

# СБОРНИК ТРУДОВ

ХІ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
И ПУТИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ,  
ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

ТОМ I

Балаково 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
Балаковский инженерно-технологический институт

# **СБОРНИК ТРУДОВ**

**XI МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
И ПУТИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ,  
ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

**ТОМ 1**

Балаково 2025

УДК 621.311, 677, 620.9

ББК 31.4+35.71+31.19

С23

Сборник трудов XI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий», (17 апреля 2025 года). – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2025. – Т.1. – 256 с.

Сборник содержит статьи по итогам докладов, включенных в программу XI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий», состоявшейся 17 апреля 2025 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. Ефремова,  
Э.Ф. Кочеваткина, В.М. Меланич, О.Н. Михайлова, Г.В. Очкур,  
Н.М. Чернова, А.А. Щеголева, Н.Н. Устинова.

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

Статьи получены до 31 мая 2025 года. Статьи сборника издаются в авторской редакции.  
ISBN ISBN 978-5-7262-3216-4

© Балаковский инженерно-технологический  
институт (филиал)  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», 2025

Подписано в печать 30.12.2025. Формат 60x84 1/16  
Печ. л. 16. Изд. № 012-2. 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

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

#### **СЕКЦИЯ 1**

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

**БАТИЩЕВ И.Ю., КИРИЧЕНКО А.В., ЕФРЕМОВА Т.А.**

Разработка энергосберегающей системы управления освещением 8

**БЕЛОПАХОВА А.А., ГРИЦЮК С.Н.**

Системы автоматического дозирования жидкостей 12

**ГАЛАГАН Д.А., КРАСНОЛУДСКИЙ Н.В.**

Перспективы применения пневмодвигателей в современной технике 17

**ЖИГАЛИНА Ю.В., ПИЛИПЕНКО И.П., ЩЕГОЛЕВ С.С., МОТКОВ А.Г.**

Разработка конструктора социологических опросов с индивидуальными траекториями 22

**ИГОНИНА Ю.М., КУЗНЕЦОВ А.О., БОБЫЛЕВ А.В., КОЗЛОВ А.В.,  
ТОКАРЕВ А.С.**

Создание имитационной 3Д-модели трубогибного станка 27

**КИРИЧЕНКО А.В., МЕФЕДОВА Ю.А.**

Использование Codesys для разработки виртуальных лабораторных работ 30

**КНЯЗЕВ А.А., ЕФРЕМОВА Т.А.**

Разработка учебного стенда для диагностики электродвигателей 36

**КОРОБЕЙНИКОВ С.А.**

Модернизация основного тепломеханического оборудования реакторного отделения с применением терморасширенного графита 40

**КОСТИН Д.А., КУДАШЕВА И.О., ПОЛЫНИНА Д.В., ДОЛГОВ Д.Д.**

Обеспечение энергоснабжения автономного полевого лагеря с помощью альтернативных источников энергии 45

**КРАПИВКО Е.Н., ЕРМИЛОВ И.В.**

Достоверность оценки диагностических параметров при проверке электроприводной арматуры атомной электростанции 52

**НИКУЛИНА Е.Н., ЛАРИН Е.А.**

Методические положения расчета системной топливной эффективности комбинированных гибридных установок на базе топливных элементов	57
<b>НИКОНОВ А.А., ГРИЦЮК С.Н.</b>	
Современные процессорные архитектуры	62
<b>БОГАЧЕВ Г.В., ПУЗЫНЯ К.Ю., ЯКОВЛЕВА П.С.</b>	
Создание прототипа протеза рук	68
<b>ПУСТЫННИКОВ А.А.</b>	
Применение системного анализа в управлении атомными электростанциями	71
<b>РАЗУВАЕВ А.В., АКИНФИЕВА А.А.</b>	
Оценка экономической эффективности применения многофункционального энергетического комплекса	75
<b>РАЗУВАЕВ А.В., УСТИНОВ Н.А., ТОЛОКОННИКОВ М.А.</b>	
Предпусковой прогрев паровых машин	79
<b>САХАРОВ А.С., ГАРИЕВСКИЙ М.В.</b>	
Сравнительная оценка способов повышения номинальной мощности АЭС с ВВЭР-1200 с учетом запаса до кризиса теплообмена в активной зоне	83
<b>СИНИЦЫН И.А., ПИЛЬЧУК Д.С., БАЛАНДИН П.С.</b>	
Применение пьезоэлектрических датчиков для диагностики биения подшипников и повышения надежности оборудования	89
<b>ТАБАКОВА Е.Д., МЕФЕДОВА Ю.А.</b>	
Разработка модели теплообменника планового расхолаживания энергоблока ВВЭР-1000	95
<b>УСТИНОВ Н.А.</b>	
О предельной мощности пароутилизационных машин	99
<b>ХОЛОДОВА В.П., КОРНИЛОВА Н.В.</b>	
Роль промышленных роботов в автоматизации производства	104
<b>ЧИГАРЕВ Т.А., РОСТУНЦОВА И.А., НОВИЧКОВ С.В.</b>	
Термодинамическое исследование адиабатической системы аккумулирования энергии сжатым воздухом (А-ВАЭС) для когенерации энергии	108
<b>ЭЛЕМБАЕВ М.В., МЕФЕДОВА Ю.А.</b>	
Моделирование системы регенерации высокого давления АЭС в среде SimInTech.	113

## СЕКЦИЯ 2

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

**БУЗИК Т.Ф.**

Проектирование структурных параметров углеродных тканых полотен композитного назначения с применением информационных технологий 118

**ВИШТАК Н.М., ГРАЧЕВ В.А.**

Разработка интерфейса образовательного чат-бота на react 123

**ВИШТАК О.В., РАФИКОВ Р.Ш.**

Интерфейс игрового приложения «Миссия Луна. Режим колонизации» 128

**ДЕДУХ М.С., ВИШТАК Н.М.**

Фиджитал-игры: преимущества и перспективы 134

**ЕФРЕМОВ Р.В., КОРНЕЕВ А.С.**

Эволюция архитектурных стилей при разработке информационных систем 140

**ЕФРЕМОВ Р.В., КИСЛИНСКАЯ А.А.**

Этичный хакинг: исторический аспект 145

**ЗУБОВА Н.В., КОЛЕСОВА А.О., НАЗАРОВА Е.Р.**

Система 1С: Университет: как инструмент современного образовательного процесса 150

**ЛЫСЯКОВ М.С., ШТЫРОВА И.А.**

Способы реализации микрофронтендной архитектуры в современных веб-приложениях 154

**МИХЕЕВ И.В., КУПЦОВ Д.О.**

ReactJS – актуальный инструмент в разработке веб-сервисных приложений 158

**МИХЕЕВ И.В.**

Разработка и ключевые особенности программной реализации нейросетевой модели для многокритериальной оценки качества программных продуктов 162

**НАРАНОВИЧ О.И., ПАШКЕВИЧ М.Ю.**

Клиент-серверное приложение для построения аппроксимирующих функций с использованием нейронной сети 171

**ОЧКУР Г.В., МАЩЕНКО П.Н.**

Обзор программного обеспечения для чтения электронных книг 175

**ОЧКУР Г.В., НИКИФОРОВ Д.Д.**

Разработка backend-решений для образовательных игр на Java 182

**ПОЯРКИНА К.И., КОРНИЛОВА Н.В.**

Блокчейн-технологии в управлении данными и образовании 186

**ВИШТАК О.В., РЫБАЛКО Т.Е.**

Применение принципов когнитивной психологии при разработке интерфейсов 190

**ШТЫРОВ Г.С.**

Применение игровых технологий при обучении робототехнике 196

**ШТЫРОВА И.А., ЗАБРОДИН М.Д.**

Реализация функциональных возможностей web-приложения для синтеза речи 200

**СЕКЦИЯ 3**

**«ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»**

**ЗЕМЛЯНСКИЙ А.А., ЗЕМЛЯНСКИЙ К.А., ДРОБАХИН Н.А.**

Инновационные методы строительства Балаковской АЭС и особенности возведения фундаментной плиты РО на слабых водонасыщенных грунтах 206

**ЗЕМЛЯНСКИЙ А.А., ЗЕМЛЯНСКИЙ К.А., ДРОБАХИН Н.А.**

Инновационные системы мониторинга технического состояния уникальных зданий и сооружений и методы активного управления уровнем их эксплуатационной надежности 217

**ИВАНОВА Т.А., БУРЯК А.А.**

Особенности проектирования высотных зданий в условиях Краснодарского края 230

**ПОПОВА Н.А.**

Возрождение храма Святой Троицы в Балаково 237

**ПОПОВА Н.А.**

Шехтелевское наследие в интерьере храма Святой Троицы в Балаково 244

**РАЩЕПКИНА С.А., ПОПОВА В.Н., ПУЗИКОВА А.А.**

Краткий обзор и особенности проектирования купольных покрытий зданий и сооружений 249

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

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

УДК 519.876.2

**Разработка энергосберегающей системы управления освещением**

Батищев Иван Юрьевич, студент специальности «Атомные станции:

проектирование, эксплуатация, инжиниринг»;

Кириченко Алексей Владиславович, студент специальности «Атомные станции:

проектирование, эксплуатация, инжиниринг»;

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 статье рассматривается разработка энергосберегающей системы управления освещением на основе тензодатчика. Описывается принцип работы системы, её преимущества по сравнению с существующими аналогами, такими как системы с принудительным отключением, автоматической регулировкой и датчиками движения. Приведены недостатки этих систем. Представлена схема проектируемой системы и перечень необходимого оборудования. Подчеркивается, что предлагаемая система обеспечивает оптимизацию потребления электроэнергии, снижение расходов и повышение комфорта пользователей.*

В настоящее время нельзя представить мир без новых технологий, на данный момент существует множество вспомогательных систем обеспечения автономной и автоматизированной работы «умных домов». Интеллектуальная сеть управления светом обеспечивает необходимый уровень освещенности в нужное время и в нужном месте. Данный тип систем широко востребован как в коммерческих, так и в жилых зданиях. Данные системы необходимы для оптимизации потребления электроэнергии, снижения расходов электричества и повышения комфорта пользователей. Системы позволяют регулировать интенсивность света в зависимости от времени суток, присутствия людей и уровня естественного освещения.

В работе проведена разработка вспомогательной энергосберегающей системы управления освещением на базе тензодатчика.

Главной составляющей тензодатчика является тензорезистор, состоящий из тонкой проволочной структуры, нанесенный на диэлектрическую подложку. Когда на тензодатчик воздействует сила, подложка деформируется, а вместе с ней и тензорезистор. Созданная силой нажатия деформация приводит к изменению сопротивления, вследствие чего происходит разбалансировка моста и появляется напряжение, пропорциональное приложенной нагрузке.

Основным преимуществом разрабатываемой системы управления освещением является то, что датчик будет запрограммирован на определенное время освещения и будет реагировать на определенный весовой диапазон, что позволит предотвратить случайное включение света при нахождении в доме или на территории использования данной системы [3].

На сегодняшний день существует несколько аналогов систем с принудительным отключением света. Чувствительным элементов таких систем является фоторезистор или фотодиод, который измеряет уровень освещенности окружающей среды. Когда уровень освещенности падает ниже определенного порога, включается освещение.

Системы освещения с автоматической регулировкой регулируют яркость освещения в зависимости от условий внешней освещенности. Они также используют фоторезисторы или фотодиоды для измерения уровня освещенности. Могут плавно изменять яркость света, чтобы компенсировать изменения внешнего освещения [1].

Системы освещения с датчиками движения включают свет только тогда, когда обнаруживается движение в зоне покрытия. Они широко применяются в бытовых и коммерческих помещениях для экономии электроэнергии. Инфракрасный датчик движения фиксирует тепловое излучение движущихся объектов, когда объект входит в зону обнаружения, сигнал от инфракрасного сенсора активирует реле, которое включает освещение. После прекращения движения через определенное время (обычно несколько минут) свет автоматически выключается.

Предпосылками для разработки системы управления освещением на базе тензодатчика являлось то, что все вышеперечисленные системы имеют ряд недостатков, сравнительный анализ предложен в таблице 1.

Недостатки систем управления освещением

Система	Недостатки
Система освещения с принудительным отключением	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Зависимость от внешних факторов;</li> <li>2. Отсутствие гибкости;</li> <li>3. Задержка срабатывания;</li> <li>4. Погодные условия;</li> <li>5. Неустойчивость к механическим повреждениям.</li> </ol>
Система освещения с автоматической регулировкой	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сложность настройки;</li> <li>2. Высокая стоимость;</li> <li>3. Необходимость регулярного обслуживания;</li> <li>4. Погодные условия;</li> <li>5. Неустойчивость к механическим повреждениям.</li> </ol>
Система освещения с датчиком движения	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ложное срабатывание;</li> <li>2. Ограниченный угол обзора;</li> <li>3. Проблема с длительной неподвижностью;</li> <li>4. Погодные условия;</li> <li>5. Неустойчивость к механическим повреждениям;</li> <li>6. Частые включения/выключения.</li> </ol>

Схема проектируемой системы представлена на рис. 1.

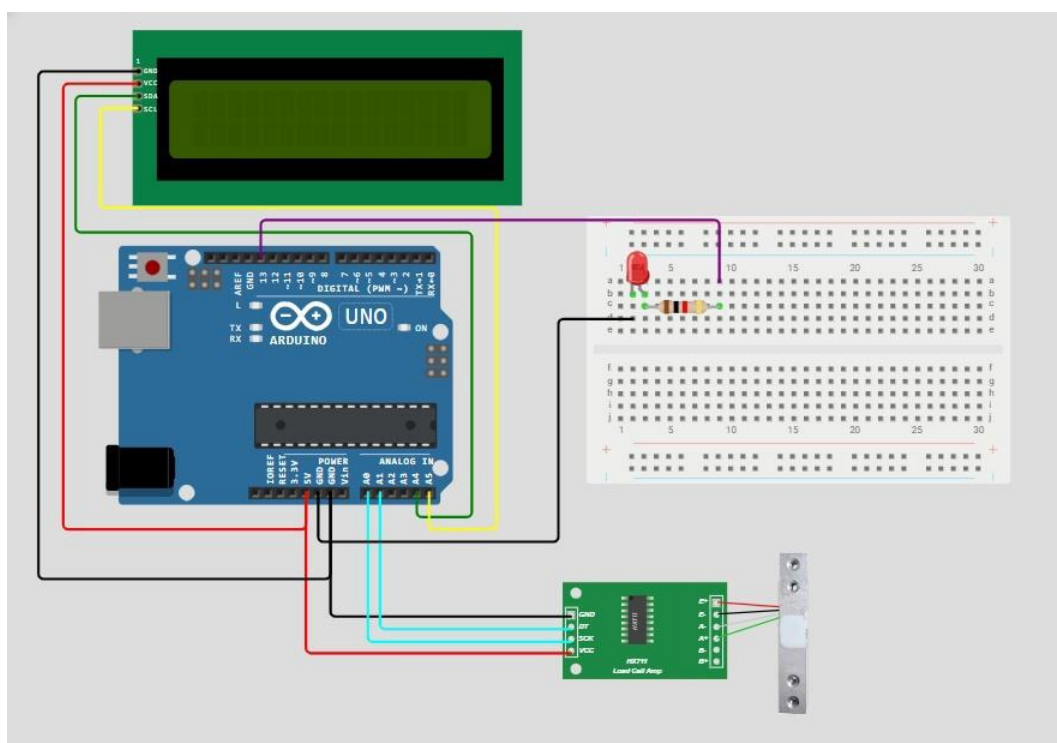


Рис. 1. Схема энергосберегающей системы управления освещением

Основной особенностью системы является то, что ее чувствительный элемент находится под поверхностью настила (плитка, ламинат). Срабатывание датчика будет происходить в тот момент, когда человек наступит на данную поверхность [2].

Система будет обеспечивать оптимизацию потребления электроэнергии, снижение расходов электричества и повышение комфорта пользователей в различных помещениях. Алгоритм работы разрабатываемой системы представлен на рисунке 2.

Прототип энергосберегающей системы управления освещением состоит из компонентов, представленных в табл. 2.

Перечень оборудования энергосберегающей системы

Тип устройства	Напряжение питания, В	Рабочее напряжение, В	Назначение
Модуль АЦП	5,5–6	5	Преобразование величины в электрический сигнал
Тензодатчик	5	5–10	Преобразование механического напряжения в электрический сигнал
LCD дисплей	5	5	Вывод текста, изображений, графиков и анимации
Arduino Uno R3 микроконтроллер	5	6–20	Прототипирование устройств
Соединительные провода	-	-	Соединение компонентов устройства
Светодиод	2	2	Индикация и проверка работы системы
Монтажная плата	-	-	Установка и соединение элементов

Блок-схема алгоритма работы управляющей программы (рис. 2).

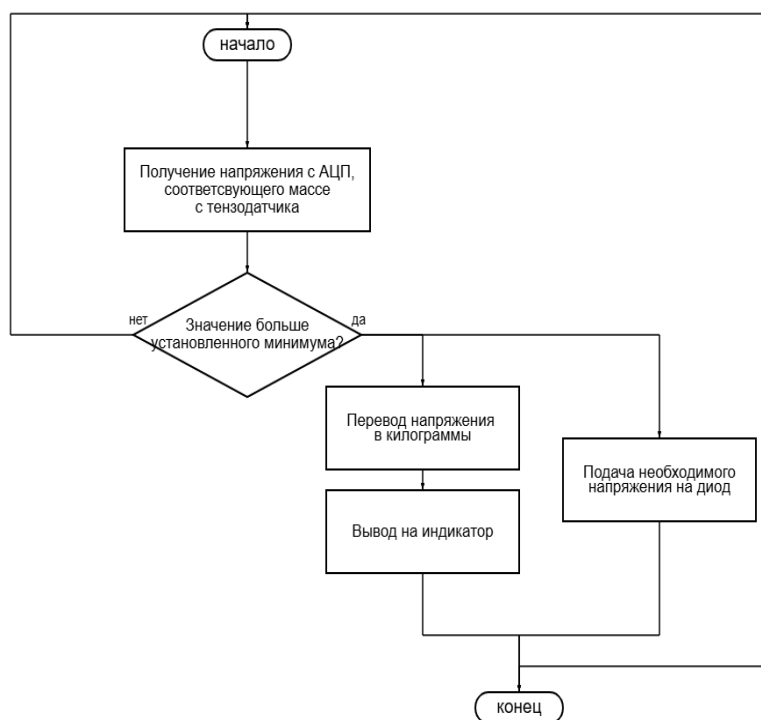


Рис. 2. Блок-схема алгоритма работы управляющей программы

Представленный прототип демонстрирует возможность создания эффективной и надежной системы управления освещением, адаптированной к различным условиям эксплуатации. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию алгоритмов работы и расширение функциональности системы.

#### Литература

1. Петин, В.А. Практическая энциклопедия Arduino / А.А. Биняковский, В.А. Петин. – Москва : Изд-во «ДМК Пресс», 2017. – 152 с.
2. Драмарецкий, Д. П. Применение набора ARDUINO для моделирования и изучения физических процессов / Д. П. Драмарецкий // Молодой ученый. – 2022. – №

26 (421). – С. 236-238.

3. Блум, Д. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства / Д. Блум. – Санкт-Петербург : Изд-во «БХВ-Петербург», 2015. – 336 с.

