагрузки блока;
- течь трубной системы подогревателя;
- резкое уменьшение количества отводимого конденсата;
- неисправности в цепях автоматики;
- заклинивание и нарушение внутренних сочленений регулирующего клапана.

Повышение уровня конденсата греющего пара выше номинального (без превышения аварийного) приводит к частичному затоплению поверхности нагрева подогревателя, ухудшению теплообмена в нем и увеличению недогрева в подогревателе. Понижение уровня конденсата ниже номинального может привести к проскокам пара через дренажные трубопроводы в нижележащий по ОК подогреватель.

Автоматическое защитное устройство от повышения уровня в ПВД предназначено для защиты турбины от попадания в ее проточную часть питательной воды и защиты корпуса ПВД от разрушения в случае повышения уровня конденсата выше допустимого значения. В качестве исполнительного органа защиты от повышения уровня в ПВД используется автоматическое устройство с быстродействующим впускным и обратным клапанами. Впускной клапан с гидроприводом устанавливается на трубопроводе питательной воды, на входе в ПВД. Он предназначен для аварийного отключения подачи питательной воды и перепуска ее в питательный трубопровод к парогенератору по байпасным линиям ПВД. Обратный клапан устанавливается на трубопроводе питательной воды на выходе и срабатывает одновременно с включением байпасной линии.

Существует несколько алгоритмов действий при повышении уровня конденсата в ПВД, которые представлены в табл. 3.

Таблица 3

Действия при повышениях уровня КГП

Значение повышения уровня КГП в корпусах ПВД-6,7 (хотя бы в одном)	Действия
Более 3040 мм	- на БЩУ подается звуковая сигнализация, загорается табло «Высок уровень в ПВД-1(2) гр.».
Более 3140 мм	- включается блокировка на открытие задвижек на байпасной линии; - питательная вода к ПГ при этом подается через ПВД-6,7 и одновременно по обводной (байпасной линии).
Более 3440 мм	- срабатывает защита по первому пределу, при этом автоматически отключается аварийная группа ПВД по воде и пару; - на БЩУ подается звуковая сигнализация, загорается табло «Повышение уровня до 1-го предела ПВД-1(2) гр.»; - питание ПГ водой осуществляется по обводной (байпасной) линии аварийной группы.
Более 5440 мм	- срабатывает защита на останов турбины без срыва вакуума, автоматически отключается аварийная группа ПВД-6,7; - на БЩУ подается звуковая сигнализация и загорается табло «Уровень в ПВД-1(2) гр. 2 предел»; - после отключения ПВД гр. А(Б) на БЩУ загорается световое табло «Отключены ПВД-1(2) гр.»; - питание ПГ водой осуществляется по обводной линии аварийной группы ПВД-6,7.

В дальнейшем планируется провести математическое моделирование элементов системы автоматического регулирования уровня КПП с целью определения их передаточных функций и разработать закон регулирования автоматического регулятора для получения заданных показателей качества системы в статическом и динамическом режимах работы.

#### Литература

1. Марушкин В.М. Подогреватели высокого давления ТЭС и АЭС / В.М. Марушкин, С.С. Иващенко, Б.Ф. Вакуленко. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Трухний А.Д. Паротурбинная установка энергоблоков Балаковской АЭС / А.Д. Трухний, А.Е. Булкин. – М.: МЭИ, 2004.

УДК 681.516

#### **Методы синтеза систем управления электроприводом с неопределенными параметрами**

Мефедова Юлия Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Информатика и управление в технических системах»;  
Станкова Алина Александровна, студент направления  
«Управление в технических системах»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального  
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*Проведен анализ неопределенностей в системах управления электроприводом и методов теории управления, позволяющих их учитывать.*

Наиболее известные методы синтеза систем управления электроприводом (ЭП) основаны на использовании классических методов теории автоматического управления, в которых подразумевается полная и абсолютная определенность параметров объекта управления и структуры системы. В ряде случаев такой подход оправдан, но при более качественном анализе функционирования электропривода необходимо учитывать возможность возникновения определенного вида неопределенностей.

На рис. 1 представлены источники неопределенностей, которые могут возникнуть в результате функционирования систем управления (СУ).



Рис. 1. Классификация неопределенностей в системах управления

Основную группу составляют неопределенности математической модели объекта управления (ОУ), которые могут возникнуть либо в результате линеаризации нелинейных уравнений динамической системы, либо параметрической неопределенности. Последняя неопределенность представляет собой зависимость свойств объекта от параметров, которые могут быть либо неизвестными, либо переменными.

Следующая группа неопределенностей – неопределенность цели функционирования, которая заключается в неточностях постановки задачи синтеза системы управления.

Неопределенность характеристик среды функционирования системы (внешних условий) должна учитываться при моделировании систем в виде возмущающих воздействий и сигналов задания.

Применительно к электроприводу рассмотрим параметрическую неопределенность, которая вносится в СУ в виде изменяемых параметров. К ним могут быть отнесены:

- момент инерции, изменение которого может возникнуть из-за изменения массы груза в подъемно-транспортных установках, взаимосвязи координат в манипуляторах, станках и роботах;
- индуктивность в обмотках цепей возбуждения, вызванная насыщением магнитной системы двигателя;
- активное сопротивление силовых цепей вследствие изменения температурного режима двигателя;
- коэффициент усиления в управляемых преобразователях из-за изменения энергетического уровня источника питания.

В табл. 1 представлены параметры ЭП, которые могут быть нестабильны и причины их вызывающие [2].