УДК 681.52

### **Системы автоматического дозирования жидкостей**

Белопахова Алиса Алексеевна, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»

Грицюк Светлана Николаевна, 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 статье рассмотрены виды и методы дозирования, приведены типы автоматических дозаторов, одноканальные и многоканальные электронные дозаторы. Представлен пример системы автоматического дозирования жидкостей.*

Дозаторы - устройства, которые автоматически отмеряют заданную массу или объем жидкости, или сыпучего материала. Весовые устройства используются в производстве строительных материалов, металлургии, химической, пищевой, фармацевтической и других отраслях промышленности, на железных дорогах, в судоходстве, на речном транспорте, в лабораториях и торговле. Материал, подаваемый в весовой прибор, может быть гравиметрическим, который взвешивает в единицах массы (кг), или объемным, который взвешивает в единицах объема ( $m^3$ ) [1].

Как весовые, так и объемные дозаторы могут работать циклически (дискретно) и непрерывно, с ручным и автоматическим управлением. Выбор типа дозатора определяется характером технологического процесса и свойствами материала. Периодические дозаторы в основном используются в технологических процессах, где оборудование располагается на высоте, а непрерывные дозаторы - в процессах, где оборудование располагается горизонтально, а материал подается конвейерами.

В зависимости от требований технологического процесса однокомпонентные дозаторы используются для непрерывного порционного дозирования одного вида материала, а многокомпонентные - для непрерывного порционного дозирования нескольких сыпучих материалов или жидкостей. Многокомпонентные дозаторы могут автоматически поддерживать или компенсировать пропорции материалов в

соответствии с заданной программой. Дозаторы с индивидуальным управлением обычно имеют бункерный тип, а дозаторы с непрерывным управлением – бункерного и ленточного типа [1].

На рисунке 1 представлена классификация дозаторов, применяемых в системах автоматического дозирования.

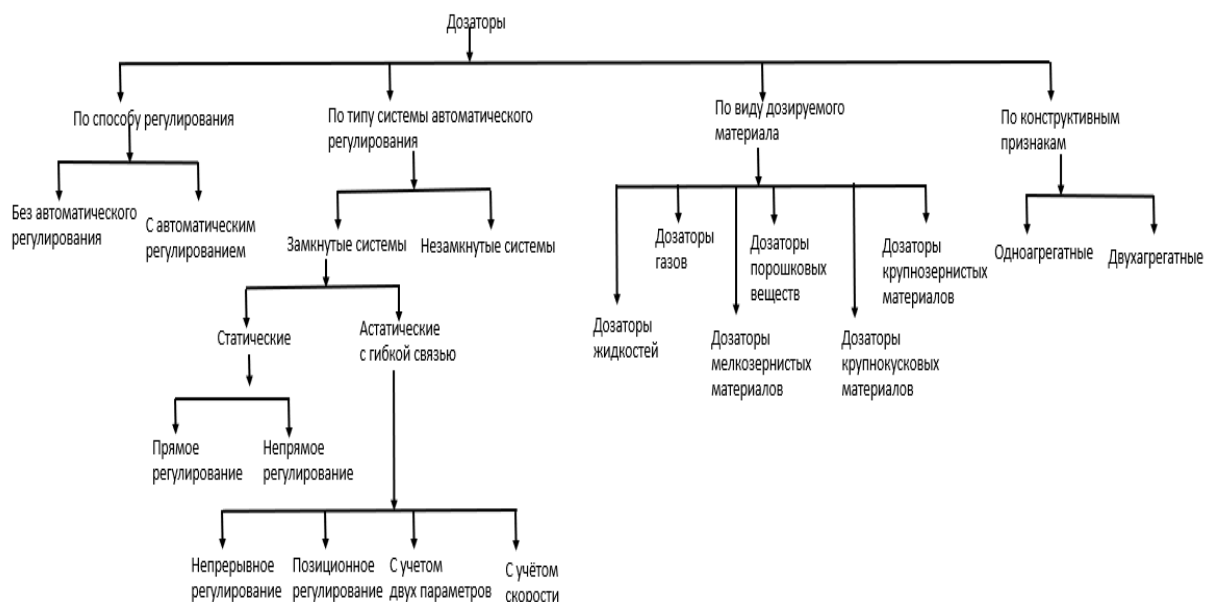


Рис. 1. Классификация дозаторов

Весовые и автоматические дозаторы - это комплексы, состоящие из датчика контроля массы, автомата для подачи материала и системы автоматического управления дозой или массовым расходом. Основные элементы весового дозатора: объемный дозатор, выполняющий роль питателя, грузоприемные и измерительные устройства (датчики), системы регистрации и настройки, исполнительные механизмы.

В зависимости от принципа действия весовые дозаторы могут быть гравитационными (обычно воронки) без принудительной подачи, либо с принудительной подачей с помощью конвейеров, таких как ленточные, винтовые и дисковые, или насосов, таких как плунжерные и шестеренные.

Почти все дозаторы, применяемые в системах автоматического управления, используют один из методов:

- метод прямого дозирования - жидкость сначала заполняется до точно определенного объема, а затем извлекается из этого объема;
- метод обратного дозирования - жидкость заполняет больший объем, а затем строго определенный объем жидкости извлекается из устройства [1].

Автоматические дозаторы представляют собой дозаторы поршневого типа. Принцип их действия основан на вытеснении жидкости воздухом. Дозирование

осуществляется за счет движения поршня в дозирующем цилиндре.

Автоматические дозаторы можно разделить на два типа: с фиксированным и переменным объемом. Если ограничитель хода поршня жестко зафиксирован, дозатор может дозировать только фиксированный объем. Дозаторы переменного объема имеют шкалу объема, на которой устанавливается необходимое значение. В современных моделях заданный объем отображается в цифровом окне, а одна из пробок подвижна и может перемещаться с помощью специального устройства для увеличения или уменьшения длины хода поршня, что позволяет регулировать дозируемый объем. Как правило, поршень имеет два уровня фиксации: первый - для дозирования необходимого объема, второй - для всасывания/выведения неконтролируемого количества жидкости. Современные дозаторы могут быть механическими или электронными.

Следует отметить, что первичная калибровка автоматизированных дозирующих систем проводится на заводе-изготовителе, после чего они доступны для реализации. Лабораторная калибровка должна проводиться в дистиллированной воде при температуре  $+22^{\circ}\text{C}$ , для калибровки необходимы аналитические весы с высокой точностью.

Механические дозаторы имеют два основных метода дозирования: прямое и обратное дозирование. Другие методы являются производными от основного метода и реализуются только в электронных дозаторах.

Дозаторы прямого дозирования подходят в основном для водных растворов. Обратное дозирование устраняет недостатки прямого дозирования, связанными с остатками жидкости в наконечнике и идеально подходит для вязких или пенистых жидкостей, а также при дозировании малых объемов [1].

Далее будут рассмотрены режимы дозирования, реализуемые только в электронных дозаторах.

Наиболее распространенным методом дозирования, используемым в лаборатории, является дисперсинг (многократное дозирование). В этом случае общий объем жидкости дозируется один раз, а затем тот же объем жидкости дозируется последовательно. Этот метод значительно повышает производительность.

Метод дозирования различных объемов в любом порядке после дозирования одного набора общего объема жидкости называется многократным последовательным дозированием различных объемов. Он значительно облегчает приготовление многочисленных серийных разведений в биохимических, иммунологических и микробиологических исследованиях.

Метод непрерывного забора жидкости и дозирования после достижения общего

объема называется множественной аспирацией равных объемов жидкости.

Автоматический дозатор изготавливается из современного высококачественного пластика, устойчивого к химически активным средам, и может работать с широким спектром жидкостей, включая растворы и концентраты. Пластиковые наконечники, установленные на выходной конус дозатора, являются одноразовыми и могут быть заменены в зависимости от диапазона объемов дозирования [3].

Одноканальные механические дозаторы постоянного объема используются для работы с жидкостями постоянного объема. Дозаторы фиксированного объема являются недорогими устройствами и отвечают оптимальному соотношению цены и качества.

Одноканальные дозаторы переменного объема - это универсальные инструменты для дозирования, которые можно использовать для более широкого спектра задач. Типичные диапазоны объемов: 0,5-10 мкл, 5,0-50 мкл, 50-200 мкл, 200-1000 мкл и 1-5 мл. Дозаторы переменного объема могут заменить набор дозаторов фиксированного объема.

Модели многоканальных механических дозаторов способны дозировать с теми же интервалами, что и одноканальные устройства, в типичном диапазоне от 0,5 до 5000 мкл. Стандартными являются 4-, 8- и 12-канальные дозаторы. Многоканальные механические дозаторы выпускаются с фиксированным или переменным объемом дозирования.

Дозаторы также можно разделить на две подгруппы: с фиксированным объемом и с переменным объемом [1].

В последнее десятилетие появились одноканальные и многоканальные электронные дозаторы, работающие по принципу вытеснения воздуха, при котором дозируемая жидкость отделяется от поршня воздушной прослойкой. Поршень дозатора приводится в движение электродвигателем, а его работа контролируется встроенным микропроцессором.

В то время как механические дозаторы могут использоваться только для рутинного дозирования, электронные дозаторы могут работать в таких режимах, как диспенсинг, разбавление и смешивание, причем параметры этих функций, заданные пользователем, хранятся в памяти специального программного устройства, что позволяет быстро выполнять рутинные процедуры. Современные электронные дозаторы имеют встроенную функцию перемешивания, регулируемые скорости дозирования и слива, а также автоматическую продувку наконечника.

При работе с функцией перемешивания дозатор начинает автоматически забирать жидкость в наконечник и сбрасывать ее обратно пока оператор удерживает

нажатой рабочую кнопку, учитывая сколько времени требует перемешивание раствора. Такой метод особенно полезен при приготовлении растворов, взвесей, эмульсий.

Присутствие функции регулировки скорости набора и сброса в электронном дозаторе позволяет работать с жидкостями различной вязкости.

Системы автоматического дозирования предназначены для управления непрерывным автоматическим дозированием жидкостей в автоматическом и дистанционных режимах с непрерывным контролем технологических параметров [3]. Автоматические дозирующие системы обеспечивают точную меру жидких продуктов или ингредиентов, исключая переливы или недоливы и предоставляют высокотехнологичные возможности для повышения эффективности процессов и стабильного качества конечных продуктов.

Системы автоматического дозирования жидкостей, как правило, основаны на использовании расходомеров, программных средств и устройств управления и предназначены для управления работой насосов, точного дозирования подаваемой жидкости и отображения показаний датчиков расхода [2].

В состав автоматических систем дозирования жидкостей входят следующие элементы: шкаф управления, расходомеры, электромагнитные клапаны, датчики давления, предназначенные для контроля давления в трубопроводе и предотвращения аварийных ситуаций. Специальное программное обеспечение позволяет задавать параметры закачки, включая объем дозы, запускать и останавливать дозирование, вести учет расхода жидкостей за определенные временные интервалы. Данные архивируются в устройстве управления и передаются в локальную сеть предприятия [3].

Функциональные возможности систем автоматического дозирования: управление работой насосных агрегатов; дозирование закачиваемой жидкости; автоматическая остановка насосов в случае превышения рабочего давления или возникновения аварийной ситуации; визуализация данных на панели управления, архивация данных.

Автоматические дозирующие системы предоставляют высокотехнологичные возможности для повышения эффективности процессов и стабильного качества конечных продуктов.

#### Литература

1. Глобин, А.Н. Дозаторы / А.Н. Глобин, И.Н. Краснов. – Москва : Директ-Медиа, 2016. – 385 с.
2. Топчеев, Ю.И. Атлас для проектирования систем автоматического регулирования / Ю.И. Топчеев. – Москва : Машиностроение, 1989. – 840 с.

3. Волошенко, А.В. Проектирование систем автоматического контроля и регулирования: учебное пособие / А.В. Волошенко, Д.Б. Горбунов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 108 с.

УДК 621.8, 681.5

### **Перспективы применения пневмодвигателей в современной технике**

Галаган Дмитрий Александрович, студент направления

«Электроэнергетика и электротехника»;

Краснолудский Николай Викторович, 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

*Статья посвящена рассмотрению факторов, влияющих на выбор между двумя типами приводов, области, где пневматика может превзойти электрику. Рассматривается актуальность применения пневмоприводов с датчиками положения, анализируются их преимущества и области применения, а также приводятся примеры из научной литературы.*

В эпоху стремительного развития технологий, где электроприводы кажутся повсеместными, идея замены их на пневмоприводы может показаться консервативной или даже устаревшей. Однако, в определенных ситуациях и областях применения, замена электропривода на пневмопривод может оказаться не только оправданной, но и стратегически выгодной.

Прежде чем рассматривать замену, необходимо отметить сильные стороны электроприводов:

- высокая точность управления – электроприводы обеспечивают превосходный контроль положения, скорости и момента;
- энергоэффективность – в большинстве случаев электроприводы более энергоэффективны, чем пневмоприводы;
- компактность – современные электроприводы могут быть очень компактными и легкими;
- простота интеграции – электроприводы легко интегрируются с современными системами управления и автоматизации.

Несмотря на очевидные преимущества электроприводов, существуют ситуации,

когда пневматика становится предпочтительным вариантом:

- взрывоопасные и пожароопасные среды – пневмоприводы не создают искр и не подвержены перегреву, что делает их безопасными для работы в таких условиях; Электроприводы требуют взрывозащищенного исполнения, которое существенно увеличивает их стоимость и сложность.
- высокие скорости и простые повторяющиеся движения – в задачах, требующих быстрых и простых перемещений, пневмоприводы часто оказываются быстрее и экономичнее электроприводов (пневмоцилиндры в упаковочных машинах, пневматические захваты на конвейерных линиях);
- высокая нагрузка при ограниченном бюджете – пневмоцилиндр, способный выдержать значительную нагрузку, может быть значительно дешевле электрического привода с аналогичными характеристиками;
- существующая пневмосеть – если на предприятии уже есть развитая сеть сжатого воздуха, использование пневмоприводов становится более экономичным, так как не требует дополнительных затрат на электропроводку и установку электрических шкафов управления;
- простота обслуживания и устойчивость к загрязнениям – пневмоприводы, как правило, проще в обслуживании и менее чувствительны к загрязнениям, чем электроприводы. Это особенно актуально в тяжелых условиях эксплуатации.

Примерами успешной замены электропривода на пневмопривод являются:

1. замена электрических актуаторов на пневматические в клапанах – в системах управления потоками газов и жидкостей, особенно в опасных зонах, замена электрических актуаторов на пневматические позволяет значительно повысить безопасность и снизить затраты на взрывозащиту;

2. замена электрических захватов на пневматические в роботах-манипуляторах – в задачах, требующих быстрого захвата и перемещения объектов небольшого веса, пневматические захваты могут быть более эффективными и экономичными, чем электрические;

3. замена электрических приводов в пневматических тормозных системах – в грузовом транспорте пневматические тормозные системы с пневматическими приводами остаются стандартом, обеспечивая высокую надежность и мощность торможения.

Перед заменой электропривода на пневмопривод необходимо тщательно проанализировать следующие факторы:

- требования к точности и управляемости – если требуется высокая точность

позиционирования и сложный алгоритм управления, электропривод, скорее всего, будет предпочтительнее;

- энергоэффективность – необходимо учитывать затраты на производство сжатого воздуха и сравнить их с затратами на электроэнергию. В долгосрочной перспективе более энергоэффективный электропривод может оказаться более выгодным;
- стоимость – необходимо учитывать стоимость самого привода, а также затраты на установку, подключение и обслуживание;
- условия эксплуатации – необходимо учитывать температурный режим, влажность, наличие взрывоопасных веществ и другие факторы, которые могут повлиять на выбор между электроприводом и пневмоприводом;
- наличие пневмосети: – наличие или отсутствие пневмосети существенно влияет на экономическую целесообразность использования пневмоприводов.

Замена электропривода на пневмопривод в современной технике – это не автоматический шаг назад, а обдуманное решение, основанное на тщательном анализе конкретной задачи и условий эксплуатации.

В конечном счете, выбор между электроприводом и пневмоприводом – это компромисс между различными факторами, и правильное решение может быть принято только на основе глубокого понимания особенностей конкретной задачи и возможностей обеих технологий.

Основными областями применения является транспортная техника (пневматические системы используются в тормозных системах грузовых автомобилей, автобусов и поездов) и медицинская техника (пневмоприводы применяются в медицинских аппаратах, таких как аппараты искусственной вентиляции легких и стоматологические установки).

Наряду со всем ранее рассмотренным материалом, в современной промышленности, характеризующейся высоким уровнем автоматизации и стремлением к повышению эффективности, пневматические приводы для соответствия современным требованиям к точности и управляемости, пневмоприводы все чаще оснащаются датчиками положения.

Основная задача датчиков положения в пневмоприводах – предоставление информации о текущем положении поршня или штока цилиндра. Эта информация используется для точного управления перемещением, контроля скорости и усилия, а также для диагностики состояния привода.

По мнению Т.М. Башта, «применение датчиков положения в пневматических системах значительно расширяет возможности управления и контроля, позволяя

реализовывать сложные алгоритмы автоматизации» [1].

Датчики положения позволяют производить:

- точное позиционирование – обеспечивают высокую точность остановки поршня в заданных точках;
- контроль скорости – позволяют регулировать скорость перемещения поршня для оптимизации производственных процессов;
- обратную связь – предоставляют информацию о текущем состоянии привода для системы управления;
- диагностику – позволяют выявлять неисправности и отклонения от нормы в работе привода.

На сегодняшний день существует несколько типов датчиков положения, используемых в пневмоприводах, каждый из которых обладает своими преимуществами и недостатками.

Магнитные датчики (герконы): обнаруживают магнитное поле, создаваемое магнитом, установленным на поршне. Просты в установке и эксплуатации, но имеют ограниченную точность.

Индуктивные датчики: измеряют изменение индуктивности катушки при приближении металлического объекта. Обеспечивают более высокую точность, чем магнитные датчики.

Магнитострикционные датчики: измеряют время распространения ультразвуковой волны в магнитострикционном материале. Обеспечивают высокую точность и надежность, но более дорогие.

Оптические датчики: используют луч света для определения положения поршня. Обеспечивают высокую точность, но чувствительны к загрязнениям.

Аналоговые датчики (потенциометры, LVDT): выдают аналоговый сигнал, пропорциональный положению поршня. Обеспечивают непрерывное измерение положения.

Шишкин А.В. отмечает: «Выбор типа датчика положения зависит от требований к точности, скорости и условиям эксплуатации пневмопривода» [2].

Пневматические приводы с датчиками положения находят широкое применение в различных отраслях промышленности: автоматизации производства, пищевой и фармацевтической промышленности, металлообработке, деревообработке и медицинской технике.

В статье В.И. Попова и др. подчеркивается: «Использование пневмоприводов с датчиками положения в автоматизированных системах позволяет повысить точность,

скорость и надежность производственных процессов» [3].

Использование пневмоприводов с датчиками положения предоставляет следующие преимущества:

- повышение точности и управляемости;
- улучшение качества продукции (минимизация брака и отклонений от нормы);
- оптимизация производственных процессов уменьшение (времени цикла и повышение производительности);
- уменьшение затрат на обслуживание (раннее выявление неисправностей и предотвращение аварий);
- интеграция с системами управления (возможность мониторинга и управления пневмоприводами в режиме реального времени).

В будущем можно ожидать дальнейшего развития пневмоприводов с датчиками положения в следующих направлениях:

- интеграция с технологиями искусственного интеллекта (ИИ);
- разработка новых типов датчиков положения (миниатюризация, повышение точности и надежности);
- расширение областей применения;
- развитие беспроводных датчиков положения упрощающих монтаж и обслуживание.

Лебедев Н.Н. отмечает: «Будущее пневматики – в интеграции с современными информационными технологиями и разработке интеллектуальных пневматических систем» [4].

Пневмоприводы продолжают играть важную роль в современной промышленности, благодаря своей надежности, простоте, экономичности и безопасности. Развитие интеллектуальных пневмоприводов, повышение их энергоэффективности и интеграция с цифровыми системами открывают новые перспективы для применения пневматики в автоматизированных производственных процессах. Несмотря на конкуренцию со стороны электрических приводов, пневмоприводы сохраняют свои преимущества в определенных областях и продолжают совершенствоваться, чтобы соответствовать требованиям современного мира. Применение пневмоприводов с датчиками положения является актуальным и перспективным направлением развития современной промышленности. Благодаря датчикам положения, пневматические приводы приобретают новые возможности в области точного управления, контроля и диагностики, что позволяет повысить эффективность, надежность и безопасность производственных процессов. Дальнейшее развитие технологий в этой области позволит расширить области применения

пневмоприводов с датчиками положения и интегрировать их с современными информационными системами.

#### Литература

1. Башта, Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. / Т.М. Башта. – Москва: Машиностроение, 1988. – 423 с.
2. Шишкин, А.В. Датчики в автоматизированных системах. / А.В. Шишкин. – Москва : Энергоатомиздат, 2005. – 254 с.
3. Попов, В.И. Автоматизация производственных процессов. / В.И. Попов, А.Н. Смирнов, П.С. Иванов. – Санкт-Петербург : Лань, 2010. – 244 с.
4. Лебедев, Н.Н. Интеллектуальные системы управления. / Н.Н. Лебедев. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 184 с.

УДК 004.584

#### **Разработка конструктора социологических опросов с индивидуальными траекториями**

Жигалина Юлия Васильевна, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

Пилипенко Илья Петрович, студент направления

«Информационные системы и технологии»;

Щеголев Сергей Сергеевич, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Атомная энергетика»;

Мотков Александр Геннадьевич, старший преподаватель

кафедры «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 рассматривается создание конструктора социологических опросов с индивидуальными траекториями для работников атомной отрасли, который позволит более точно оценивать показатели сотрудников, формировать развернутые психологические портреты и карты интересов. Конструктор будет представлен в виде Telegram-бота.*

В условиях стремительного развития технологий и изменяющегося характера труда социологические опросы становятся неотъемлемым инструментом для оценки различных аспектов профессиональной жизни сотрудников, особенно в высокотехнологичных отраслях, таких как атомная энергетика. Создание конструктора

социологических опросов с индивидуальными траекториями представляет собой инновационный подход, который позволит значительно повысить точность и информативность получаемых данных, а также формировать детализированные психологические портреты и карты интересов.

Основная цель работы заключается в повышении качественных показателей социологических опросов. Для достижения цели поставлена задача внедрения конструктора опросов, который позволит адаптировать вопросы под индивидуальные потребности респондентов. В результате станет возможно:

1. Оценить качество отдыха сотрудников и его влияние на производительность труда.
2. Выдать рекомендации по улучшению качества жизни, включая аспекты физического и психологического здоровья.
3. Определить возможные точки профессионального роста и карьерного развития.
4. Исследовать уровень социальной интеграции и командной работы среди сотрудников.
5. Проанализировать влияние рабочего окружения на удовлетворенность и вовлеченность персонала.

Telegram-бот – это специализированное программное обеспечение, разработанное для работы в мессенджере Telegram, которое автоматически выполняет определенные задачи и взаимодействует с пользователями через текстовые сообщения и команды. Telegram-боты могут выполнять разнообразные функции, включая автоматизацию процессов, предоставление информации, поддержку пользователей и многое другое.

Преимущества Telegram-ботов заключаются в следующем:

1. Доступность: Telegram-боты доступны на различных платформах (мобильные устройства, ПК), что делает их удобными для пользователей.
2. Легкость разработки: благодаря TelegramBot API разработка ботов становится доступной даже для начинающих программистов.
3. Высокая скорость взаимодействия: боты могут обрабатывать запросы пользователей мгновенно, что улучшает пользовательский опыт.

В ходе данной работы была разработана информационная система, которая представляет собой Telegram-бот, предназначенный для проведения социологических опросов среди выпускников технических вузов, работающих в атомной отрасли и смежных сферах. Главная задача системы - сбор и анализ информации об уровне

удовлетворенности работой и вовлеченности молодых специалистов. Ключевой особенностью является возможность адаптации содержания опроса в зависимости от ответов пользователя. Такой подход позволяет формировать индивидуальные траектории анкетирования, повышая точность, релевантность и полезность получаемых данных.

Бот позволит:

1. Автоматизировать процесс сбора данных.
2. Обеспечить удобный и интуитивно понятный интерфейс для пользователей, включая многоязычную поддержку.
3. Собирать и анализировать данные в режиме реального времени с использованием современных алгоритмов обработки.

Разработано первичное тестирование по теме «Оценка вовлеченности и удовлетворенности выпускников на месте трудоустройства». Это тестирование позволит:

1. Оценить уровень вовлеченности и удовлетворенности выпускников.
2. Собрать данные для дальнейшего анализа и улучшения опросов.
3. Исследовать взаимосвязь между уровнем образования и профессиональными ожиданиями.
4. Определить барьеры, с которыми сталкиваются выпускники на рынке труда.

Опрос состоит из набора вопросов, организованных по модульному принципу. На первом этапе пользователь указывает тип предприятия, где он трудоустроен (например, атомная станция, научно-исследовательская организация, химическое производство и т. д.). В зависимости от ответа активируются дополнительные блоки вопросов, соответствующие профессиональной сфере респондента.

Вопросы в используемой базе разнообразны по структуре:

1. Закрытые вопросы – с выбором одного или нескольких вариантов ответа;
2. Открытые вопросы – с возможностью ввода собственного ответа;
3. Шкалирование – оценка по числовым шкалам, например, по шкале Лайкерта или от 0 до 10;
4. Ранжирование – упорядочивание факторов по значимости;
5. Условные переходы – автоматическое появление дополнительных вопросов в зависимости от предыдущих ответов.

Примером может служить вопрос об удовлетворенности работой: при низкой оценке открывается дополнительный блок, позволяющий уточнить причины неудовлетворенности. Таким образом, каждый участник опроса получает набор

вопросов, адаптированный под его конкретную ситуацию.

Процесс программной реализации начался с выбора языка программирования, наиболее подходящего для создания Telegram-бота с широкими возможностями взаимодействия. В результате сравнительного анализа языков, применяемых в области быстрой разработки серверной логики и ботов, был определён язык Python. Его преимущества — выразительный и компактный синтаксис, обширный набор готовых модулей, высокая читаемость кода и наличие большого сообщества специалистов — сделали его оптимальным решением для данного проекта. Наличие множества специализированных библиотек и активная поддержка со стороны разработчиков обеспечивают быстрое внедрение новых функций и стабильность в работе программных компонентов.

Для интеграции с платформой Telegram было рассмотрено несколько библиотек, обеспечивающих работу с TelegramBot API. Среди них: `python-telegram-bot`, `aiogram` и `Telebot`. На основании критериев простоты освоения, стабильности работы, удобства организации логики взаимодействия и полноты документации, была выбрана библиотека `Telebot`. Она обеспечивает интуитивно понятный интерфейс для реализации ключевых операций — таких как приём сообщений от пользователей, ответные действия в зависимости от типа запроса, настройка многоуровневого меню и создание интерактивных клавиатур. Это позволило организовать адаптивную структуру опроса с возможностью динамического формирования сценария общения с пользователем.

Хранение информации, связанной с пользователями, их ответами, а также структурой самих опросов, реализовано посредством использования реляционной системы управления базами данных MariaDB. Данный выбор продиктован надёжностью, масштабируемостью и высокой скоростью выполнения операций, особенно при работе с большим количеством записей. Система обладает гибкими возможностями по организации таблиц, поддерживает сложные SQL-запросы и хорошо интегрируется с Python-приложениями.

Для организации взаимодействия между серверной частью бота и базой данных применялась библиотека `PyMySQL`, обеспечивающая стабильное и безопасное подключение к MariaDB. С помощью этой библиотеки реализованы функции записи новых данных (например, ответов респондентов), извлечения информации для анализа, а также обновления текущих параметров сценария опроса в соответствии с логикой его прохождения.

Преимущества и особенности системы

- Адаптивность: структура опроса автоматически подстраивается под каждого

- участника, что делает результаты более точными и персонализированными;
- Автоматизация: Telegram-бот полностью исключает необходимость ручного проведения опросов, сокращая трудозатраты и минимизируя ошибки;
  - Универсальность: благодаря использованию Telegram, бот доступен на любых устройствах — от смартфона до компьютера;
  - Масштабируемость: структура опросника и логика бота позволяют легко добавлять новые вопросы, категории респондентов и сценарии без необходимости переписывания системы;
  - Аналитическая ценность: собранные данные можно обрабатывать, сравнивать и использовать для подготовки отчётов, научных публикаций и управленческих решений.

В будущем планируется провести данное тестирование среди выпускников вуза и оценить результаты. На основе полученных данных будет доработан конструктор опросов и подготовлены рекомендации для предприятий.

Создание конструктора социологических опросов с индивидуальными траекториями — это шаг к более глубокому пониманию потребностей сотрудников атомной отрасли. Внедрение данного инструмента позволит повысить качество опросов и, как следствие, улучшить условия труда и профессионального роста сотрудников.

#### Литература

1. Аргунеев, Э. П. Основы прикладных лингвистических информационных технологий : учебное пособие / Э. П. Аргунеев. — Оренбург : ОГУ, 2024. — 109 с. — ISBN 978-5-7410-3255-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/437747> (дата обращения: 03.04.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Лутц, М. Изучаем Python / М. Лутц. — 5-е изд. — Санкт-Петербург : Питер, 2020. — 1216 с.
3. Хсу, Л., Латулек, С. Python. К вершинам мастерства / Л. Хсу, С. Латулек. — Москва : Эксмо, 2019. — 384 с.
4. Форт, Б. SQL. Базовый курс / Б. Форт. — 10-е изд. — Санкт-Петербург : Питер, 2019. — 272 с.
5. Мартин, Р. Чистый код. Создание, анализ и рефакторинг / Р. Мартин. — Москва : Вильямс, 2019. — 464 с.
6. Telegram. TelegramBot API [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://core.telegram.org/bots/api> (дата обращения: 03.04.2025).
7. pyTelegramBotAPI. GitHub [Электронный ресурс]. — Режим доступа:

<https://github.com/eternnoir/pyTelegramBotAPI> (дата обращения: 03.04.2025).

8. MariaDBFoundation. Официальная документация MariaDB [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mariadb.com/kb/en/> (дата обращения: 03.04.2025).

УДК 621.9

### **Создание имитационной 3Д-модели трубогибного станка**

Иголина Юлия Михайловна, студент специальности

«Проектирование технологических машин и комплексов»;

Кузнецов Аркадий Олегович, студент специальности

«Проектирование технологических машин и комплексов»;

Бобылев Андрей Викторович, доктор технических наук,

доцент кафедры «Технология машиностроения»;

Козлов Александр Васильевич, доктор технических наук,

профессор кафедры «Технология машиностроения»;

Токарев Артем Сергеевич доктор технических наук,

доцент кафедры «Технология машиностроения»

Трехгорный технологический институт — филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Трехгорный

*Создание и использование моделей относится к экспериментальному методу познания окружающего мира, именно поэтому, в настоящее время моделированию уделяется большое внимание в науке для того, чтобы создать новые устройства и явления, необходимо их изучить. Для чего и используются модели этих устройств и явлений.*

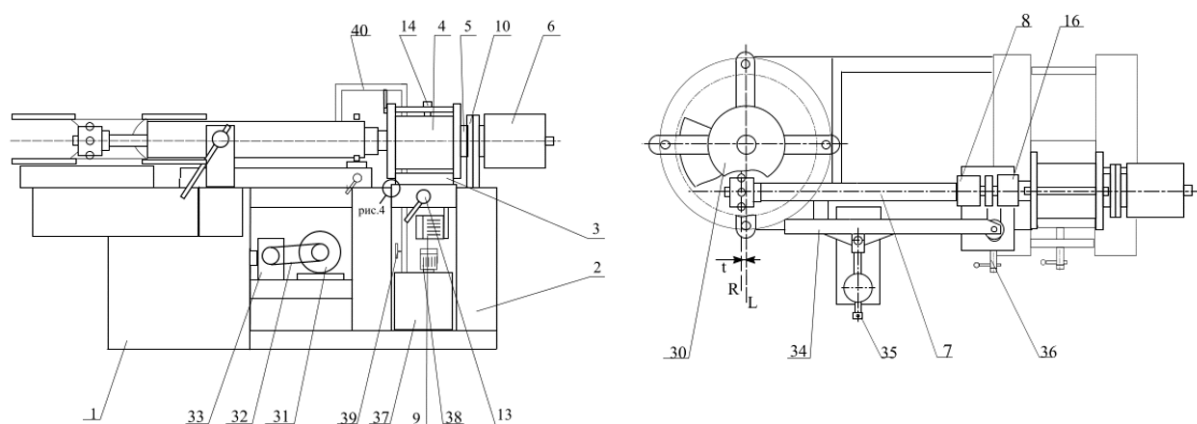
*В данной работе рассмотрен процесс моделирования трубогибного станка на базе сборочного чертежа станка ИВ-3428. В процессе исследования была спроектирована 3д модель станка, позволяющая наглядно продемонстрировать получение криволинейных участков труб.*

Трубогибный станок – это основное оборудование для создания криволинейных участков труб. Популярность и востребованность трубогибов обусловлено широким использованием металлических труб в таких отраслях промышленности как: строительство, машиностроение, коммунальное хозяйство, самолетостроение и других.

Трубогибный станок работает по принципу деформации заготовок с температурой окружающей среды методом обкатки и не требует предварительного разогрева. Заготовкой для трубогиба служат трубы стальные, электросварные, бесшовные стальные, с толщиной стенки от 1,5 до 8 мм и внутренним диаметром от 20

до 114 мм [1].

Исходными данными для создания 3д-модели станка выступил сборочный чертеж, представленный на рис. 1.



*Рис.1. Сборочный чертеж трубогибного станка ИВ-3428*

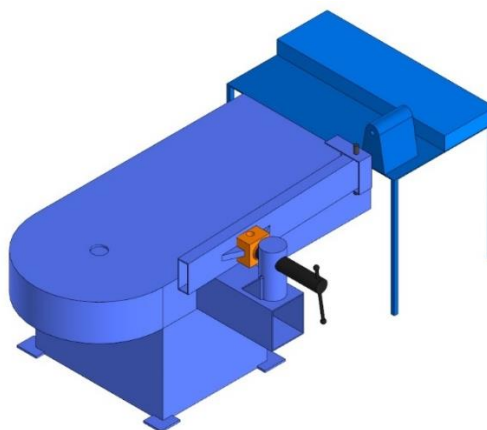
Именно он был взят за основу проектирования 3д-модели в программе «Компас 3Д».

Проектирование станка проходило в несколько этапов [2]:

– Первый этап: проектирование станины и направляющего узла.

Проектирование 3д-модели станка началось с создания важного элемента для любого станка в машиностроении, как станина, на которой размещаются и по которой перемещаются основные узлы станка. Станина воспринимает усилия от узлов и деталей машины. Обычно закрепляется на фундаменте. На станину был установлен направляющий узел. В него вошли следующие детали: направляющая, винт, прижимная планка. Данный сборочный узел фиксирует положение трубной заготовки, для придания жёсткости и устойчивости во время работы раскатного инструмента. Подвод направляющей осуществляется с помощью винтов [3].

3д-модель на данном этапе представлена на рис. 2.



*Рис. 2. 3д модель станка на первом этапе моделирования*

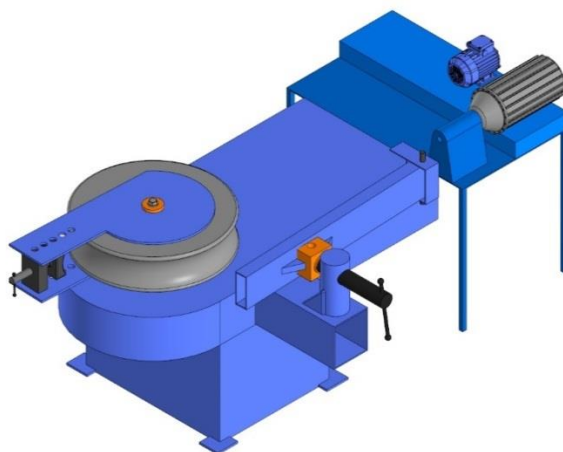
– Второй этап: проектирование шпинделя, червячного редуктора и изгибающего

ролика.

Следующими компонентами сборки выступил шпиндельный узел, с возможностью осевого перемещения. На заднем фланце шпинделя закреплен инерционный патрон с узлом подвода СОЖ, а на переднем торце - борштанга. Вращение шпинделю сообщается от электродвигателя с помощью клиноременной передачи.

На нижней плите станины установлен привод вращения изгибающего ролика. Привод включает электродвигатель, ременную передачу и червячный редуктор. Для изменения скорости вращения гибочного ролика в комплекте предусмотрены сменные шкивы. В процессе гибки изгибаемая труба прижимается к изгибающему ролику направляющей с помощью винтов.

3д-модель на втором этапе проектирования представлена на рис. 3.



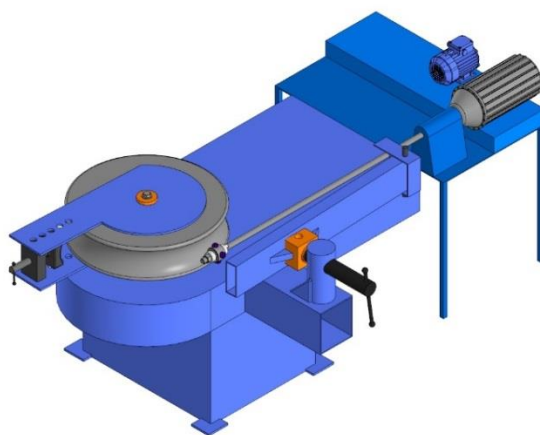
*Рис. 3. 3д-модель станка на втором этапе моделирования*

– Третий этап: проектирование шарикового раскатника.

Раскатник содержит деформирующие элементы раскатки - шарики, для различных диаметров труб используются шарики различных диаметров. Они установлены в сепараторе, который ограничивает их перемещение в окружном направлении, сохраняя неизменным угловое расположение шариков друг относительно друга при вращении инструмента, опорой для шариков служат передний и задний конусы, установка раскатника на необходимый диаметр осуществляется поворотом винта, в результате чего шарики перемещаются в радиальном направлении.

Шариковый раскатник крепится на борштанге. Внутри борштанги размещен подвижный в осевом направлении шток, связанный одним концом с инерционным патроном, а другим с винтом раскатника.

3д-модель на заключительном этапе моделирования представлена на рисунке 4.



*Рис. 4. 3д-модель на заключительном этапе моделирования*

Была проведена работа по созданию 3д-модели трубогибного станка. Были спроектированы основные узлы станка, такие как станина, направляющая, прижимная планка, шпиндельный узел, борштанга, изгибающий ролик и раскатник. Все сборочные компоненты были смоделированы на основе действующего сборочного чертежа станка ИВ-3428.

#### Литература

1. Денисова, Е.В., Глухова, А.В., Швецова, В.В. Компьютерная графика в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D : учебное пособие / Е.В. Денисова, А.В. Глухова, В.В. Швецова. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2021. – 100 с.
2. Камалов, Л.Е., Карпухин, Е.Г. Работа в системе моделирования КОМПАС-3D: практикум по дисциплине «Компьютерная графика» / Л.Е. Камалов, Е.Г. Карпухин. – Ульяновск : УлГТУ, 2019. – 88 с.
3. Металлорежущие станки : учебник : в 2 томах / Т.М. Авраамова, В. В. Бушуев, Л.Я. Гиловой [и др.] ; под редакцией В.В. Бушева. – Москва : Машиностроение, 2011 – Том 1 – 2011. – 608 с.