Таблица 1

Причины изменения параметров электропривода

Параметр ЭП	Причины изменения	Пример
Электромеханическая постоянная времени двигателя, $T_{\Sigma}$ , с	Изменение конфигурации и взаимного расположения частей исполнительного механизма	Изменение геометрии рабочих органов промышленного робота (непрерывно, кратность изменения 1,5-5) Движение зеркала антенной установки (непрерывно медленно, кратность 1,5-2,5)
	Изменение параметров объекта и СУ под влиянием управляющих воздействий	Изменение потока возбуждения (непрерывно медленно, кратность изменения 4-16)
	Температурные изменения и старение	Дрейф нуля ОУ, изменение сопротивления и емкости радиоэлементов (непрерывно медленно, кратность изменения 1,1-2) Перегрузки электромеханического узла намотки (непрерывно, кратность 1,1-2,5)
Постоянная времени токового контура ( $T_{\Sigma}$ и постоянная времени преобразователя $T_{\Pi}$ )	Изменение параметров объекта и СУ под влиянием управляющих воздействий	Режимы непрерывного и прерывистого токов (скачкообразно, кратность изменения 1,5-3)
Постоянные времени ЭП (механическая, электромеханическая)	Изменение присоединенных масс	Изменение толщины проката (непрерывно медленно, кратность изменения 1,1-2) Изменение массы переносимого груза (скачкообразно, кратность 2-5)
	Температурные изменения и старение	Перегрузки электромеханического узла намотки (непрерывно, кратность 1,1-2,5)
Коэффициент усиления	Изменение параметров объекта и СУ под влиянием управляющих воздействий	Режимы непрерывного и прерывистого токов (скачкообразно, кратность изменения 1,5-3)
	Температурные изменения и старение	Дрейф нуля ОУ, изменение сопротивления и емкости радиоэлементов (непрерывно медленно, кратность изменения 1,1-2)
Частота собственных колебаний	Нестационарность упруговязкой механической передачи	Изменение длины каната подъемника или буровой колонны (непрерывно медленно, кратность 1,1-10) Движение робота-манипулятора (скачкообразно, кратность 2-5)

В качестве неопределенности внешних условий в электроприводе следует отметить труднодоступный измерению момент нагрузки.

Методы модального и оптимального управления, относящиеся к классической теории автоматического управления (ТАУ), могут учитывать параметрическую неопределенность, но не обеспечивают весь набор требований к качеству системы управления в статическом и динамическом режимах. Для этого перспективным является использование методов современной ТАУ: адаптивное и робастное

управление. Сравнительный анализ данных методов представлен в табл. 2 [1].

Таблица 2

Сравнительный анализ методов адаптивного и робастного управления

Метод	Целесообразность применения	Особенность настройки СУ
Адаптивное управление (беспоисковые самонастраивающиеся системы)		
Непрямое адаптивное управление: сначала проводят идентификацию объекта, после чего определяют соответствующие параметры регулятора	Когда структура объекта не изменяется в процессе работы, а имеют место вариации его параметров	Настраиваются параметры регулятора таким образом, чтобы свести рассогласование объекта и модели к нулю
Прямое адаптивное управление: контуры адаптации работают по замкнутому циклу, что позволяет парировать изменение параметров объекта и регулятора		
Робастное управление		
«Математический» подход: задаются определенные интервалы изменения нестабильных параметров и допустимые отклонения показателей качества управления	В отсутствие необходимости в точной идентификации ОУ, а также в изменении параметров регулятора в режиме реального масштаба времени	Осуществляется поиск закона управления, в результате которого замкнутая система приобретает робастные свойства (сохраняет свою устойчивость, а также показатели качества выходных переменных системы в рамках предъявленных требований, несмотря на наличие параметрических неопределенностей в замкнутом контуре управления)
«Физический» подход делает основной акцент на детализированный анализ специфических свойств (особенностей) управляемого объекта, на максимальный учет этих особенностей для повышения робастных свойств СУ		

В дальнейшем планируется провести анализ и синтез системы управления электроприводом постоянного тока с тиристорным преобразователем с использованием «математического» подхода робастного управления.

Литература

1. Александров А.Г. Методы построения систем автоматического управления / А.Г. Александров – М.: Издательство физико-математической литературы, 2008. – 232 с.
2. Борцов Ю.А. Автоматизированный электропривод с упругими связями: 2-е изд., перераб. и доп. / Ю.А. Борцов, Г.Г. Соколовский. – СПб.: Энергоатомиздат. СПб, 1992. – 288 с.



**Определение величины отвода модифицированного профиля  
производящей поверхности зуборезного инструмента,  
заданной уравнением спирали**

Рязанов Сергей Анатольевич, заведующий лабораторией «Компьютерная графика»  
кафедры «Инженерная геометрия и основы САПР»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов

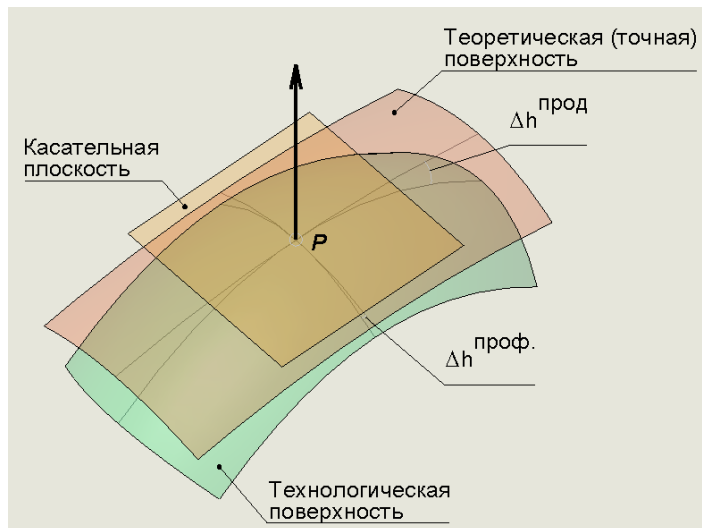
*Существующие математические модели расчета зубчатых зацеплений достаточно сложны и не всегда дают возможность достаточно эффективно получить желаемый результат необходимой рабочей поверхности. Более простым способом поиска подходящего варианта параметров зубчатой передачи, которые удовлетворяют поставленной задаче, является применение методов компьютерного моделирования и компьютерной графики, а также алгоритмов твердотельного моделирования. Для улучшения качества контакта рабочих поверхностей применяется отвод их рабочих поверхностей при помощи зуборезного инструмента с модифицированной производящей поверхностью. При этом описать модификацию рабочей поверхности зуборезного инструмента можно при помощи аналитических выражений.*