УДК 621.316.79

#### **Использование Codesys для разработки виртуальных лабораторных работ**

Кириченко Алексей Владиславович, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация, инжиниринг»;

Мефедова Юлия 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 данной статье описан процесс разработки виртуальной лабораторной работы «Исследования ПИД-регулирования уровня конденсата в подогревателе высокого давления» в среде Codesys. Осуществлен обзор сред для разработки виртуальных лабораторных работ. Разработана система автоматического управления уровня конденсата в ПВД. Приведены примеры разработки блоков системы управления в среде Codesys.*

Сегодня многие учебные заведения используют инновационные технологии в образовательной среде, в том числе виртуальные лабораторные работы. Виртуальная лаборатория – программно-аппаратный комплекс, позволяющий проводить опыты без непосредственного контакта с реальной установкой или при полном отсутствии таковой [1]. В первом случае мы имеем дело с дистанционной лабораторией, во втором – с программным обеспечением, позволяющим моделировать лабораторные опыты – виртуальные лаборатории (в узком смысле).

Основными преимуществами виртуальных лабораторных работ заключаются в отсутствии необходимости приобретения дорогостоящего оборудования; возможности моделирования процессов, протекание которых принципиально невозможно в лабораторных условиях; наглядная визуализация на экране компьютера; безопасность; возможность использования виртуальной лаборатории в дистанционном обучении, когда работа в лабораториях института недоступна по каким-либо причинам.

На данный момент поставкой виртуальных лабораторных работ занимаются следующие компании: Program Lab, L-content, Professional Group, Виртуальные лабораторные работы Томского Политеха, ГалСен и др. Однако стоимость таких работ является довольно большой, в связи с чем была поставлена цель: разработка собственной виртуальной лабораторной работы для исследования системы автоматического регулирования уровня конденсата в подогревателе высокого давления (ПВД) с наглядной визуализацией.

Рассмотрим возможные среды, для создания виртуальных лабораторных работ.

Matlab – это платформа для программирования и набор приложений для нахождения решений в области технических вычислений. Основным недостатком является невозможность приобретения лицензии из-за региональных ограничений.

LabView – среда разработки и платформа для исполнения программ, написанных на графическом языке «G». Включает инструменты для 3D-моделирования. Недостатком также является невозможность покупки лицензии.

Simintech – среда динамического моделирования технических систем, предназначенная для расчётной проверки функционирования систем управления сложными техническими объектами. Недостатком является то, что программа

находится в стадии активной разработки и пока не обладает широким функционалом.

CorreliaSim – симулятор робота, который используется в промышленности, образовании и научных исследованиях. Основан на распределенной архитектуре управления с применением скриптов Python и Lua или плагинов на C/C++, работающих как отдельные синхронные контроллеры. Недостаток: ограниченная область применения, неподходящая для выполнения поставленной задачи.

В результате выбрана среда Codesys. Codesys – это программный комплекс для промышленной автоматизации. Ключевым элементом является среда программирования на языках, соответствующих стандарту МЭК 61 131–3. Это программное обеспечение может как загружать код на внешний ПЛК, что позволяет использовать его в реальных лабораторных работах, так и эмулировать код на персональном компьютере. Преимущества среды: простота и доступность среды разработки; возможность реализации блочного программирования, что улучшает визуальное восприятие кода; широкие возможности и гибкость визуализации; бесплатно распространяемое ПО. Недостатки: отсутствие готового визуализатора; необходимость знания базовых языков программирования

Первоначально для реализации проекта осуществлено знакомство с назначением и принципом работы объекта регулирования, в качестве которого выбран подогреватель высокого давления (ПВД). Подогреватель высокого давления находит своё применение во втором контуре АЭС, который выполняет задачу преобразования тепловой энергии, полученной от первого контура, в энергию вращательного движения турбины и, соответственно, последующего преобразования вращения в электрическую энергию. ПВД используется для регенеративной системы атомной станции, которая повышает экономичность установки от 10 до 14%.

В системе регенерации присутствуют две параллельные системы подогревателей. Часть пара конденсируется в нижней части подогревателей. Уровень конденсата влияет на работу ПВД. Для этого необходимо введение системы автоматического регулирования (САР) уровня конденсата в ПВД с точностью  $\pm 50$  мм. Уставка осуществляется на значении от 4200 мм до 4600 мм. Начальное значение – 4200 мм.

В работе рассмотрена функциональная схема САР уровня в ПВД (рис. 1а) [2].

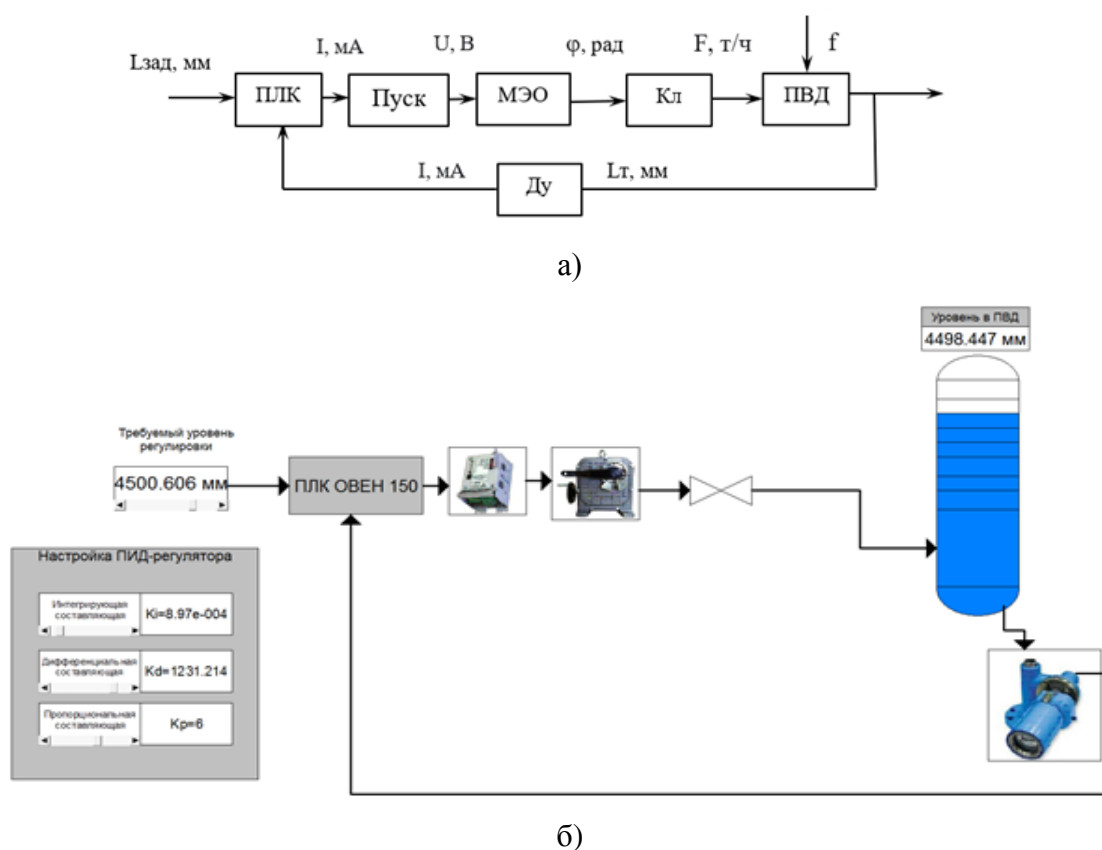


Рис. 1. SFC уровня конденсата в ПВД:

а) функциональная схема; б) визуализация модели SFC в среде Codesys

Сравнение значения уставки и сигнала обратной связи по уровню, а так же генерация регулирующего токового сигнала для пускателя осуществляется программируемым логическим контроллером (ПЛК). В ходе разработки ВЛР в ПЛК также необходимо включить ПИД-регулятор, который позволит влиять на динамические и статические характеристики САР. Пускатель включает механизм электрический обратный (МЭО), который изменяет угол поворота и степень открытия клапана (Кл). В результате этого изменяется расход конденсата, что влияет на его уровень.

Средой программирования контролера ОВЕН-150 является Codesys версии 2.3, в которой для реализации ВЛР разработаны следующие функциональные элементы: ПИД-регулятор, реализованный через стандартный блок одной из библиотек Codesys, блок обратной связи, нелинейный элемент с насыщением, идеальное релейное звено с зоной нечувствительности, интегральное звено и интегральное звено с ограничением. Общая модель разработана в языке SFC, а каждый функциональный блок создан в среде с языком программирования ST. Каждый из них является стандартным языком разработки МЭК 61131-3 [4].

Рассмотрим разработку блоков на примере интегрирующего звена с ограничениями [3]. Принцип реализации данного звена заключается в следующем:

если входящая величина In находится в пределах (MinZ, MaxZ), то выходная величина Out принимает значение, соответствующее интегрирующему звену в данной точке. Если In меньше или равно минимальному значению MinZ, то выходная величина принимает данное минимальное значение. В других случаях Out принимает максимальное значение MaxZ. Код данного блока представлен на рисунке 2.

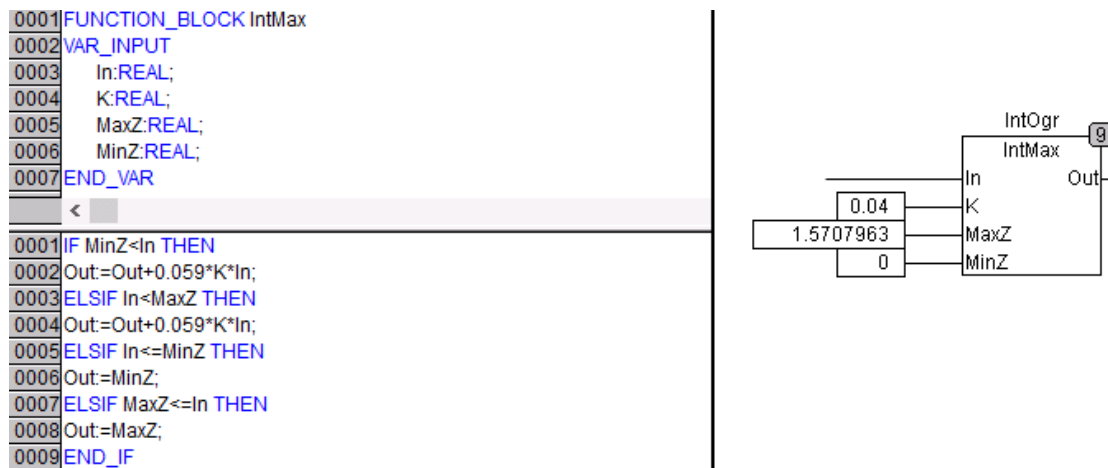


Рис. 2. Код и вид интегрирующего звена с ограничениями

Аналогичным образом, разработаны все функциональные элементы САР.

Блок визуализации необходим для осуществления изменения уровня конденсата в подогревателе высокого давления. Сам ПВД изображён как прямоугольник с закруглением вместо нижней и верхней грани (рис. 3).

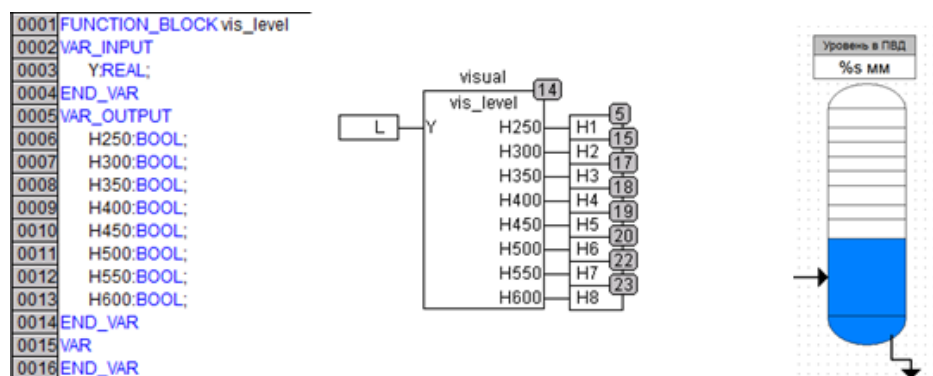


Рис. 3. Начальные условия блока визуализации ПВД и его вид

Данный объект разбит на 9 зон: первая зона отображает начальное значение уровня, принимаемое в данной работе за 4200 мм. Остальные 8 уровней изменяются от начального значения с шагом 50 мм. Несмотря на то, что общая высота подогревателя 5880 мм, его нормальное технологическое функционирование определяется уровнем около 4500-4600. Изменение уровня от начального значения 4200 мм до "нормального" в реализации блока с настоящей высотой в 5880 мм будет визуально незначительным и будет обладать малой наглядностью. Для реализации данного функционального блока используется входная величина L, соответствующая уровню в ПВД и 8 выходных

булевых переменных  $N250, N300, \dots, N600$ . Данные переменные вводятся в блоке начальных условий, представленном на рисунке 3.

Итоговая программная модель САР уровня конденсата в ПВД представлена на рисунке 4. На ее основе реализована визуализация ВЛР, состоящая из трех основных элементов: стартового экрана, экрана визуализации модели САР (рис. 1б) – общая мнемосхема САР, экрана с графиком переходного процесса уровня.

Рис. 4. Итоговая программная модель САР

Стартовый экран содержит в себе название лабораторной работы и 3 кнопки, отправляющие на общую мнемосхему САР уровня, открывающие методические указания в текстовом формате и осуществляющие выход из ВЛР. Общая мнемосхема САР уровня содержит в себе изображение системы регулирования с её элементами и их

изображениями, а также схематичная структура ПВД, содержащая в себе изменяющийся уровень конденсата через блок визуализации. На графиках переходного процесса студенты могут наблюдать изменение прямых показателей качества САР в зависимости от параметров ПИД-регулятора, которые они меняют с помощью ползунков на общей мнемосхеме.

В результате работы можно сделать вывод, что бесплатно распространяемое отечественное программное обеспечение Codesys хорошо подходит для создания лабораторных установок на основе методов блочного и визуального программирования. Практическая значимость работы состоит в обеспечении наглядных лабораторных установок с открытым исходным кодом в блочном формате, что упрощает его восприятие, и, как следствие, понимание принципов работы систем автоматического регулирования.

#### Литература

1. Трухин, А. В. Об использовании виртуальных лабораторий в образовании / А. В. Трухин // Открытое и дистанционное образование. – 2002. – № 4(8). – С. 81-82.
2. Модель системы автоматического регулирования уровня конденсата греющего пара в подогревателе высокого давления / Р.А. Каналин, Ю.А. Мефедова // Сборник трудов V Международной научно-практической конференции « Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ. – 2023. – Т. I. – С. 71-76.
3. Картавцев, К. В. Базовый уровень знаний для работы в среде программирования CoDeSys v2.3 / К. В. Картавцев // Наука и современность. – 2013. – № 25-2. – С. 32-38.
4. Иванов, А. В. Особенности визуализации в CODESYS 2.3 / А. В. Иванов, Р. А. Иванов // Инженерные кадры - будущее инновационной экономики России. – 2020. – № 4. – С. 72-75.

УДК 621.313.1

#### **Разработка учебного стенда для диагностики электродвигателей**

Князев Александр Алексеевич, студент направления подготовки

«Управление в технических системах»;

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 статье рассмотрены особенности разработки учебного стенда для диагностики асинхронных электродвигателей. Приведены структурная и функциональная схемы системы, описан состав аппаратной части и логика взаимодействия компонентов.*

Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором занимают ключевое место в современном промышленном производстве. Их надёжность и стабильная работа определяют эффективность функционирования технологического оборудования. Однако в процессе эксплуатации они подвержены различным видам отказов, выявление которых на ранних стадиях требует грамотной диагностики и соответствующих технических знаний.

Несмотря на наличие широкого спектра диагностических методик, образовательные программы зачастую не обеспечивают должного уровня практической подготовки. Как следствие, выпускники технических вузов сталкиваются с трудностями при реальном обслуживании оборудования. Для устранения этого разрыва между теорией и практикой необходимы современные учебные средства, позволяющие студентам отрабатывать навыки диагностики на реальных технических объектах в условиях, приближенных к производственным.

В условиях активной цифровизации производственных процессов и перехода на предиктивные модели обслуживания растёт потребность в специалистах, способных не только выполнять базовое техническое обслуживание, но и применять интеллектуальные системы мониторинга состояния оборудования. Учебные стенды являются эффективным средством подготовки таких специалистов, так как они позволяют воспроизводить реальные условия эксплуатации, моделировать неисправности и анализировать поведение оборудования в различных режимах.

Создание учебного стенда с возможностью визуализации параметров работы электродвигателя, регистрации отклонений и имитации неисправностей позволяет выстроить полноценный образовательный процесс, ориентированный на практическое обучение. Важно при этом сохранить простоту конструкции, доступность комплектующих и безопасность эксплуатации, что сделает стенд удобным для использования в учебных аудиториях.

Разработанный учебный стенд предназначен для изучения и практической диагностики асинхронных электродвигателей мощностью до 250 Вт. Его конструкция позволяет не только воспроизводить нормальные режимы работы, но и моделировать различные неисправности, включая перегрузку, дисбаланс, перегрев, вибрации и другие отклонения, характерные для реальных условий эксплуатации.

Аппаратная часть стенда включает в себя:

- асинхронный электродвигатель;
- микроконтроллер Arduino UNO, выполняющий функции управления и обработки данных;
- датчики тока, напряжения, вибрации и температуры;
- индикаторы на основе светодиодов и LCD-дисплей для отображения текущих параметров;
- блок питания, обеспечивающий стабильную подачу энергии;
- интерфейс подключения к персональному компьютеру, реализующий визуализацию результатов диагностики.

На начальном этапе разработки стенда была составлена структурная схема (рис. 1), отражающая ключевые элементы системы и связи между ними. Она задаёт общее представление об архитектуре устройства, определяя направления передачи данных и взаимодействие блоков.

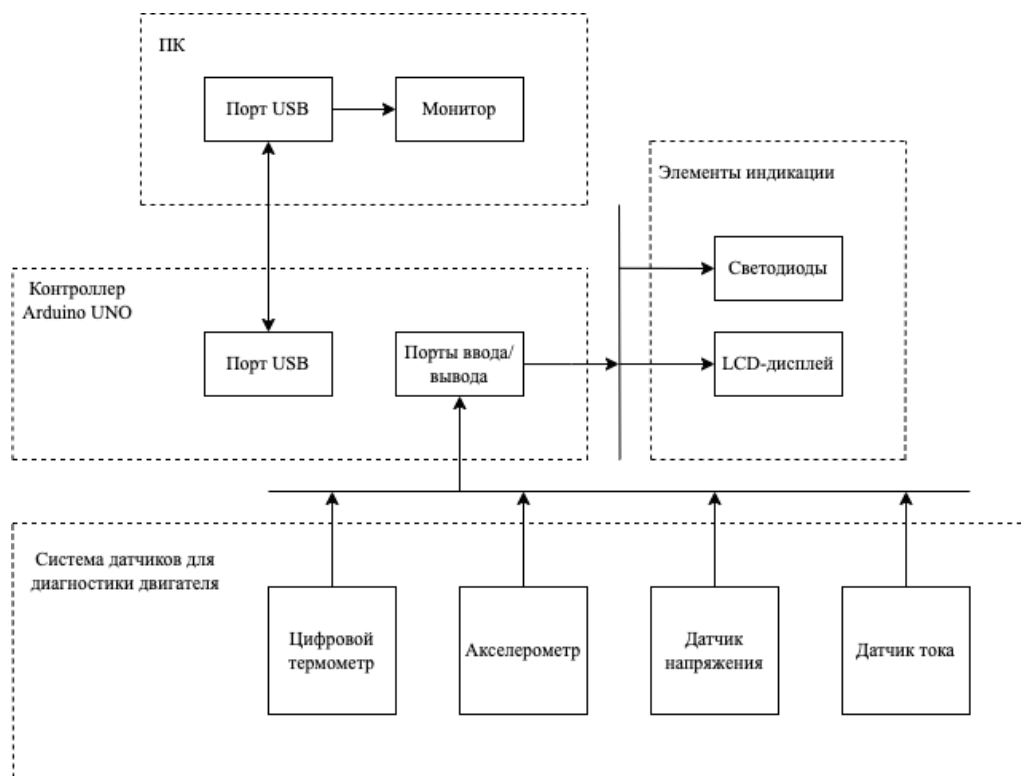


Рис. 1. Структурная схема учебного стенда

Основные компоненты сгруппированы по функциям: персональный компьютер, контроллер, датчики и система индикации. Такой подход упрощает восприятие логики работы устройства.

Для диагностики используются датчики электрических и механических параметров – тока, напряжения, температуры и вибрации, что позволяет комплексно оценивать состояние двигателя.

Индикация реализована с помощью светодиодов и дисплея, обеспечивая наглядность. Связь с ПК осуществляется через USB-интерфейс, что даёт расширенные возможности визуализации и анализа данных.

После построения структурной схемы следующим этапом стала разработка функциональной схемы (рис. 2), которая уточняет логику работы системы: направление сигналов, порядок обработки данных и взаимодействие компонентов по функциональному признаку. Если структурная схема показывает связи, то функциональная — принцип их действия.

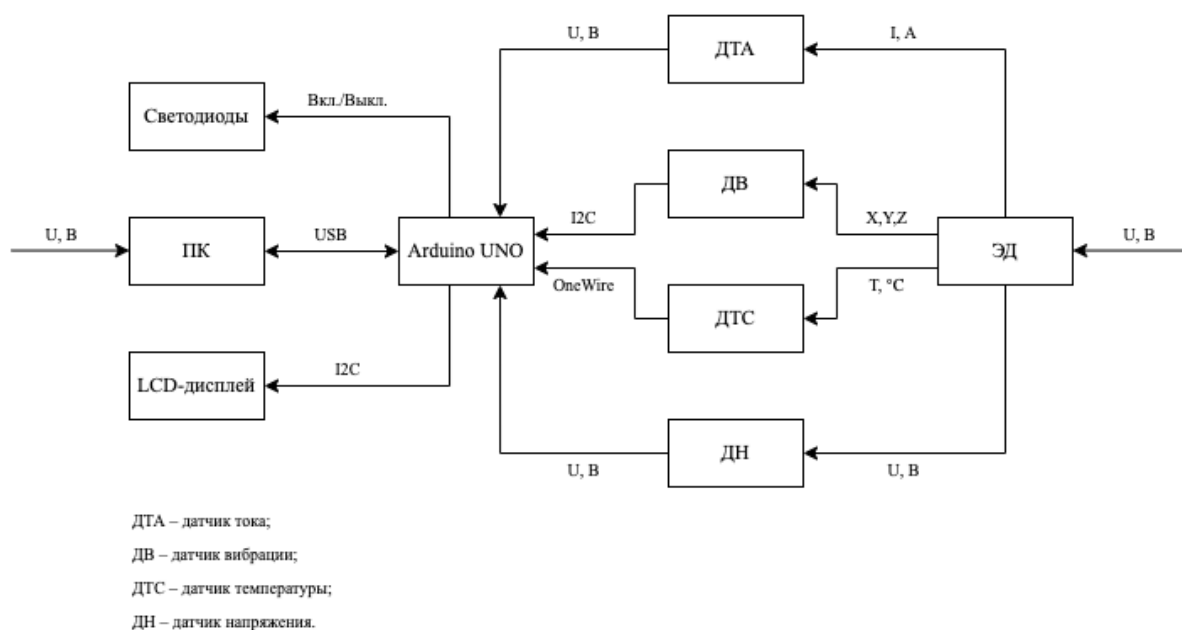


Рис. 2. Функциональная схема учебного стенда

Схема иллюстрирует весь путь диагностической информации – от датчиков до средств отображения. Микроконтроллер собирает сигналы, обрабатывает их по заданным алгоритмам и передаёт управляющие команды на дисплей и светодиоды, информируя пользователя о состоянии системы.

Особое внимание уделено передаче данных на ПК: это расширяет функциональность стенда, упрощает анализ, настройку и возможные обновления. Функциональная схема также служит базой для программной реализации и отладки аппаратной части.

На программном уровне реализована визуализация на экране компьютера. Это позволяет пользователю фиксировать отклонения параметров от нормы и делать выводы о характере неисправности.

Особенностью данной конструкции является универсальность: стенд может быть модифицирован для подключения различных типов электродвигателей и обновления сенсорных модулей. Кроме того, он легко адаптируется под разные

учебные задачи, включая курсы по программированию микроконтроллеров, метрологии, основам электроники и автоматизации.

В процессе эксплуатации стенд продемонстрировал высокую стабильность работы и достаточную точность регистрации параметров. Были успешно реализованы различные сценарии неисправностей. Каждый из режимов сопровождался изменениями сигналов, что фиксировалось системой сбора данных и позволяло студентам анализировать поведение двигателя.

Проведённые лабораторные занятия подтвердили обучающую эффективность стенда. Студенты отмечали простоту управления, наглядность процессов и удобство анализа полученных данных. Таким образом, стенд стал эффективным инструментом в обучении основам диагностики электродвигателей.

Разработка и внедрение учебного стенда для диагностики асинхронных электродвигателей позволяет вывести лабораторные занятия на новый уровень, обеспечивая интеграцию теоретических знаний с практическими навыками. Стенд объединяет доступность, функциональность и безопасность, что делает его оптимальным решением для учебных заведений различного уровня.

В перспективе возможно расширение функционала стенда за счёт:

- внедрения беспроводной передачи данных;
- использование автономных источников питания;
- разработка методических материалов для проведения лабораторных работ;
- удалённого доступа к системе.

#### Литература

1. Платонов, А. В. Электрические машины: основы эксплуатации и диагностики / А. В. Платонов. – Москва : Издательство «Энергия», 2020. – 288 с.
2. Сивохин, Д. В. Ремонт и обслуживание асинхронных двигателей / Д. В. Сивохин. – Москва : Инфра-Инженерия, 2018. – 192 с.

УДК 53.084.4: 621.311.25

#### **Модернизация основного тепломеханического оборудования реакторного отделения с применением терморасширенного графита**

Коробейников Сергей Александрович, студент кафедры «Атомной энергетики»;

Волгодонский инженерно-технический институт

Филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»,

г. Волгодонск

*В статье рассмотрена проблема обеспечения герметичности разъемных соединений тепломеханического оборудования реакторных установок АЭС. Показано, что традиционные никелевые прокладки со временем теряют герметичность из-за пластических деформаций и износа уплотняющих поверхностей. Предложено решение – замена никелевых прокладок на терморасширенный графит (ТРГ), обладающий уникальными свойствами: высокой сжимаемостью (35-40%), восстанавливаемостью (15-20%) и термической стабильностью (до +3000°C в инертной среде).*

*Подробно описана методика модернизации узлов уплотнения компенсаторов давления и гидроемкостей САОЗ, включающая перепроектирование канавок фланцев, оптимизацию геометрии прокладок и расчет усилия затяжки. Приведены результаты расчетного обоснования в ANSYS и натурных испытаний, подтвердивших отсутствие течей при рабочих давлениях до 24.5 МПа и сохранение герметичности после 500 тепловых циклов.*

*Отмечены значительные эксплуатационные преимущества: снижение частоты течей на 90%, увеличение ресурса соединений в 2-3 раза, сокращение затрат на обслуживание на 25%. Показаны перспективы дальнейшего применения ТРГ в других системах АЭС.*

Атомная энергетика предъявляет исключительные требования к надежности оборудования, особенно к тепломеханическим системам реакторного отделения. В течение последних десятилетий острой проблемой оставалась герметичность разъемных соединений критически важных элементов - компенсаторов давления (КО) и гидроемкостей системы аварийного охлаждения зоны (САОЗ).

Традиционные никелевые прокладки, использовавшиеся в узлах уплотнения, демонстрировали прогрессирующую потерю герметичности из-за:

- Накопления пластических деформаций [1]
- Взаимного износа уплотняющих поверхностей [2]
- Релаксации напряжений в крепежных элементах

На рис. 1 представлен общий вид компенсатора давления ВВЭР-1000, где особое внимание уделяется фланцевым соединениям и узлам уплотнения.

Терморасширенный графит как решение проблемы. Терморасширенный графит (ТРГ) представляет собой модифицированную форму графита с уникальной пористой структурой (рис. 2). Согласно техническим спецификациям [3], его основные преимущества:

1. Физико-механические свойства:

- Сжимаемость: 35-40%;
- Восстанавливаемость: 15-20%;
- Коэффициент трения: 0.04-0.06;

2. Термическая стабильность:

- Рабочий диапазон: от -200°C до +3000°C (в инертной среде);
- Теплопроводность: 400 Вт/(м·К) вдоль слоев;

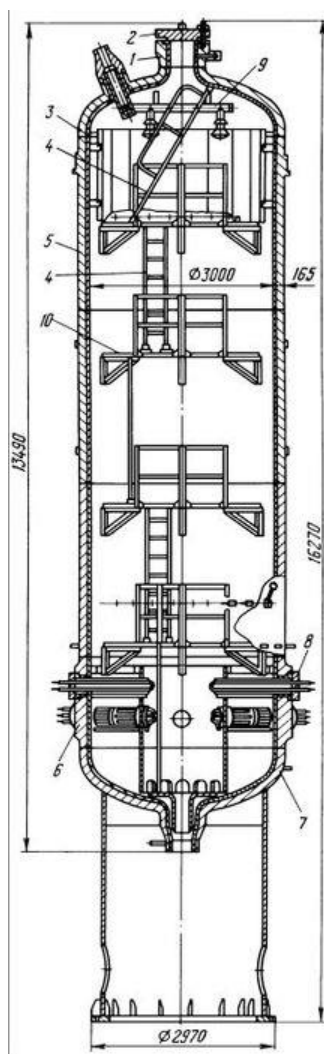


Рис. 1. Конструкция компенсатора давления ВВЭР-1000/320: 1 — горловина; 2 — крышка; 3 — днище; 4 — лестница; 5 — обечайка; 6 — обечайка блоков ТЭН; 7 — днище; 8 — блок ТЭН; 9 — коллектор; 10 — площадка

### 3. Химическая стойкость:

- Инертность к радиации;
- Устойчивость к коррозии.

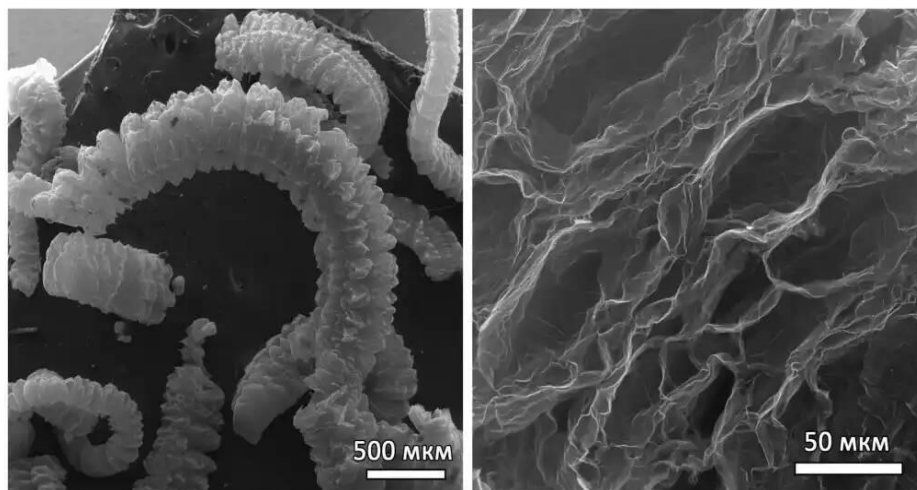


Рис. 2. Структура пор терморасширенного графита

Процесс модернизации включал три этапа:

1. Подготовительный:

- Анализ состояния существующих соединений [4];
- Разработка 3D-моделей новых узлов;
- Выбор оптимального типа ТРГ;

2. Конструкторский:

- Перепроектирование канавок фланцев;
- Оптимизация геометрии прокладок;
- Расчет усилия затяжки:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sigma_{\text{доп}};$$

где  $d$  - диаметр шпильки;  $\sigma_{\text{доп}}$  - допустимое напряжение.

3. Внедренческий:

- Механическая обработка поверхностей;
- Установка новых прокладок;
- Контроль качества соединений.

Для подтверждения надежности проведены комплексные расчеты в ANSYS [4], включавшие:

- Статический анализ напряжений;
- Термомеханические расчеты;
- Оценку циклической долговечности.

Ключевые результаты:

1. Распределение напряжений в шпильках:[2]

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq [\sigma];$$

2. Оценка усталостной прочности:

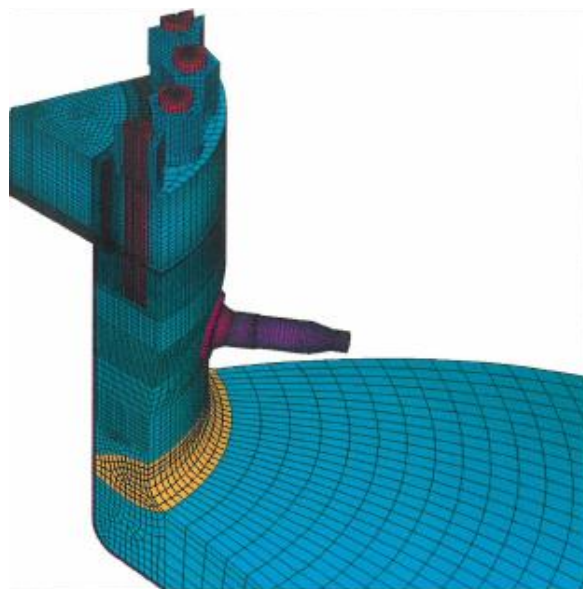
$$\sum_{i=1}^n \frac{n_i}{N_i} \leq 1;$$

3. Экспериментальная верификация

Натурные испытания подтвердили [5]:

- Отсутствие течей при рабочих давлениях до 24.5 МПа;
- Сохранение герметичности после 500 тепловых циклов;
- Уменьшение усилия затяжки на 15-20%.

На рисунке 3 представлен модернизированный узел уплотнения с прокладками из ТРГ.



*Рис. 3. Фрагмент расчетной модели (люк-лаз)*

Внедрение терморасширенного графита в узлы уплотнения тепломеханического оборудования Ростовской АЭС позволило достичь следующих результатов:

1. Повышение надежности:
  - Снижение частоты течей на 90%;
  - Увеличение ресурса соединений в 2-3 раза;
2. Экономический эффект:
  - Сокращение затрат на обслуживание на 25%;
  - Уменьшение времени ремонтов на 30%;
3. Перспективы развития:
  - Применение в других системах АЭС;
  - Разработка композитных материалов на основе ТРГ;
  - Автоматизация контроля состояния уплотнений.

Полученные результаты подтверждают эффективность выбранного подхода и открывают новые возможности для модернизации атомных станций.

#### Литература

1. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок : ПНАЭ Г-7-002-86 / Госатомэнергонадзор СССР. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 159 с.
2. Русьянов, В. Г. Уплотнительные устройства разъемных соединений оборудования реакторных установок ВВЭР / В. Г. Русьянов, В. П. Денисов, Ю. Г. Драгунов. – Москва : ИКЦ «Академкнига», 2004. – 248 с.
3. Графитовая фольга «ГРАФЛЕКС» : Технические условия : ТУ 5728-001-50187417-99. – Климовск : [б. и.], 1999. – 12 с.

4. Отчет о научно-исследовательской работе по модернизации узлов уплотнения тепломеханического оборудования : № 245-НИР / Ростовская АЭС ; рук. А. М. Новокщенов. – Волгодонск, 2024. – 87 с.

5. Геронтьев, А. Е. Модернизация уплотнительных устройств парогенераторов АЭС с ВВЭР-1000 / А. Е. Геронтьев, А. А. Страхов, А. Г. Конюшков // Атомная энергия. – 2005. – Т. 99. – № 6. – С. 412–418.

УДК 621.31

**Обеспечение энергоснабжения автономного полевого лагеря с помощью  
альтернативных источников энергии**

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

Кудашева Ирина Олеговна, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Атомная энергетика»;

Полынина Дарья Владимировна, студентка направления  
«Электроэнергетика и электротехника»;

Долгов Дмитрий Денисович, студент направления  
«Электроэнергетика и электротехника»

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

*В статье рассматривается система энергоснабжения автономного объекта временного размещения людей на основе альтернативных источников энергии. Авторы предлагают заменить традиционные для таких объектов дизельные электростанции на комбинированное использование ветрогенераторов, солнечных панелей и резервных дизель-генераторов. Экономический эффект от внедрения предложенных мероприятий достигается за счет существенного сокращения расхода топлива для дизельных электростанций, а, следовательно, и топливных затрат.*

В наше беспокойное время, как в политическом, так и в экономическом плане, все большую актуальность приобретают вопросы качественного и надежного энергоснабжения. Отдельного внимания заслуживают различные автономные объекты, такие как, например, полевые лагеря временного размещения людей, которые могут использоваться в следующих целях: военных, туристических, в условиях чрезвычайных ситуаций при эвакуации людей, для проведения научных исследований в полевых условиях. В данной работе будет представлен проект автономного энергоснабжения «усредненного» полевого лагеря, предназначенного больше для гражданского

использования.

Прототипом для автономного объекта временного размещения людей, использовался Автономный полевой лагерь АПЛ-500 (рис. 1), который представляет собой городок закрытого цикла жизнеобеспечения и предназначен для быстрого создания необходимой инфраструктуры при краткосрочном и долгосрочном развертывании войсковых формирований различного назначения в районах временного и постоянного сосредоточения на неосвоенных местах базирования.



*Рис. 1. Генплан автономного полевого лагеря АПЛ-500*

Лагеря подобного типа представляют собой унифицированный комплект элементов (базовых модулей), что позволяет успешно применять их для решения различных задач: размещения людей при научно-исследовательских экспедициях, при необходимости ликвидации последствий природных и техногенных катастрофах, при процессе строительства объектов на удаленных территориях, при чрезвычайных ситуациях, требующих эвакуацию людей.

Автономный объект включает в себя несколько зон:

- Зона проживания – обеспечивает условия размещения и проживания.
- Специальная зона предназначена для обеспечения условий деятельности командования и дежурных сил по организации.
- Зона питания предназначена для организации мест приготовления и приема пищи.
- Зона медицинского обеспечения предназначена для оказания доврачебной и первой врачебной медицинской помощи в полном объеме, оказания неотложной медицинской помощи, организации и проведения амбулаторного приема, проведения эвакуации пациентов в случае необходимости.
- Зона транспортировочной упаковки предназначена для хранения транспортных контейнеров типа 1С.