Применение алгоритмов компьютерной графики в вопросах технологии изготовления зубчатых колес стало возможным благодаря тому, что сам процесс изготовления той или иной детали на станках с ЧПУ тесно связан с указанием информации о внешнем облике детали формообразуемой детали, ее размерах и геометрических характеристиках. Такую же информацию можно задать и в ЭВМ с целью имитации управления движением режущего инструмента, при этом движение инструмента будет точно воспроизводить движение реального зуборезного инструмента.

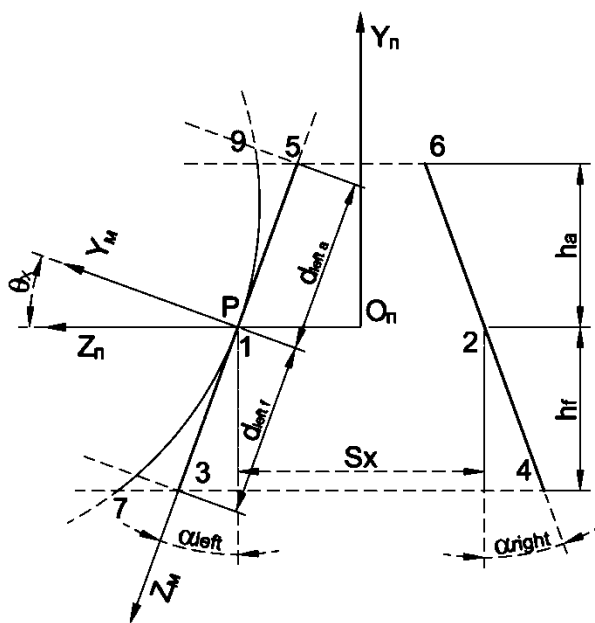
В современных условиях физического и морального старения парка зуборезных станков, их износа и неизбежного снижения точности их кинематических цепей для сохранения качества выпускаемых передач на достаточно высоком уровне необходимо применять заранее заложенную модификацию контактирующих поверхностей, которая уменьшает чувствительность червячной передачи к погрешностям изготовления и монтажа ее элементов [1, 2].

Отвод профиля или модификацией рабочей поверхности чаще происходит внутрь контактирующего тела [3, 4]. На рис. 1а показаны поверхности, формирующие производящую поверхность инструмента.

Теоретическая поверхность – это поверхность, получаемая путем формообразования исходным (линейным) профилем производящей поверхности зуборезного инструмента, а технологическая (модифицированная) поверхность получается формообразованием модифицированным профилем производящей поверхности зуборезного инструмента [5].



а



б

Рис. 1. Боковая производящая поверхность:  
 а – способы модификации производящей поверхности зуборезного инструмента;  
 б – профильная модификация производящей поверхности инструмента

Для получения модифицированной производящей поверхности необходимо выполнить изменение исходного (линейного) профиля сечения производящей поверхности [6], т. е. получить модифицированный осевой профиль производящей поверхности (рис. 1б).

Для получения модифицированного профиля производящей поверхности зуборезного инструмента используем функцию, которая задает уравнение спирали Архимеда:

$$f(\varphi) = \frac{1}{2} \cdot \frac{a \cdot \varphi}{\pi}, \quad (1)$$

где  $a$  – шаг спирали;  $\varphi$  – угол разворота спирали.

Уравнение (1) позволяет построить спираль Архимеда в полярной системе координат, но для определения отвода производящей поверхности от прямолинейного профиля удобнее использовать формулы, определяющие координаты точки принадлежащей спирали в декартовой системе координат [7], уравнение (2):

$$f(\varphi) = \begin{bmatrix} x \cdot \cos(\varphi) \\ y \cdot \sin(\varphi) \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Подставляя уравнение (1) в уравнение (2) получим окончательную форму матричного выражения, которое позволяет определить координаты точки в декартовой системе координат, в зависимости от текущего угла спирали:

$$f(\varphi) = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \cdot \frac{a \cdot \varphi}{\pi} \cdot \cos(\varphi) \\ \frac{1}{2} \cdot \frac{a \cdot \varphi}{\pi} \cdot \sin(\varphi) \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Для определения величины отвода необходимо выбранную точку спирали совместить с началом системы координат (рис. 1б) и повернуть спираль на угол, равный углу между осью  $OY$  и вектором, проходящим через начало системы координат  $xOy$  и заданной точкой (5) – (6). Поворот спирали будет определяться матричным выражением:

$$M = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) & \Delta x \\ \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Угол поворота  $\alpha$  определим из уравнения касательной в заданной точке:

$$y_k = \frac{1}{2} \cdot \frac{(2 \cdot \pi \cdot \cos(\varphi) \cdot \varphi + 2 \cdot \pi \cdot \cos(\varphi))}{\pi \cdot (-\varphi \cdot \sin(\varphi) + \cos(\varphi))} \cdot x_k - \frac{1}{2} \cdot \frac{a \cdot \varphi^2}{\pi \cdot (-\varphi \cdot \sin(\varphi) + \cos(\varphi))}, \quad (5)$$