- 
- The floor plan shows a building with a central hall (9) and various rooms. The rooms are numbered as follows:
- 1: Eight rectangular rooms arranged in two rows of four.
  - 2: Five rectangular rooms in a single row.
  - 3: Two rectangular rooms.
  - 4: Two rectangular rooms.
  - 5: A small rectangular room.
  - 6: A rectangular room.
  - 7: A rectangular room.
  - 8: A small rectangular room.
  - 9: A large central hall.
  - 10: A large rectangular area at the bottom.
  - 11: A rectangular room.
  - 12: A rectangular room.
  - 13: A rectangular room.
  - 14: A rectangular room.
  - 15: A rectangular room.
  - 16: A rectangular room.
  - 17: A rectangular room.
  - 18: A rectangular room.
  - 19: Two small rectangular rooms.
  - 20: A rectangular room.
  - 21: Ten small rectangular rooms in a single row.
  - 22: Ten small rectangular rooms in a single row.
  - 23: Two small rectangular rooms.
  - 24: A rectangular room.
  - 25: A rectangular room.
  - 26: A rectangular room.
  - 27: A rectangular room.
  - 28: A rectangular room.
  - 29: A rectangular room.
  - 30: A rectangular room.
  - 31: A rectangular room.
  - 32: A small rectangular room.
  - 33: A small rectangular room.

Наименование палаток и модулей представлены в таблице 1.

## Состав автономного полевого лагеря вместимостью 500 человек

№	Наименование	Количество
1	2	3
1	Палатка временного размещения людей	16
2	Модуль проживания руководящего состава штаба АПО временного размещения людей	5
3	Модульный блок (Штаб)	1
4	Модуль дежурного по лагерю	1
5	Модуль КПП	1
6	Модульный блок (мастерская)	1
7	Палатка временного размещения больных	1
8	Модуль медпункта	1
9	Палатка-столовая	1
10	Модуль-кладовая суточного запаса	1
11	Модуль заготовки мяса рыбы овощей	1

Продолжение таблицы 1

1	2	3
12	Модуль приготовления холодных и горячих блюд	1
13	Модуль приготовления горячих блюд	1
14	Модуль - моечная столовой и кухни	1
15	Модуль склада сухих продуктов	1
16	Модуль линии раздачи блюд	1
17	Холодильно-рефрижераторный контейнер	1
18	Палатка для организации прачечной зоны	1
19	Модульный прачечный блок	1
20	Санитарный контейнер пищеблока	1
21	Контейнер туалет	8
22	Контейнер-душевая	8
23	Контейнер-умывальник	3
24	Модуль дизельной Электростанции на 200 Вт	1
25	Модуль РУ 0,4	1
26	Мусоросжигательная дизельная установка	1
27	Система очистки канализационных стоков	1
28	Модуль биоочистки и сепарации твердых фракций	1
29	Блок Водоподготовки	1
30	Блок накопления и хранения очищенной воды	1
31	Модуль хранения дизельного топлива	1
32	Система освещения	6

Для выбора источников энергии для проектируемого объекта необходимо рассчитать его энергопотребление. Проанализировав паспортные данные оборудования, которое может применяться в подобных лагерях, а также проведя расчеты наружного освещения [1], получили, что электрическая нагрузка лагеря составляет 122,4 кВт.

Для повышения энергосбережения и повышения энергетической эффективности в проекте необходимо реализовать следующие мероприятия:

- подобрать современное технологическое оборудование, отвечающее требованиям всех нормативно-технических документов в области энергоснабжения;
- провести замену дизельного генератора на когенерационные установки с применением ветрогенераторов и солнечных панелей;
- провести замену дизельных обогревателей в жилых палатках и модулях на кварцевые обогреватели с инфракрасным излучением.

Применение когенерационных установок способствует снижению расходов топлива и повышению коэффициента полезного действия дизельного генератора. Теплота, выделяющаяся при работе двигателя, утилизируется при помощи системы теплообменников и в дальнейшем направляется на отопление и горячее водоснабжение столовой, зон бытового обслуживания и санитарно-гигиенического обслуживания.

Количество теплоты, получаемое от системы утилизации когенерационных установок с дизельными двигателями, складывается из теплоты масла, охлаждающей жидкости и выхлопных газов. По результатам экспериментальных данных были

получены зависимости для определения этого количества теплоты [2]:

$$Q_{o.ж} = 62,596 + 0,4932 \cdot P_e - 0,000169 \cdot P_e^2;$$

$$Q_m = 57,164 + 0,3575 \cdot P_e - 0,0003266 \cdot P_e^2;$$

$$Q_{газ} = -26,391 + 1,2305 \cdot P_e - 0,000484 \cdot P_e^2;$$

$$Q_{сум} = Q_{o.ж} + Q_m + Q_{газ},$$

где  $Q_{o.ж}$  – количество теплоты, получаемое от дизельного двигателя с охлаждающей жидкостью, кВт;  $Q_m$  – количество теплоты, получаемое от дизельного двигателя с маслом, кВт;  $Q_{газ}$  – количество теплоты, получаемое от дизельного двигателя с выхлопными газами, кВт;  $P_e$  – электрическая мощность дизель-генератора, кВт;  $Q_{сум}$  – суммарное количество теплоты, получаемое от системы утилизации, кВт [2].

Следующим способом повышения эффективности энергоснабжения автономного лагеря является замена дизельных обогревателей на кварцевые. Кварцевый обогреватель – это монолитный электроприбор, состоящий из прессованного кварца с добавлением белой глины и мраморной крошки, позволяющий обогреть небольшие по площади помещения.

Мощность таких обогревателей обычно составляет, примерно, 400 Вт (или 0,4 кВт). Этого хватит, чтобы обогреть хорошо утепленное помещение площадью до 8 – 9 кв. м.

Нагревательным элементом служит никель-хромовая спираль, которая способна нагреть корпус обогревателя до 95°C. Этой температуры достаточно, чтобы быстро прогреть помещение и недостаточно для того, чтобы нагревающая спираль быстро вышла из строя.

Преимущества кварцевых обогревателей:

- небольшая потребляемая мощность (не более 400 – 500 Вт);
- влагостойкость;
- возможность подключения обогревателя на выносной терморегулятор;
- большой гарантийный срок (не менее 3-х лет) и срок службы (не менее 15 – 20 лет).

Применение ветрогенераторов и солнечных панелей позволит существенно снизить расход топлива.

Ветроэнергетика имеет множество преимуществ, которые делают ее одним из наиболее перспективных источников энергии [3]: экологически безопасны – не выделяют углекислый газ в процессе работы; не требуются дополнительных затрат на топливо, которое необходимо при использовании других видов энергии; энергия ветра относится к неисчерпаемым источникам; производство электроэнергии при помощи ветрогенераторов не зависит от колебаний цен на нефть или другое органическое топливо [3].

Преимущества солнечных панелей можно описать следующим образом:

- Во-первых – и в то же время самое очевидное — солнечные панели чрезвычайно экологичны, они не выделяют вредных веществ, а выброс углекислого газа сводится к минимуму.
- Во-вторых, установка фотоэлектрических панелей проста, проблемна и достаточно быстра, поэтому многие компании не требуют особых обязательств от владельца. Основное правило при их установке — необходимость солнечного места [4].

Ветрогенераторы и солнечные панели имеют и свои недостатки. В первую очередь – это зависимость от погодных условий: в отсутствии ветра или прямых солнечных лучей их эффективность будет минимальна. Также к недостаткам можно отнести стоимость ветрогенераторной установки и солнечных панелей.

Однако эти недостатки компенсируются существенной экономией затрат на приобретение и транспортировку дизельного топлива. Рассмотрим этот аспект подробнее.

В лагере АПЛ-500 применяются дизельные генераторы типов ДЭС-300 и ДЭС-200 с характеристиками, представленными в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Технические характеристики ДЭС-300

Наименование характеристики	Значение
Мощность номинальная	300 кВт
Мощность максимальная	330 кВт
Напряжение	230 В
Частота вращения двигателя	1500 об/мин
Топливо	дизель
Объем топливного бака	600 л
Частота	50 Гц

Таблица 3

Технические характеристики ДЭС-200

Наименование характеристики	Значение
Мощность номинальная	200 кВт
Мощность максимальная	220 кВт
Напряжение	230 В
Частота вращения двигателя	1500 об/мин
Топливо	дизель
Объем топливного бака	450 л
Частота	50 Гц

По предварительным расчетам получается, что для выработки 1 кВт электроэнергии требуется 0,5 л сгораемого топлива. Из этого получается, что для выработки необходимого количества энергии, при использовании ДЭС-300 и ДЭС-200 в сутки будет потребляться 1664,5 л дизельного топлива. При средней рыночной стоимости дизельного топлива 70,44 рубля за литр, общая стоимость сгораемого в

сутки топлива будет 117 247, 38 рублей.

Также по предварительным данным были подобраны ветрогенераторы и солнечные панели, характеристики которых представлены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4

Технические характеристики ветрогенераторов

Наименование характеристики	Значение
Количество	15 штук
Мощность номинальная	20 кВт
Мощность максимальная	22 кВт
Напряжение	240 В
Стартовая скорость ветра	2,5 м/с
Номинальная скорость ветра	11 м/с
Рабочий диапазон	3-20 м/с
Коэффициент использования энергии ветра	Более 0,42
Частота генератора	0-50 Гц
Номинальный ток	65 А
Максимальный ток	70 А

Таблица 5

Технические характеристики солнечных панелей

Наименование характеристики	Значение
Количество	100
Мощность номинальная	4,8 кВт
Напряжение	48 В
Скорость батареи	400 А/ч
Коэффициент использования энергии ветра	Более 0,22
Частота генератора	0-50 Гц
Номинальный ток	14 А

Замена ДЭС-300 на указанные солнечные панели и ветрогенераторы приведет к уменьшению суточного расхода дизельного топлива, примерно, на 900 литров. Что в денежном эквиваленте будет 70 348,4 рублей. Таким образом, экономия в сутки составит 70 348,4 рублей, а в месяц экономия будет 2 110 452,8 рубля.

Полученные данные предварительных расчетов говорят об эффективности внедряемых мероприятий. Но также остается множество факторов, которые необходимо учитывать, а следовательно, нужно провести более подробные расчеты, включающие в себя и мероприятия по обеспечению безопасности при эксплуатации проектируемой системы энергоснабжения автономного полевого лагеря.

Литература

1. Анастасиев, В. Н. Основы электроснабжения / Анастасиев, В. Н. – Москва : Энергия, 2015. – 264 с.
2. Гребнев, В. М. Метод расчета системы утилизации теплоты стационарной энергетической установки / В. М. Гребнев, А. В. Разуваев, Д. А. Костин // Двигателестроение. – 2013. – № 4(254). – С. 37-41.
3. Агапитов, А. Е. Ветроэнергетические установки: проектирование и

эксплуатация / Агапитов, А. Е. – Москва : Энергоиздат, 2020. – 250 с.

4. Бурматов, А. В. Современные солнечные панели: технологии и применение / А. В. Бурматов. – Москва : Энергомир, 2021. – 250 с.

УДК 53.084.4: 621.311.25

**Достоверность оценки диагностических параметров при проверке  
электроприводной арматуры атомной электростанции**

Крапивко Екатерина Николаевна, студент кафедры «Атомной энергетики»;

Ермилов Иван Викторович, студент кафедры «Атомной энергетики»;

Волгодонский инженерно-технический институт

Филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»,

г. Волгодонск;

*В статье представлены результаты исследований, направленных на разработку переносного комплекса для проведения оперативной безразборной диагностики и тарировки ограничителей крутящего момента электроприводной арматуры (ЭПА) атомных электростанций. Описаны методы и средства технического диагностирования ЭПА, позволяющие повысить надежность ее работы.*

*Разработанный переносной комплекс (ПК ОКМП) совмещает функции оперативной диагностики ЭПА по сигналам питающей сети привода с его тарировкой путем одновременной регистрации указанных электрических параметров и крутящего момента по месту эксплуатации ЭПА. Результаты экспериментальных исследований подтвердили возможность совмещения работ по оперативной диагностике ЭПА и тарировке ее привода с применением ПК ОКМП, а также достоверность оценки диагностических параметров, не превышающую 6,5% от действующей величины момента затяга.*

Безопасность эксплуатации атомных станций во многом обеспечивается надежностью работы технологического оборудования энергоблоков АС. Для поддержания проектного уровня эксплуатационной безопасности и функциональной пригодности оборудования АС, сведения к минимуму аварийных отказов необходимо поддерживать в работоспособном состоянии электроприводную арматуру, оценивая её техническое состояние с использованием методов и средств технического диагностирования.

Статистика эксплуатационных дефектов электроприводной арматуры атомных станций, говорит, что значительная часть дефектов электроприводной арматуры (ЭПА) АЭС, возникающих при эксплуатации, представляет собой негерметичность в затворе и различного рода дефекты подвижных частей – тугой ход, низкая плавность хода, заклинивание, отсутствие затяга запорного органа, отрыв штока и т.д. Часть таких

дефектов носит износостойкий характер, а часть – обусловлена некорректной настройкой моментных и концевых выключателей привода [1, 2]. Некорректное значение крутящего момента привода, передаваемое на запорный орган ЭПА, может привести как к негерметичности в затворе, так и к повреждениям подвижных частей арматуры.

Чтобы при эксплуатации определить крутящий момент, развиваемый электроприводом арматуры, нужно измерить потребляемую им мощность и пересчитать ее в момент по тарировочной характеристике.

В связи с этим надёжность электропривода трубопроводной арматуры по отношению к отказам перечисленных типов может быть повышена путём повышения глубины обнаружения дефектов электропривода, кинематической цепи «электропривод – запорный орган», и непосредственной оценки негерметичности в затворе электроприводной арматуры. С этой целью разработана и внедряется комплексная система оперативной диагностики, в составе которой находится разрабатываемый комплекс для проведения оперативной безразборной диагностики и тарировки ограничителей крутящего момента электроприводной арматуры по месту её эксплуатации.

Переносной комплекс для проведения оперативной безразборной диагностики и тарировки ограничителей крутящего момента ЭПА по месту ее эксплуатации» (ПК ОКМП) совмещает функции оперативной диагностики ЭПА по сигналам силы тока и напряжения питающей сети привода с его тарировкой путем одновременной регистрации указанных электрических параметров и крутящего момента по месту эксплуатации ЭПА. Для более качественного и оптимизированного планово-предупредительного ремонта требуется сокращение объемов работ в данный период, с чем поможет использование ПК ОКМП. ПК ОКМП включает: измерительный преобразователь напряжения, первичные преобразователи силы тока, напряжения и крутящего момента.

Тарировка электропривода обеспечивается путем одновременной регистрации электрических сигналов и фактического крутящего момента электропривода на месте его установки на ЭПА. В настоящее время известны ЭПА со встроенными датчиками момента, что позволяет проводить одновременную регистрацию описанных выше параметров, но данное оборудование требует больших затрат на ввод его в эксплуатацию на АЭС. Поэтому подавляющее количество электроприводов запорной арматуры на атомных станциях России не имеет встроенного датчика момента, что требует их тарировки на стенде или с помощью подключения внешнего датчика. Для установки датчика крутящего момента между арматурой и электроприводом применяется

специально разработанная оснастка. Оснастка для измерения крутящего момента по месту эксплуатации ЭПА приведена на рисунке 1.

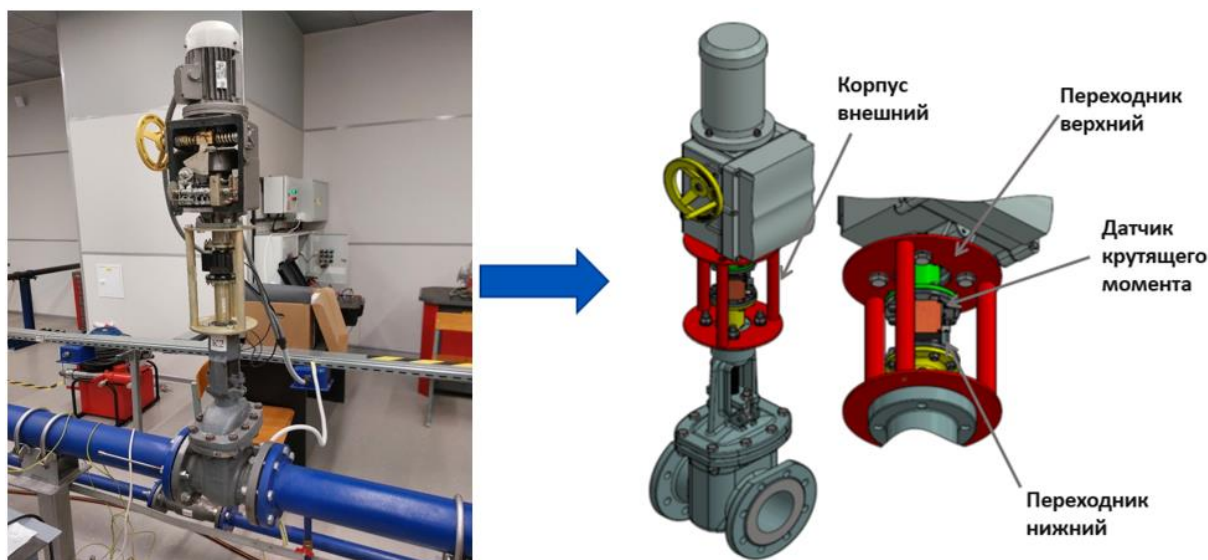


Рис. 1. Оснастка для измерения крутящего момента по месту эксплуатации ЭПА

Изготовление специальной оснастки для установки датчика крутящего момента и экспериментальное подтверждение возможности совмещения регистрации электрических диагностических параметров с измерением крутящего момента позволили перейти к проведению серии испытаний.

Для оценки технического состояния ЭПА используют набор более чем из 30 параметров, являющихся результатом обработки исходных сигналов диагностических величин: сила тока, напряжение, крутящий момент. При этом процедура экспресс-анализа подразумевает оценку по ограниченному набору параметров, описанному ниже. [3]

Для расчёта диагностических параметров используют демодулирование сигналов – удаление из них гармоник сетевого напряжения (50 Гц) как не несущей диагностической информации. В данной работе для этого использовано взятие огибающей методом скользящего среднеквадратического значения, где периодом усреднения принят один период сетевой гармоники (1/50 секунды) [4].

Огибающая сигнала  $X$  определяется по формуле:

$$\text{RMS}(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n X^2}{n}}, \quad (1)$$

где  $n$  – количество отсчетов величины.

Этой операции подвергаются сигналы силы тока по фазам А, В, С.

Рассчитывают сигнал мгновенных значений мощности

$$P = U_A \cdot I_A + U_B \cdot I_B + U_C \cdot I_C, \quad (2)$$

Крутящий момент на валу электропривода измеряется напрямую. Результаты

многократной тарировки исследуемых клиновых задвижек типа DN150 и DN125 сведены в таблицы 1 и 2. В качестве измеряемого результата рассматривается коэффициент связи  $K_{св}$ , имеющий физический смысл тангенса угла наклона тарировочной характеристики и размерность Н·м/Вт.

Таблица 1

Результаты анализа неопределенности при тарировке электропривода задвижки DN150

Номер опыта	Коэффициент связи, Н·м/Вт	Расчётный крутящий момент затяга ЭПА, Н·м	Номер опыта	Коэффициент связи, Н·м/Вт	Расчётный крутящий момент затяга ЭПА, Н·м
1	0,147	228,9	9	0,166	214,9
2	0,147	228,9	10	0,171	210,9
3	0,149	222,9	11	0,168	211,9
4	0,148	226,9	12	0,155	213,9
5	0,156	217,9	13	0,164	213,9
6	0,148	226,9	14	0,167	208,9
7	0,155	216,9	15	0,169	210,9
8	0,156	217,9	16	0,153	212,9
Результаты обобщения					
Величина			Коэффициент связи		Расчётный крутящий момент затяга ЭПА
Математическое ожидание			0,157 Н·м/Вт		217,8 Н·м
Стандартное отклонение			0,008 Н·м/Вт		6,88 Н·м
Относительная погрешность (коэффициент вариации)			5,3 %		3,2 %

Таблица 2

Результаты анализа неопределенности при тарировке электропривода задвижки DN125

Номер опыта	Коэффициент связи, Н·м/Вт	Расчётный крутящий момент затяга ЭПА, Н·м	Номер опыта	Коэффициент связи, Н·м/Вт	Расчётный крутящий момент затяга ЭПА, Н·м
1	0,621	46,675	9	0,700	50,875
2	0,602	42,075	10	0,666	46,175
3	0,573	48,975	11	0,629	52,375
4	0,637	48,275	12	0,592	45,175
5	0,629	48,175	13	0,657	51,275
6	0,624	48,375	14	0,620	50,075
7	0,631	46,375	15	0,564	52,875
8	0,700	50,875	16	0,600	51,175
Результаты обобщения					
Величина			Коэффициент связи		Расчётный крутящий момент затяга ЭПА
Математическое ожидание			0,623 Н·м/Вт		48,6 Н·м
Стандартное отклонение			0,035 Н·м/Вт		2,96 Н·м
Относительная погрешность (коэффициент вариации)			5,6 %		6,1 %

Испытания в целях утверждения типа средства измерения показали, что погрешность измерения крутящего момента ПК ОКМП не превышает 0,6-0,8 Н·м. Таким образом, общая погрешность тарировки может быть определена как суперпозиция погрешности снятия тарировочной характеристики и погрешности расчёта по ней крутящего момента.

Итоговая погрешность составила не более 6,5 % от действующей величины момента затяга. Учитывая требование по 10 %-й точности срабатывания ОКМП привода, результаты тарировки могут считаться достоверными и корректно описывать техническое состояние и правильность настройки блока выключателей электропривода арматуры АЭС.

Результаты анализа показали, что оснастка для измерения крутящего момента по месту эксплуатации ЭПА влияет только на время выбега двигателя, увеличивая его приблизительно на 10 %. Прочие параметры, полученные в процессе тарировки привода, могут быть использованы для оперативной диагностики, поскольку на них наличие или отсутствие оснастки с датчиком крутящего момента не влияет.

Результаты исследований демонстрируют эффективность разработанного переносного комплекса ПК ОКМП для оперативной диагностики и тарировки электроприводной арматуры атомных электростанций, что позволяет повысить надежность и безопасность их эксплуатации.

#### Литература

1. Мозжечков, В.А., Холматов, А.З. Автоматическое управление моментом силы уплотнения электроприводной трубопроводной арматуры. Известия тульского государственного университета. Технические науки / Мозжечков В.А., Холматов А.З. [Электронный ресурс] // [сайт]. — URL: [https://tidings.tsu.tula.ru/tidings/pdf/web/preview\\_therest\\_ru.php?x=tsu\\_izv\\_technical\\_sciences\\_2015\\_09&year=2015](https://tidings.tsu.tula.ru/tidings/pdf/web/preview_therest_ru.php?x=tsu_izv_technical_sciences_2015_09&year=2015) (дата обращения: 02.04.2025).;
2. Подрезова, И.С., Шутова, Л.В., Ульянова, Ю.Е., Пугачева, О.Ю., Елзов, Ю.Н. Анализ причин заклинивания и обрывов штоков трубопроводной электроприводной арматуры. Глобальная ядерная безопасность. 2014;4(13):32–37. Режим доступа: <http://gns.mephi.ru/sites/default/files/journal/file/ru.2014.4-5.pdf>
3. Синельщиков, П.В., Бабенко, Р.Г. Расчет крутящего момента электроприводной арматуры по сигналам тока и напряжения // Глобальная ядерная безопасность. 2014. №4 (13). С. 28-31.
4. Лапкис, А.А., Цыхлер, Л.В., Никифоров, В.Н., Егорова, В.П. Анализ погрешности тарировки электропривода запорной арматуры АЭС. Глобальная ядерная безопасность. 2024;14(4):80-90. <https://doi.org/10.26583/gns-2024-04-08>. EDN: TGXPIS

**Методические положения расчета системной топливной эффективности  
комбинированных гибридных установок на базе топливных элементов**

Никулина Екатерина Николаевна, аспирант кафедры

«Тепловая и атомная энергетика им. Андрющенко А.И.»;

Ларин Евгений Александрович, кандидат технических наук,

профессор кафедры «Тепловая и атомная энергетика им. Андрющенко А.И.»

Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.,

г. Саратов

*В статье изложены методические положения расчета системной топливной эффективности комбинированных гибридных установок на базе топливных элементов (ТЭ). Разработан подход, учитывающий энергозатраты на подготовку топлива, работу вспомогательного оборудования и утилизацию тепла, помимо эффективности преобразования энергии в самом ТЭ. Показано, что системные характеристики оказывают значительное влияние на общую эффективность гибридных установок. Разработанные положения применимы для оптимизации, проектирования и эксплуатации, комбинированных гибридных теплоэнергетических установок на базе топливных элементов.*

Топливные элементы (ТЭ) представляют собой устройства, которые осуществляют непосредственное преобразование химической энергии топлива в электрическую. Этот процесс осуществляется без необходимости преобразования энергии через промежуточные ступени (из химической в тепловую, из тепловой в механическую, из механической в электрическую). Поэтому ТЭ обладают значительным потенциалом для совершенствования теплоэнергетических установок, благодаря их высокой эффективности и экологической безопасности [1].

Топливный элемент состоит из двух электродов, окруженных электрическими камерами с ионным проводником (электролитом) между ними. На одном электроде осуществляется процесс электроокисления топлива, который в электрохимии назван анодом, в ТЭ его также именуют топливным электродом. На втором электроде происходит электрохимическое восстановление окислителя, обычно кислорода, который называется катодом. В электролите осуществляется перемещение ионов с положительным и отрицательным зарядами. Ионный проводник служит для разделения окислителя и восстановителя. Во время действия ТЭ (рис. 1) на аноде и катоде происходит реакция с помощью проводника первого рода, по которому электроны перетекают от анода к катоду, выполняя при этом полезную работу [2].

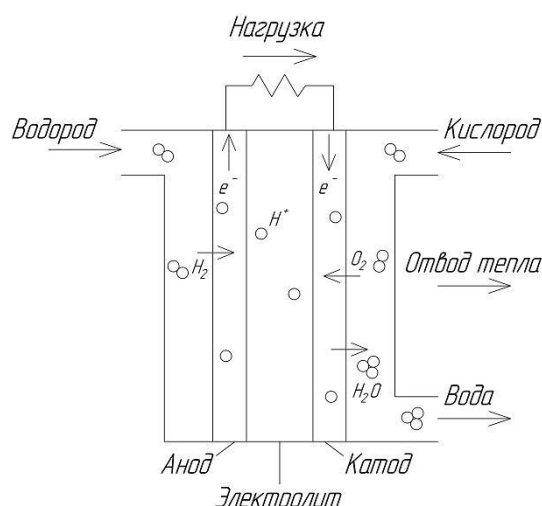


Рис. 1. Принципиальная схема работы ТЭ

Твердоокисленные топливные элементы (ТОТЭ) представляют собой одну из перспективных технологий, способных повысить эффективность использования топлива для выработки электрической энергии.

ТОТЭ обладают рядом ключевых преимуществ по сравнению с традиционными источниками энергии и энергетическими системами. Они обеспечивают повышение коэффициента полезного действия до 60% и выше, в то время как эффективность традиционных тепловых электростанций не превышает 40% [3]. Это позволяет не только снизить затраты на топливо, но и уменьшить выбросы парниковых газов и других загрязняющих веществ в окружающую среду.

Токообразующую реакцию в топливном элементе при применении водорода в качестве топлива можно записать в виде:



Электродвижущую силу (ЭДС) топливного элемента можно вычислить по формуле:

$$E_s = -\Delta G / nF, \quad (2)$$

где  $\Delta G$  – уменьшение свободной энергии (энергия Гиббса);  $n$  – число моль - эквивалентов на 1 моль превращенного вещества;  $F$  – постоянная Фарадея ( $F \approx 96500$  Кл/моль-экв).

Выражение для расчета ЭДС реакции (1) с учетом парциальных давлений газов принимает вид:

$$E_s^{H_2O} = E_s^0 + \left( 2,3RT / (4F) \right) \lg \left( p_{H_2}^2 p_{O_2} / p_{H_2O}^2 \right), \quad (3)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $p$  – парциальное давление вещества;  $T$  – абсолютная температура;  $E_s^0$  – стандартная ЭДС, связанная с изменением стандартной

энергией Гиббса  $\Delta G^0$  соотношением:

$$E_{\text{э}}^0 = -\Delta G^0 / nF . \quad (4)$$

Уравнение расчета идеального термического КПД ТЭ примет вид:

$$\eta_m = \Delta G / \Delta H = -nFE_{\text{э}} / \Delta H , \quad (5)$$

где  $\Delta H$  – изменение энтальпии в результате протекания токообразующей реакции (1).

Напряжение ТЭ оказывается ниже ЭДС в связи с омическим сопротивлением электролита и электродов, поляризации катода и анода, вычисляется согласно формуле:

$$U = E_{\text{э}} - \Delta E - IR , \quad (6)$$

где  $\Delta E$  – сумма поляризаций анода и катода;  $I$  – ток;  $R$  – активное сопротивление ТЭ, в основном, сопротивление электролита.

Эффективный КПД ТЭ вычисляется с учетом энергии, полученной в ТЭ, отнесенной к количеству подведенной к нему энергии:

$$\eta_{\text{эф}} = nFU\eta_F / (-\Delta H) = \eta_m\eta_u\eta_F , \quad (7)$$

где  $\eta_u$  – КПД по напряжению ( $\eta_u = U / E_{\text{э}}$ );  $\eta_F$  – фарадеевский КПД (степень использования топлива в ТЭ), учитывающий неполное использование теплоты реакции окисления топлива, равный отношению количества электрической энергии  $\mathcal{E}_p$ , реально полученного от 1 моль восстановителя (топлива), к теоретическому количеству электроэнергии  $\mathcal{E}_T = nF$ :

$$\eta_F = \mathcal{E}_p / \mathcal{E}_T . \quad (8)$$

Главными преимуществами ГЭУ являются высокий КПД и сниженные выбросы вредных веществ. Одной из основных проблем при оптимизации ГибЭУ является большое количество независимых параметров. Для каждого графика тепловых и электрических нагрузок необходимо определить основное оборудование, расход топлива и оптимизировать совместную работу ТЭ с теплоэнергетической установкой, что приводит к масштабированию задачи.

КПД ЭХГ вычисляется из уравнения:

$$\eta_{\text{ЭХГ}} = \eta_m\eta_u\eta_F\eta_{\text{с.н.}} , \quad (9)$$

где  $\eta_{\text{с.н.}}$  – КПД, учитывающий потребление электрической энергии на собственные нужды ЭХГ.

При использовании газотурбинных установок (ГТУ), суммарный КПД ГЭУ при

параллельной подаче топлива в ЭХГ и ГТУ вычисляется путем сложения КПД ЭХГ и КПД ГТУ:

$$\eta_{ГубЭУ} = \beta \eta_U \eta_F \eta_{с.н.} + \eta_{ГТУ} (1 - \beta \eta_U \eta_F), \quad (10)$$

где  $\beta$  – доля топлива, подаваемого в ЭХГ;  $\eta_{ГТУ}$  – КПД ГТУ.

Из (10) следует, что термодинамическая эффективность гибридных энергоустановок (ГЭУ) зависит от ряда факторов, важнейшими из которых являются степень повышения давления воздуха в компрессоре, температура газа перед газовой турбиной и поляризационные потери в ТЭ. Кроме того, расчетными исследованиями установлено, что термодинамическая эффективность ГТУ существенно ниже, чем топливных элементов. Поэтому общая эффективность гибридных установок с ростом температуры перед ГТУ снижается вследствие того, что мощность ГТУ ниже, чем ГЭУ.

Системная топливная эффективность от комбинированной выработки ГЭУ по сравнению с раздельным производством:

$$\Delta B_{ЭК} = (B_{КЭС} + B_{КОТ}) - B_{ПГУ\ ТЭЦ} - \Delta B_{РЕЗ}^{сис}, \quad (11)$$

где  $B_{КЭС}$  – расход топлива на КЭС;  $B_{КОТ}$  – расход топлива на отопительных котельных;  $B_{ГЭУ}$  – расход топлива на ГЭУ;  $\Delta B_{РЕЗ}^{сис}$  – расход топлива резервных агрегатов для обеспечения заданного уровня надежности системы тепло- и электроснабжения потребителей.  $B_{КЭС}$  и  $B_{КОТ}$  определяются по формулам:

$$B_{КЭС} = \mathcal{E}_{КЭС}^{раз} / (\eta_{э}^{КЭС} Q_n^p), \quad B_{КОТ} = Q_{max}^{раз} / (\eta_{кот} Q_n^p), \quad (12)$$

где  $\mathcal{E}_{КЭС}^{раз}$  – электроэнергия, выработанная на КЭС раздельным способом;  $\eta_{э}^{КЭС}$  – электрический КПД КЭС;  $Q_{max}^{раз}$  – тепловая энергия, выработанная на котельной раздельным способом.

Величина удельной относительной экономии топлива в системе от использования ГЭУ составит:

$$\beta_T = \Delta B_{ЭК}^{сист} / B_{ПГУ\ ТЭЦ}. \quad (13)$$

Из соотношения (13), целесообразно считать, что системная экономия топлива при использовании гибридных установок ТЭТЭ/ГТУ топливо экономится прежде всего за счет больших показателей КПД по выработки электрической энергии.

Величина КПД электрохимического генератора рассчитывалась по формуле

$$\eta_{ЭХГ} = \eta_m \eta_U \eta_F \eta_{с.н.}, \quad (14)$$

где  $\eta_{с.н.}$  – КПД, учитывающий потребление электрической энергии на собственные нужды ЭХГ;  $\eta_m$  – термодинамический КПД;  $\eta_U$  – КПД по напряжению;  $\eta_F$  –

отношение количества электричества, полученного от 1 моля топлива в батарее ТЭ к теоретическому количеству электричества по закону Фарадея.

Таким образом, суммарный КПД гибридной энергоустановки с учётом расходов топлива в ЭХГ и газотурбинной установке вычисляется по формуле:

$$\eta_{ГЭУ} = \beta \eta_U \eta_F \eta_{с.н.} + \eta_{ГТУ} (1 - \beta \eta_U \eta_F), \quad (15)$$

где  $\beta$  – доля топлива, подаваемого в ЭХГ;  $\eta_{ГТУ}$  – КПД газотурбинной установки.

Из (14) и (15) следует, что термодинамическая эффективность гибридных установок зависит от ряда факторов, важнейшими из которых являются степень повышения давления воздуха в компрессоре, температура газа на входе в газовую турбину и поляризационные потери в ТЭ. Расчётными исследованиями установлено, что термодинамическая эффективность газотурбинной установки существенно ниже, чем топливных элементов. Поэтому общая эффективность гибридных установок с ростом температуры перед входом в газовую турбину снижается вследствие того, что мощность ГТУ ниже, чем ГЭУ. Данное обстоятельство ставит задачу оптимизации начальной температуры на входе в газовую турбину.

Системная топливная эффективность от комбинированной выработки тепловой и электрической энергии ГЭУ по сравнению с отдельной выработкой определится из соотношения:

$$\Delta B_{ЭК} = (B_{КЭС} + B_{КОТ}) - B_{ГЭУ} - \Delta B_{РЕЗ}^{сис}, \quad (16)$$

где  $B_{КЭС}$  – расход топлива на конденсационной паротурбинной электростанции;  $B_{КОТ}$  – расход топлива на отопительной котельной;  $B_{ГЭУ}$  – расход топлива на исследуемой гибридной установке;  $\Delta B_{РЕЗ}^{сис}$  – величина расхода топлива резервными установками для обеспечения заданного уровня надёжности систем теплоэнергоснабжения потребителей.

При определении величины системной экономии топлива учтены потери электрической и тепловой энергии в сетях в сравниваемых вариантах. Величина удельной относительной экономии топлива в системе от использования гибридных установок составит:

$$\beta_T = \Delta B_{ЭК}^{сист} / B_{ГЭУ}. \quad (17)$$

Из уравнений (16) и (17) следует, что системная экономия топлива при использовании гибридных ТЭУ обеспечивает экономию топлива в основном за счёт более высокого КПД выработки электроэнергии.

В работе представлены методические положения, позволяющие комплексно оценивать системную топливную эффективность комбинированных гибридных

установок на базе топливных элементов. Разработанная математическая модель позволяет анализировать влияние различных факторов на системную эффективность гибридных установок. Результаты исследований демонстрируют, что оптимизация системных технических решений, таких как утилизация тепла и снижение энергозатрат на подготовку топлива, имеет решающее значение для достижения значительной экономии топлива. Предложенные методические положения могут быть использованы при исследовании и оптимизации гибридных установок на базе ТЭ, а также для сравнения различных технологических решений с точки зрения эффективности использования топливных ресурсов. Использование разработанных методических положений позволит повысить энергетическую эффективность, снизить выбросы и повысить конкурентоспособность комбинированных гибридных установок на базе ТЭ.

#### Литература

1. Стационарные энергетические установки с топливными элементами: материалы, технологии, рынки / С.И. Бредихин, А.Э. Голодницкий, О.А. Дрожжин, С.Я. Истомин и др. – Москва : НТФ «Энергопрогресс» Корпорации «ЕЭЭК», 2017. – 392 с.
2. Никулина, Е. Н. Моделирование и анализ энергетических характеристик комбинированных установок на базе топливных элементов / Е. Н. Никулина, Е. А. Ларин, А. А. Соколов // Энергетик. – 2025. – № 3. – С. 33-38.
3. Филиппов, С. П. Топливные элементы и водородная энергетика / С. П. Филиппов, А. Э. Голодницкий, А. М. Кашин // Энергетическая политика. – 2020. – № 11(153). – С. 28-39.

УДК 004.27

#### Современные процессорные архитектуры

Никонов Андрей Андреевич, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

Грицюк Светлана Николаевна, 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 статье проведен анализ архитектур современных микропроцессоров. Составлена классификация архитектур микропроцессорных устройств по принципу построения, типу системы команд, формату данных операндов, числу ядер/потоков. Проанализированы и выявлены достоинства и недостатки архитектур для различных применений.*

Архитектура микропроцессора (МП) – это функциональные возможности аппаратных и электронных средств МП, используемые для представления данных, машинных операций, описания алгоритмов. При разработке архитектуры микропроцессора устанавливаются форматы данных и команд, определяются системы команд и методы адресации, определяются требования к интерфейсам. Понятие архитектуры МП включает внутреннюю структуру, отражающую совокупность компонентов и связей между ними; способы представления и форматы данных; способы обращения к доступным для пользователя элементам структуры; набор операций, выполняемых в МП; способ организации памяти [1]. Классификация современных архитектур микропроцессоров представлена на рисунке 1.



*Рис. 1. Классификации архитектур микропроцессоров*

Принцип построения процессора является ключевым фактором при проектировании и выборе области применения МП. Можно выделить два основных принципа построения архитектуры: фон Неймана и Гарвардская.

Гарвардская архитектура предполагает наличие двух различных хранилищ данных и инструкций, которые передаются к процессору по различным соответствующим шинам памяти и команд. Архитектура фон Неймана (так называемая «принстонская архитектура») подразумевает принцип хранения данных и инструкций в одном разделе памяти. Данные и команды передаются по единой шине с разделением во времени [1]. Упрощенные функциональные схемы обеих архитектур представлены на рисунке 2.