Уравнение нормали к спирали в рассчитываемой точке задается выражением:

$$y_n = -\frac{1}{2} \cdot \frac{(-2 \cdot \pi \cdot \sin(\varphi) \cdot \varphi + 2 \cdot \pi \cdot \cos(\varphi))}{\pi \cdot (-\varphi \cdot \cos(\varphi) + \sin(\varphi))} \cdot x_n - \frac{1}{2} \cdot \frac{a \cdot \varphi}{\pi \cdot (-\varphi \cdot \cos(\varphi) + \sin(\varphi))}. \quad (6)$$

Объединяя выражения (3) – (6) получим окончательный вид уравнений, которые позволяют определить координаты точки, принадлежащей спирали Архимеда [8; 9], но при этом заданная точка будет находиться в начале системы координат:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{a \cdot \varphi \cdot \cos(\varphi)}{\pi} - \frac{1}{2} \cdot \frac{a \cdot \varphi_k \cdot \cos(\varphi_k)}{\pi} \right) - \\ - \sin(\alpha) \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{a \cdot \varphi \cdot \sin(\varphi)}{\pi} - \frac{1}{2} \cdot \frac{a \cdot \varphi_k \cdot \sin(\varphi_k)}{\pi} \right) \\ \sin(\alpha) \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{a \cdot \varphi \cdot \cos(\varphi)}{\pi} - \frac{1}{2} \cdot \frac{a \cdot \varphi_k \cdot \cos(\varphi_k)}{\pi} \right) + \\ + \cos(\alpha) \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{a \cdot \varphi \cdot \sin(\varphi)}{\pi} - \frac{1}{2} \cdot \frac{a \cdot \varphi_k \cdot \sin(\varphi_k)}{\pi} \right) \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Важной характеристикой является кривизна получаемой кривой [10; 11], которую определим при помощи уравнения (9):

$$K_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot |a^2 \cdot (\varphi^2 + 2)|}{a^2 \cdot (\varphi^2 + 1)^{3/2}}. \quad (9)$$

Для построения результирующей рабочей поверхности воспользуемся уравнениями (7) и вычислим координаты точек, табл. 1.

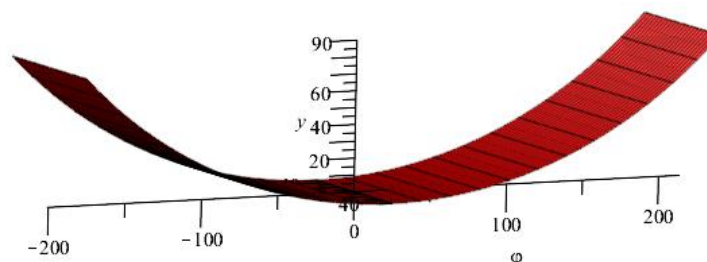
Таблица 1

Координаты точек модифицированного профиля принадлежащих спирали Архимеда и кривизна кривой в этой точке

x, мм	y, мм	Угол разворота спирали, $\varphi$ , рад	Кривизна в точке, $K_2$
-5,0	0,042910600	11,763926600	0,003435928
-4,5	0,034755400	11,765632440	0,003435426
-4,0	0,027459400	11,767337980	0,003434925
-3,5	0,021022400	11,769043230	0,003434424
-3,0	0,015444100	11,770748210	0,003433923
-2,5	0,010724500	11,772452910	0,003433422
-2,0	0,006863300	11,774157330	0,003432922
-1,5	0,003860400	11,775861500	0,003432422
-1,0	0,001715700	11,777565400	0,003431921
-0,5	0,000428900	11,779269050	0,003431422
0,0	0,000000100	11,780972450	0,003430922
0,5	0,000428900	11,782675610	0,003430423
1,0	0,001715300	11,784378520	0,003429924
1,5	0,003859300	11,786081200	0,003429425
2,0	0,006860600	11,787783660	0,003428926
2,5	0,010719300	11,789485880	0,003428427
3,0	0,015435100	11,791187890	0,003427929
3,5	0,021008100	11,792889690	0,003427431

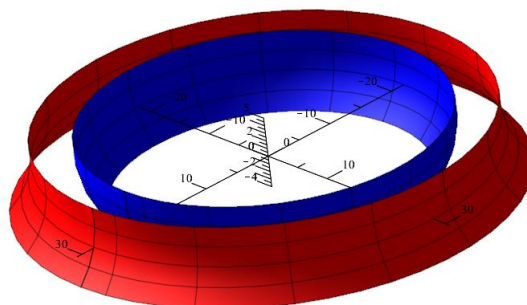
4,0	0,027438100	11,794591280	0,003426933
4,5	0,034725000	11,796292660	0,003426435
5,0	0,042868900	11,797993840	0,003425938

Используя полученные табличные данные (табл. 1), построим трехмерную геометрическую модель модифицированной производящей поверхности зуборезного инструмента (рис. 2).



*Рис. 2. Модифицированная производящая поверхность зуборезного инструмента*

Полученные математические зависимости для получения виртуального цифрового прототипа производящей поверхности зуборезного инструмента с возможностью внесения профильной модификации позволяют получить цифровой эквивалент зуборезных инструментов (рис. 3).



*Рис. 3. Производящая поверхность, эквивалентная производящей поверхности зуборезного инструмента «резцовая головка» с модифицированным исходным профилем*

Применение модификации производящей поверхности зуборезного инструмента дает возможность внесения профильного отвода производящей поверхности от исходного прямолинейного профиля, что повлечет за собой модификацию сопряженной рабочей поверхности полученного изделия и в итоге приведет к улучшению характеристик зоны контакта зубчатой передачи [12]. Применение цифрового прототипа модифицированной производящей поверхности позволяет выполнять получение виртуального изделия, используемого в зубчатой передаче.

## Литература

1. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я. Выгодский. – М.: АСТ: Астрель, 2005. – 991 с.
2. Карачаровский В.Ю. Применение методов 3D компьютерной графики и твердотельного моделирования при разработке технологических процессов зубонарезания / В.Ю. Карачаровский, С.А. Рязанов // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2010. – № 4. – Вып. 1. – С. 55-60.
3. Антропова Т.В. Изучение дисциплин графического цикла как основа развития пространственного и художественно-конструкторского мышления / Т.В. Антропова // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона: материалы конференции. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2018. – № 9. – С. 20-23.
4. Антропова Т.В. Применение технологий интерактивного обучения в процессе преподавания дисциплин геометро-графического цикла / Т.В. Антропова // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона: материалы конференции. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2019. – № 11. – С. 498-502.
5. Карачаровский В.Ю. Визуализационная оценка геометрических характеристик контактирующей поверхности в червячных передачах на основе применения методов 3D компьютерной графики / В.Ю. Карачаровский, М.К. Решетников, С.А. Рязанов // Вестник Саратовского государственного технического университета. – Саратов: СГТУ, 2014. – №1 (75). – Вып. 2. – С. 106-108.
6. Карачаровский В.Ю. Геометрическое моделирование формообразования пространственных поверхностей при винтовом относительном движении / В.Ю. Карачаровский, С.А. Рязанов // Сборник трудов 1-ой междунардн. научн. конференции «Проблемы геометрического моделирования в автоматизированном проектировании и производстве». – М.: Изд-во МГИУ, 2008. – С. 143-146.
7. Марьина А.А. Разработка конструкторской документации и проведение конструкторского надзора / А.А. Марьина // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2017. – № 8. – С. 290-293.
8. Марьина А.А. Инженеринговый контроль технологической дисциплины / А.А. Марьина // Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции «Современные научные исследования и разработки» (г. Прага, Чехия). – Нефтекамск: Науч.-издат. центр «Мир науки», 2019. – С. 52-56.
9. Рязанов С.А. Геометрическая модель производящей поверхности, эквивалентной рабочей поверхности зуборезного инструмента «червячная фреза» /

С.А. Рязанов // Геометрия и графика. – М.: ИНФРА-М, 2019. – Т. 7. – С. 56-60.  
DOI: 10.12737/article\_5d2c24f391d6b6.68532534.

10. Рязанов С.А. Компьютерная геометрическая модель производящей поверхности зуборезного инструмента «червячная фреза» / С.А. Рязанов // Сборник трудов V Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2019. – Т. 1. – С. 261-268.

11. Рязанов С.А. Компьютерная геометрическая имитационная модель зуборезного инструмента, эквивалентная рабочей поверхности инструмента «долбяк» с модифицированной производящей поверхностью / С.А. Рязанов // Сборник трудов II Международной научно-практической конференции «Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2020. – Т. 1. – С. 328-335.

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2015616756 Российская Федерация. Геометрическое твердотельное моделирование зубчатых передач со скрещивающимися осями вращения / В.Ю. Карачаровский, М.К. Решетников, С.А. Рязанов; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» (СГТУ имени Гагарина Ю.А.) № 2015613296; заявл. 23.04.2015; опубл. 22.06.2015.

## **Обеспечение конфиденциальности данных в информационных системах**

Сафонов Алексей Викторович, студент направления

«Управление в технических системах»;

Фролова Марина Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры

«Информатика и управление в технических системах»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*В данной статье рассматриваются основные способы обеспечения конфиденциальности и безопасности данных в информационных системах, а также показаны недостатки некоторых из них и приведены примеры усовершенствованных способов защиты. Проведенный обзор средств аппаратно-программного уровня защиты информации позволяет предложить пути использования средств обеспечения конфиденциальности данных.*

Конфиденциальность – это необходимость предотвращения разглашения или утечки какой-либо информации. В любой организации всегда есть информация, которая должна быть доступна только узкому кругу лиц. Естественно, любые утечки или потери персональных данных способны привести к огромному ущербу репутации организации, а также материальному ущербу ее клиентов. Такая информация должна быть скрыта и защищена от третьих лиц.

Чем больше развиваются информационные технологии, тем более актуальной становится проблема конфиденциальности информации и защиты персональных данных. В современных условиях цифровизации всех сфер жизни и постепенного перехода на удаленную авторизацию и идентификацию требования к безопасной обработке и хранению информации будут только повышаться. Вопросы обеспечения информационной безопасности нашли свое отражение в Федеральном проекте «Информационная безопасность» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [1].

Для обеспечения конфиденциальности информации используются различные инструменты защиты персональных данных: идентификация и авторизация, управление правами доступа, использование шифрования данных и другие.

Самый распространенный способ идентифицировать кого-то – использовать его физическую внешность. Различные средства аутентификации используются для того, чтобы убедиться, что лицо, получающее доступ к информации, действительно является



одним из тех, кому это разрешено. Аутентификация может быть выполнена с помощью различного сочетания трех факторов: по идентификатору и паролю, по личному «пропуску» в виде ключа или карты или с помощью биометрии.

Наиболее распространенной формой аутентификации сегодня является идентификатор пользователя (логин) и пароль. В этом случае аутентификация выполняется путем подтверждения того, что пользователь знает их. Но эта форма аутентификации легко компрометируется, и иногда часто требует дополнительные формы аутентификации. Идентификация по «пропуску», также может быть проблематичной, так как такой идентификатор может быть потерян или украден. Наиболее устойчивым к воздействию извне является использование биометрии. Биометрический способ идентифицирует пользователя с помощью физической характеристики, такой как сканирование радужки глаза или отпечатка пальца [2, 3].

Одним из путей повышения безопасности является использование многофакторной аутентификации. При объединении двух или более способов, перечисленных выше, становится гораздо труднее третьим лицам получить доступ к информации. Примером этого может быть использование RSA SecurID. Устройство на основе этой технологии будет генерировать новый код доступа каждые шестьдесят секунд. Чтобы войти в информационный ресурс с помощью устройства RSA, вы объединяете то, что вы знаете, четырехзначный PIN-код с кодом, генерируемым устройством. Единственный способ аутентифицироваться – это знать пароль и иметь код устройство RSA.

После того как пользователь прошел аутентификацию, следующий шаг должен гарантировать, что он может получить доступ только к разрешенной информации. Это делается с помощью управления доступом. Управление доступом определяет, какие пользователи имеют право читать, изменять, добавлять или удалять информацию. Существует несколько различных моделей контроля доступа. К наиболее распространенным относят список управления доступом (access control list (ACL)) и управление доступом на основе ролей (role based access control (RBAC)).

Для каждого информационного ресурса, которым организация управляет, можно создать список пользователей, имеющих возможность выполнять определенные действия (модель ACL). Для каждого пользователя назначаются определенные функции, такие как чтение, запись, удаление или добавление. В соответствии с предоставленными возможностями пользователи могут выполнять эти действия. Если пользователя в списке нет, то он не имеет доступа к информационному ресурсу совсем.

ACL просты для управления и понимания, но, тем не менее, у них есть несколько недостатков. Основным недостатком является то, что каждый информационный ресурс управляется отдельно, поэтому, если администратор безопасности захочет добавить или удалить пользователя не в одном, а сразу в нескольких ресурсах, то это будет очень сложно. Также по мере увеличения числа ресурсов и их пользователей, список управления доступом становится все сложнее управлять.

Эти недостатки привели к созданию усовершенствованного метода управления доступом, называемого управлением доступом на основе ролей (RBAC). С помощью модели RBAC вместо предоставления пользователям прав доступа к информационному ресурсу по отдельности пользователям присваиваются роли, а каждая роль наделяется определенными правами доступа. Это позволяет администраторам управлять пользователями и ролями отдельно, упрощая администрирование и повышая безопасность ввиду того, что в этой модели вероятность предоставления пользователю не предназначенных ему прав по ошибке администратора ниже.

Наибольшую уязвимость имеет информация, передаваемая через глобальную сеть, а также на внешних носителях. В этих случаях возрастает вероятность несанкционированного доступа к данным. Одним из путей решения проблемы несанкционированного доступа в этом случае является использование шифрования. Шифрование выполняется компьютерной программой, которая кодирует передаваемую информацию, а получатель декодирует её. Для того чтобы такой способ защиты данных работал, отправитель и получатель должны договориться о методе кодирования, чтобы обе стороны могли иметь достоверную и полную информацию. Обе стороны совместно используют ключ шифрования, что позволяет им кодировать и декодировать сообщения друг друга. Это называется симметричным шифрованием ключа. Этот тип шифрования является проблематичным, поскольку ключ для дешифровки доступен сразу в двух разных местах.

Альтернативой симметричному шифрованию ключа является шифрование с помощью открытого ключа (асимметричное шифрование). Этот способ использует два ключа: открытый и закрытый. В этом случае на первом этапе генерируется случайный закрытый ключ и по определенному алгоритму подбирается к нему другой – открытый ключ. Оба ключа формируются получателем информации. Для зашифрования необходим лишь открытый ключ, расшифровать же сообщение возможно лишь с помощью закрытого ключа. Одним из вопросов, которые необходимо решить при асинхронном шифровании, является обеспечение аутентичности открытых ключей.

Кроме того, существующие асимметричные алгоритмы заметно проигрывают по скорости симметричным криптосистемам. Целесообразность применения криптосистем того или иного типа (или их комбинации) определяется теми условиями, в которых их предполагается использовать [2, 3].

Таким образом, ни один из методов не лишен недостатков, поэтому на практике следует их комбинировать.

#### Литература

1. Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Утв. президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам протокол от 24 декабря 2018 г. N 16.

2. Никифоров С.Н. Методы защиты информации. Пароли, скрытие, шифрование: учеб. пособие / С.Н. Никифоров. – СПб: Лань, 2019. – 124 с.

3. Петренко В.И. Защита персональных данных в информационных системах. Практикум: учеб. пособие / В.И. Петренко, И.В. Мандрица. – СПб: Лань, 2019. – 108 с.

УДК 681.12

#### **Результаты экспериментальных исследований поляризационного низконапорного преобразователя импульсных расходов**

Таранов Андрей Александрович, студент направления  
«Управление в технических системах»;

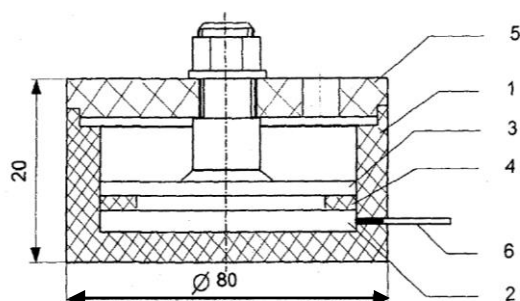
Фролова Марина Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Информатика и управление в технических системах»

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*В статье приведены результаты экспериментальных исследований поляризационного низконапорного преобразователя импульсных расходов. Получены статические характеристики поляризационного низконапорного преобразователя импульсных расходов, определен коэффициент зависимости плотности заряда, обусловленного поляризацией диэлектрика от объема жидкости, прошедшей через преобразователь расхода.*

Автоматизация производственных процессов является существенным условием повышения производительности труда и улучшения качества производства. Одними из важнейших параметров, которые подвергаются автоматизированному контролю, являются скорость и объём рабочих жидкостей, что приводит к необходимости повсеместного внедрения и совершенствования систем автоматического контроля, регулирования и управления потоками технологических жидкостей.

При внедрении в производство импульсного способа подачи возникает задача измерения объёма жидкости в единичном импульсе. Одним из путей решения данной задачи является использование для измерения расхода поляризационного низконапорного преобразователя импульсных расходов [1]. Конструкция преобразователя расходов представлена на рис. 1 [2].



*Рис. 1. Поляризационный низконапорный преобразователь импульсных расходов: 1 – корпус кюветы; 2, 6 – измерительные электроды; 3 – рабочий электрод; 4 – распорное кольцо; 5 – крышка*

Исследования проводились на гидростенде, представляющем собой замкнутый гидравлический контур. При исследованиях фиксировался объём жидкости в начальный и конечный момент импульса с помощью фотодатчиков. Фотоэлементы включены в цепи пороговых устройств, производящих запуск и остановку электрического секундомера. Изменение давления фиксировалось манометрами, установленными на входе и выходе поляризационного низконапорного преобразователя импульсных расходов. Величина напряжения, подаваемого на рабочий электрод с высоковольтного источника, изменялась в интервале от 0 до 25 КВ. Фиксировалась величина полного тока, получаемая на измерительном электроде, с помощью пишущего микроамперметра.

Эксперименты проводились для конструкций с различными типами электродов, величиной давления, расстоянием между электродами и типами технологических жидкостей. По экспериментальным значениям была получена статическая характеристика поляризационного низконапорного преобразователя импульсных

расходов, представляющая собой зависимость плотности заряда, обусловленного поляризацией диэлектрика от объема жидкости, прошедшей через преобразователь расхода. Расчетные значения представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований поляризационного  
низконапорного преобразователя импульсных расходов

Условия эксперимента	W, м <sup>3</sup> ×10 <sup>-4</sup>	Q/S, Кл/м <sup>2</sup> ×10 <sup>-4</sup>
Технологическая жидкость ГК – 213252, U=6 кВ, d=4 мм	2	0,2
	4	0,45
	6	0,6
	8	0,8
	10	1
Технологическая жидкость ГК – 213252, U=6 кВ, d=2 мм	2	0,4
	4	0,6
	6	0,9
	8	1,2
	10	1,6
Технологическая жидкость ГК – 213252, U=8 кВ, d=4 мм	2	0,6
	4	1,2
	6	1,8
	8	2,2
	10	3
Технологическая жидкость ГК – 213252, U=8 кВ, d=2 мм	2	0,85
	4	1,8
	6	2,7
	8	3,65
	10	4,5

Статические характеристики поляризационного низконапорного преобразователя импульсных расходов представлены на рис. 2, 3. На рис. 2 приведены статические характеристики для условий: технологическая жидкость ГК – 213252, U=6 кВ, на рис. 3 для условий: технологическая жидкость ГК – 213252, U=8 кВ.

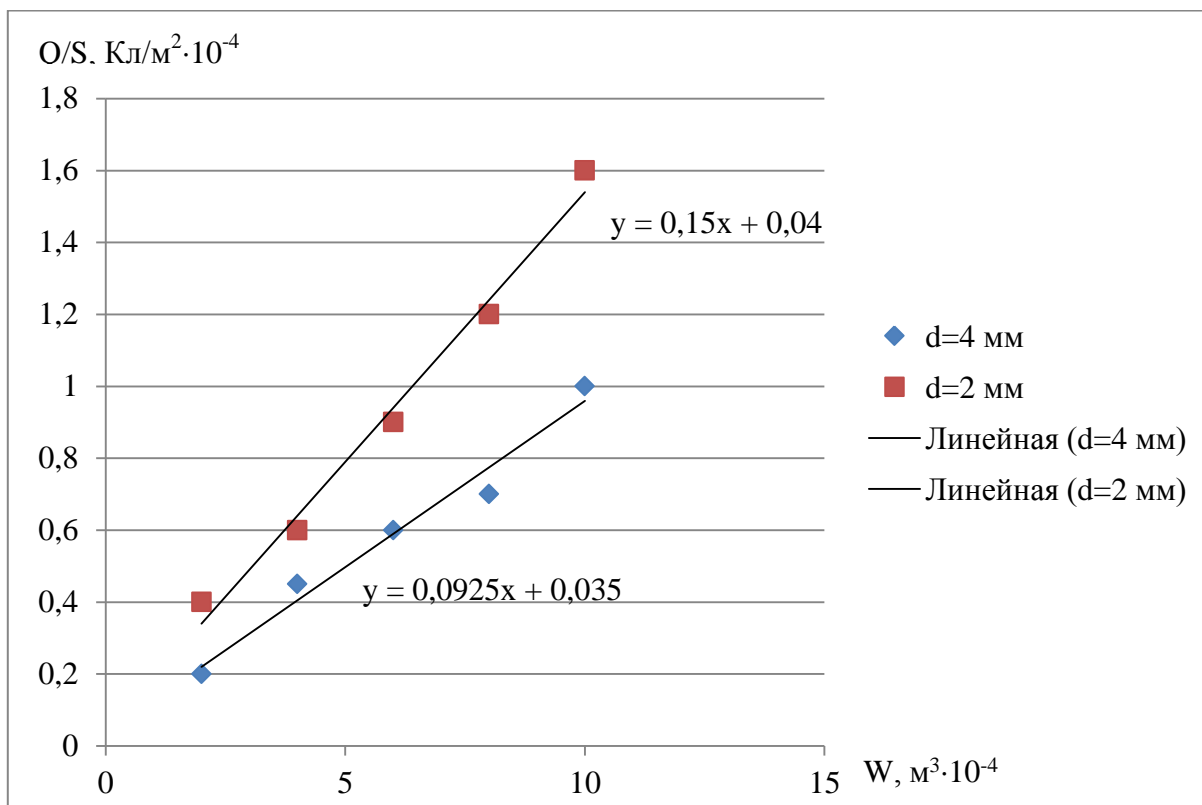


Рис. 2. Статические характеристики поляризационного низконапорного преобразователя импульсных расходов для  $U=6$  кВ

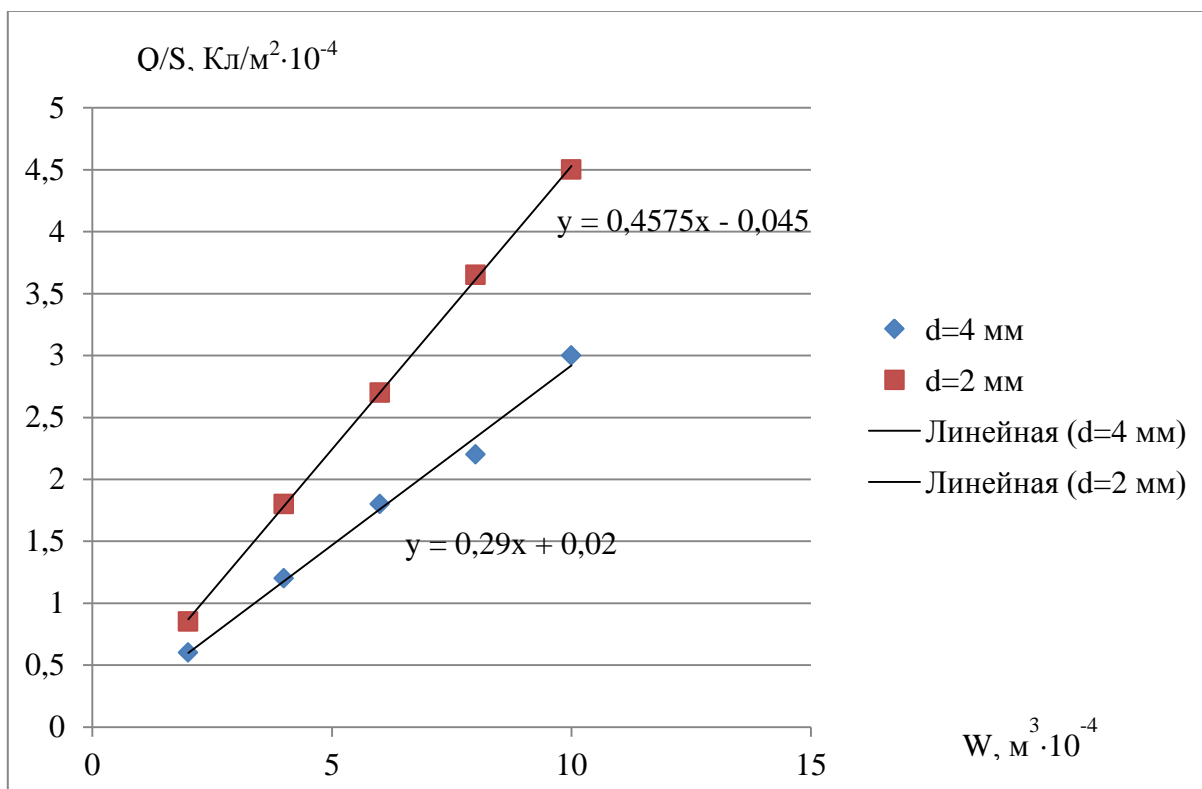


Рис. 3. Статические характеристики поляризационного низконапорного преобразователя импульсных расходов для  $U=8$  кВ

Для расчетных значений с помощью метода наименьших квадратов был рассчитан коэффициент корреляции. В результате были получены значения коэффициента корреляции близкие к 1, что говорит о наличии сильной связи между плотностью заряда, обусловленного поляризацией диэлектрика и объемом жидкости, прошедшей через преобразователь расхода. Для полученных характеристик были построены линейные модели и рассчитан коэффициент зависимости:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i^2},$$

где Q – заряд, Кл; W – расход, м<sup>3</sup>.

Полученные значения коэффициента пропорциональности при напряжении 6 кВ составят 0,2, а при напряжении 8 кВ – 0,5.

Данные, полученные в результате экспериментальных исследований поляризационного низконапорного преобразователя импульсных расходов, показывают, что между плотностью заряда, обусловленного поляризацией диэлектрика и объемом жидкости, прошедшей через преобразователь расхода, существует зависимость. Это позволяет использовать поляризационный низконапорный преобразователь импульсных расходов для измерения объема технологической жидкости в отдельном импульсе.

#### Литература

1. Фролова М.А. Управление подачей технологических жидкостей в автоматизированном оборудовании на базе поляризационного низконапорного преобразователя импульсных расходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук (15.13.07 – автоматизация технологических процессов и производства) / М.А. Фролова; рук. работы В.В. Власов. – СГТУ, Саратов, 2000. – 151 с.

2. Максимова Е.А. Обоснование конструкции поляризационного низконапорного преобразователя импульсных расходов / Е.А. Максимова, М.А. Фролова // VII-я Международная молодежная научная школа-конференция «Современные проблемы физики и технологий». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2018. – С. 309-310.