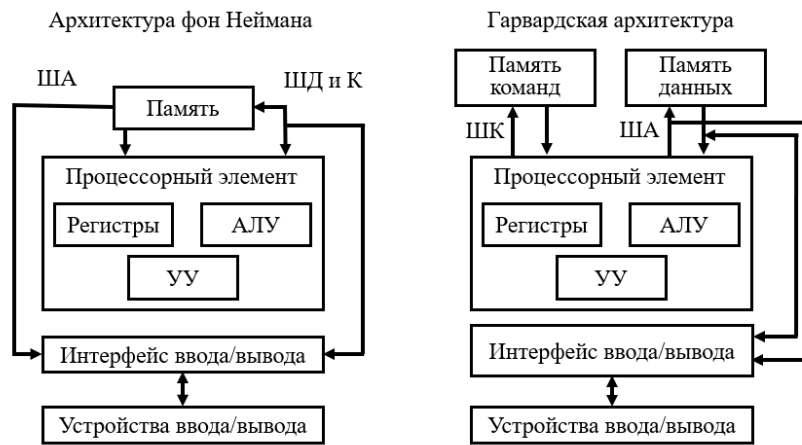


Рис. 2. Схемы фон Неймановской и Гарвардской архитектур МП

При гарвардской архитектуре, за счет того, что передача двоичного кода команды и кода операнда может осуществляться параллельно, выполнение команды по времени может занять один такт, что значительно увеличивает быстродействие. Однако наличие двух шин, кроме увеличения быстродействия, влечёт за собой усложнение системы, так как заставляет процессор работать одновременно с двумя потоками кодов, обслуживать обмен по двум шинам одновременно. Также из-за наличия отдельных хранилищ, память данных и память команд не может иметь большой объём. Это обусловило область применения Гарвардской архитектуры в узкоспециализированных микропроцессорных системах, программируемых логических контроллерах и микроконтроллерах. Например, микроконтроллеры Arduino имеют модифицированную гарвардскую архитектуру.

Преимуществом фон Неймановской архитектуры является возможность гибко перераспределять память между данными и командами. Как правило, в системах с такой архитектурой память бывает довольно большого объема, что позволяет решать самые сложные задачи. Эта особенность позволила фон Неймановской архитектуре стать абсолютным лидером в современных процессорах общего назначения [1].

Следующей важнейшей характеристикой архитектуры МП является тип системы команд, который непосредственно влияет на доступные инструменты и возможности программистов по написанию кода.

CISC (Complex Instruction Set Computer) – тип архитектуры процессора, характеризующийся переменной длиной команд, кодированием арифметических операций в одной команде и ограниченным числом регистров, многие из которых выполняют строго определённые функции. В CISC-процессорах одну команду возможно заменить аналогичной или группой команд, выполняющих ту же функцию. Преимуществом является высокая производительность за счёт возможности замены

нескольких команд одной аналогичной, недостатком – более высокая стоимость по сравнению с RISC-процессорами из-за большей сложности архитектуры, в которой многие команды сложнее декодировать. Представителями CISC-архитектуры являются МП x86 и x86\_64 (AMD64) [2].

RISC (Reduced Instruction Set Computer) – архитектура процессора, в которой увеличение быстродействия достигается за счет упрощения инструкций: их декодирование становится более простым, а время выполнения – меньшим. По сравнению с CISC, эта архитектура имеет постоянную длину команды и меньшее количество похожих инструкций, что позволяет снизить итоговую стоимость процессора и энергопотребление, что особенно важно для мобильных устройств. В общем случае RISC быстрее CISC. Даже если системе RISC приходится выполнять 4-6 команд вместо одной команды CISC, RISC все равно выигрывает в скорости, поскольку команды RISC выполняются в 10 раз быстрее [2]. Примерами RISC-архитектур являются PowerPC и семейство ARM. В частности, на основе PowerPC была разработана микропроцессорная архитектура CELL, которая использовалась в популярной игровой приставке Sony PlayStation 3.

Несмотря на явный выигрыш RISC-архитектуры в скорости, CISC процессоры до сих пор широко применяются. Это происходит из-за того, что x86 процессоры по-прежнему лидируют на рынке настольных компьютеров. А поскольку старые программы работают только на x86, новые микропроцессорные системы также приходится делать совместимыми с ними, чтобы все старые программы и приложения могли работать на новых устройствах.

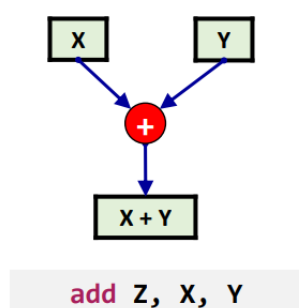
MISC (Minimal Instruction Set Computer) – еще более упрощенная архитектура, используемая в первую очередь с целью дальнейшего снижения стоимости и энергопотребления процессора. Используется в сегменте IoT (Internet of Things, – множество физических объектов, подключенных к интернету и обменивающихся данными, например, умные часы, умные колонки и т.п.) и недорогих компьютерах, таких как маршрутизаторы.

VLIW (Very Long Instruction Word) – архитектура процессоров с несколькими вычислительными устройствами. Характеризуется тем, что с помощью одной команды удается одновременно выполнять сразу несколько операций в разных узлах процессора. Эта архитектура со своим аналогом спекулятивного выполнения команд, только сама спекуляция выполняется во время компиляции, а не во время работы программы. Компиляторы для процессоров этой архитектуры сильно привязаны к конкретным процессорам. Из-за этого, при разработке нового процессора, приходится выбирать

между повышением производительности за счет компиляции и обратной совместимостью со старыми процессором. Примером этой архитектуры служат микропроцессоры Эльбрус-3 и Intel Itanium [3].

Ещё одной основной характеристикой, определяющей сферу применения процессора, является формат данных, над которыми проводятся вычислительные операции. По этому признаку, большинство процессоров делятся на две группы: скалярные и векторные.

Скалярный процессор



Векторный процессор

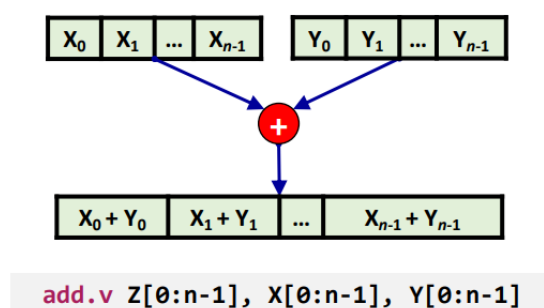


Рис. 3. Различия скалярных и векторных процессоров

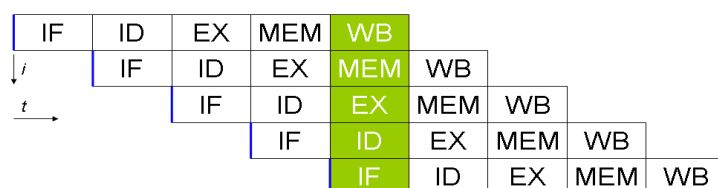
Скалярные процессоры представляют собой категорию вычислительных устройств, предназначенных для последовательной обработки одиночных элементов данных. К таким элементам относятся, в частности, целочисленные и вещественные значения [3].

Развитием скалярных МП являются суперскалярные процессоры. В отличие от скалярного процессора, который может выполнять не более одной инструкции за такт, суперскалярный процессор имеет возможность параллельной обработки. Он способен в течение одного такта либо выполнить, либо инициировать выполнение нескольких инструкций, направляя их в различные функциональные блоки процессора.

Векторный процессор – процессор, поддерживающий на уровне системы команд операции для работы с одномерными массивами – векторами. В отличие от скалярных процессоров, обладающих возможностью обработки лишь одного операнда за единицу времени, данный тип процессора способен оперировать с множеством операндов одновременно.

Среди процессоров общего назначения и CPU – центральных процессоров абсолютное большинство являются суперскалярными или скалярными. Однако в большинстве из современных CPU присутствуют векторные расширения (SSE). Кроме того, векторные процессоры нашли применение в GPU – графических процессорах, где важна быстрая работа с большими объёмами данных [3].

Последней особенностью, которой обладают почти все современные микропроцессоры, является конвейерная организация вычислений, введенная для увеличения быстродействия [3]. Выполнение любой команды процессором обычно требует последовательного выполнения нескольких идентичных действий. К таким действиям относятся: извлечение команды из оперативной памяти, дешифрование команды, определение адреса операнда в оперативной памяти и тому подобные. Вместо ожидания, пока последовательно исполняются все инструкции одной команды, спустя некоторое время, на конвейер поступает следующая команда, которая занимает работой простаивающие узлы конвейера.



*IF - получение инструкции, ID - декодирование инструкции,*

*EX - выполнение, MEM - доступ к памяти, WB - запись в регистр.*

*Рис. 4. Упрощенная схема работы процессорного конвейера*

Использование нескольких параллельных конвейеров позволяет достичь повышения эффективности использования ресурсов процессора, за счет уменьшения времени простоя исполнительного устройства. Такие процессоры называют многопоточными.

По мере развития фотолитографии и уменьшения техпроцесса, на одном кристалле стало возможно разместить два и более независимых ядер общего назначения, сделав процессор многоядерным. Эта технология позволяет снизить энергопотребление МП в несколько раз, при этом не влияя на производительность.

Таким образом, для большинства современных процессоров общего назначения будут характерны следующие архитектурные особенности:

- фон Неймановская архитектура с общей памятью данных и команд;
- набор команд RISC, либо CISC с RISC-ядром;
- многоядерность и многопоточность;
- суперскалярность;
- конвейерность.

К МП такого типа относятся процессоры компании Intel: Pentium, Core/Core 2, Core i7/Core i5/Core i3; процессоры от компании AMD: Athlon/Athlon 64, Phenom I/ Phenom II; процессоры Cyrix III / VIA C3 и VIA Nano от VIA Technologies и многие другие.

Для архитектур современных микроконтроллеров будут характерны:

- гарвардская архитектура с отдельной памятью данных и команд;
- RISC/MISC набор команд;
- скалярность или суперскалярность;
- одноядерность;
- конвейерность.

Примерами таких электронных устройств служат семейство микроконтроллеров AVR, разрабатываемое с 1996 года компанией Atmel, и ARM, разрабатываемых компанией ARM Limited.

#### Литература

1. Русанов, В.В. Микропроцессорные устройства и системы : учебное пособие / В.В. Русанов, М.Ю. Шевелев. – Москва : ТУСУР, 2012. – 184 с.
2. Смирнов, Ю.А. Основы микроэлектроники и микропроцессорной техники : учебное пособие / Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов. – 2-е изд., испр. – Санкт-Петербург : Лань, 2013. – 496 с.
3. Ледин, Д. Современная архитектура и устройство компьютеров / Джим Ледин. – Санкт-Петербург : BHV, 2024. – 656 с.

УДК 616-77

#### Создание прототипа протеза руки

Богачев Глеб Вадимович, студент специальности «Радиосистемы и комплексы»;

Пузыня Кирилл Юрьевич, преподаватель специального  
профессионального образования;

Яковлева Полина Сергеевна, студент специальности «Проектирование  
технологических машин и комплексов»

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

*В статье рассматривается вопрос о применении технологий 3D-печати в протезировании, обозначается актуальность применения аддитивных технологий на практике для создания прототипа протеза руки. Изучаются программы для 3D-моделирования будущей конструкции прототипа, виды пластика, его прочностные характеристики и способы печати на принтере. Также рассматриваются протезы-аналоги, их особенности, конструкции и принцип работы. В статье описывается процесс разработки конструкции в среде 3D-моделирования, для ее изготовления применяется метод 3D-печати составляющих, а также их последующая сборка и тестирование функционала прототипа. Рассматривается вопрос о применении 3D-печати в производстве протезов с целью его удешевления.*

Сегодняшний мир технологий и инноваций требует высокопрофессиональных специалистов в области технического 3D-моделирования. Этот процесс стал неотъемлемой частью разработки новых технических решений, создания инновационных продуктов и улучшения производственных процессов.

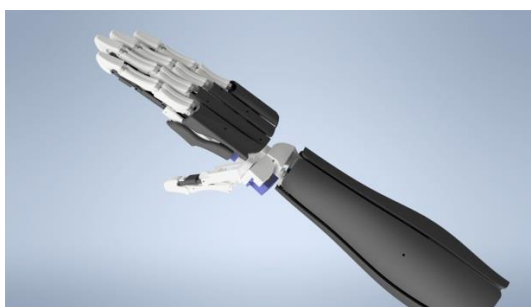
Современный специалист по техническому 3D-моделированию должен быть оснащен широкими знаниями в области компьютерной графики, инженерии, математики и дизайна. Он должен владеть специализированными программами для создания трехмерных моделей, такими как AutoCAD, SolidWorks, Компас-3Д и другими.

Подобные специалисты нужны в любых средах работы, например – медицина. Протезы руки играют важную роль в улучшении качества жизни людей с ампутированными или поврежденными конечностями.

С развитием современных технологий становится все более доступным изготовление протезов, способных восстанавливать основные функции руки, такие как захват и управление предметами [1]. В данной статье мы рассмотрим процесс изготовления прототипа протеза руки с использованием передовых методов проектирования и производства.

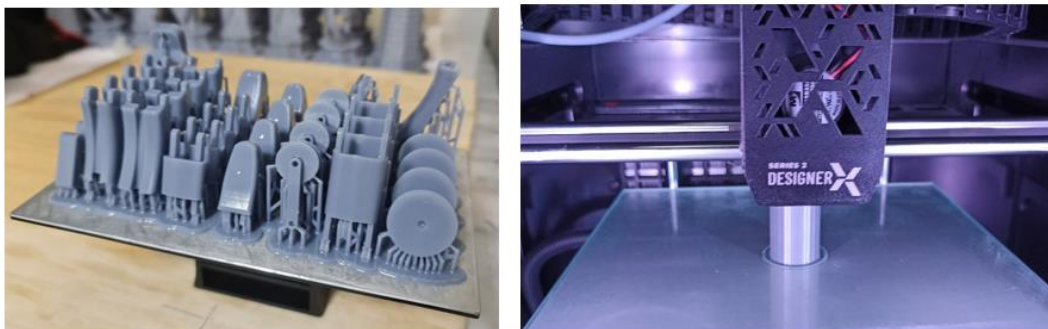
Для изготовления прототипа протеза руки мы использовали комбинацию механического моделирования и 3D-печати. В начале процесса был проведен анализ анатомии руки и определены необходимые функции, которые должен выполнять протез [2]. Затем была создана механическая модель протеза с учетом всех анатомических особенностей и функций.

Далее, с использованием специализированного программного обеспечения была создана 3D-модель протеза (рис. 1).



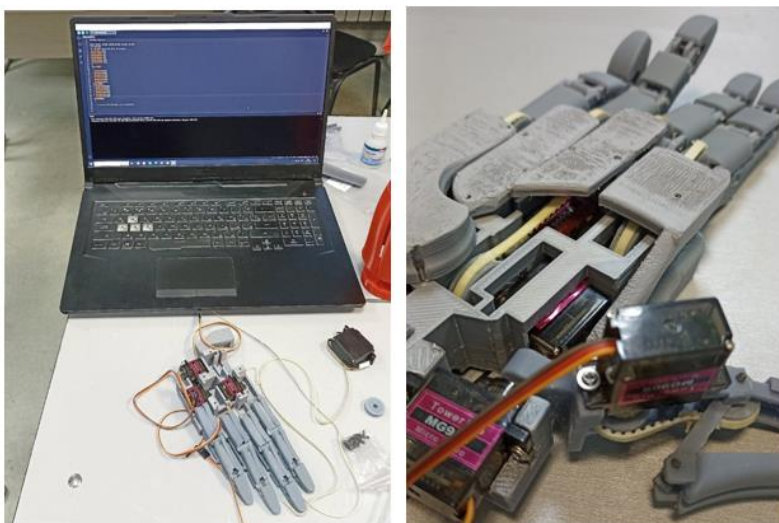
*Рис. 1. 3D модель протеза руки*

После этапа конструирования модели было осуществлено прототипирование с помощью 3D-печати на принтере всех необходимых деталей конструкции прототипа (рис. 2). Для печати крупногабаритных деталей был выбран ABS-пластик, так как именно он показал хорошие прочностные свойства и выдержит вес конструкции. Для печати малых деталей, требующих высокой детализации был выбран метод SLA-печати.



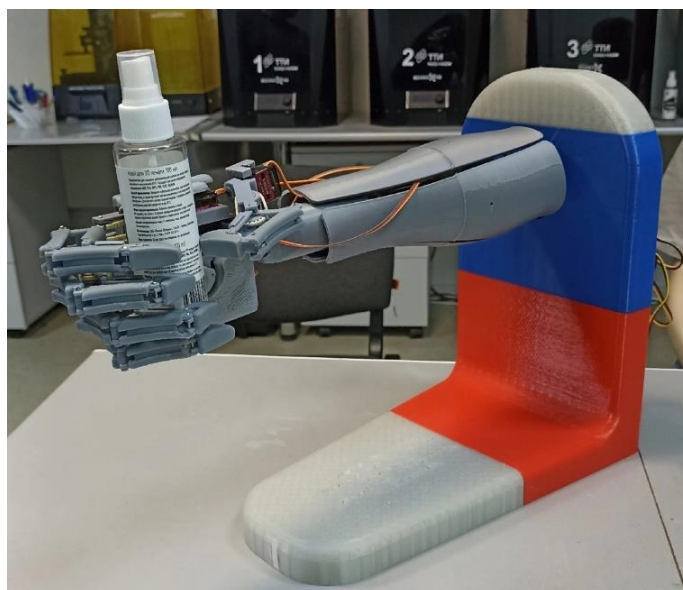
*Рис. 2 Процесс печати составляющих прототипа*

Далее детали были собраны в единую конструкцию, установлены сервоприводы, проведены необходимые настройки и тестирование прототипа (рис. 3).



*Рис. 3 Процесс тестирования работы сервоприводов*

По завершению работы, изготовленный прототип протеза руки продемонстрировал хорошую устойчивость, механическую прочность и способность выполнять основные функции руки (рис. 4).



*Рис. 4 Изготовленный прототипа протеза руки*

Изготовление прототипа протеза руки с использованием передовых методов проектирования и производства может значительно улучшить качество жизни людей с ограниченными возможностями, а также снизить стоимость изготовления протезов.

Дальнейшие исследования и разработки в данной области позволят создавать все более функциональные и удобные протезы, которые могут стать незаменимыми помощниками для людей с потерей конечности.

#### Литература

1. Круглов, А.В. Антропология киборга : руководство по протезированию верхних конечностей / А.В. Круглов. – Москва : Эксмо, 2023 – 352 с.

2. Бильгильдеев, М.Г. Протезирование конечности / Бильгильдеев М.Г., Осмоналиев И.Ж., Байкеев Р.Ф. // Практическая медицина. – 2021. – Т. 19. – №4. – С. 146–152.

УДК 303.732

#### **Применение системного анализа в управлении атомными электростанциями**

Пустынников Алексей Александрович

Балаковская атомная электростанция, г.Балаково

*Системный анализ является мощным инструментом для решения сложных инженерных и управленческих задач. В атомной энергетике он играет ключевую роль в обеспечении безопасности, надёжности и эффективности работы атомных электростанций (АЭС). В данной статье рассматриваются основные аспекты применения системного анализа в управлении и эксплуатации АЭС, включая анализ рисков, оптимизацию процессов и принятие решений. Приводятся примеры конкретных случаев применения системного анализа на российских и зарубежных АЭС, а также обсуждаются перспективы его дальнейшего развития в контексте цифровизации и внедрения новых технологий.*

Атомная энергетика является одной из важнейших отраслей современной промышленности, обеспечивающей значительную долю мировой потребности в электроэнергии. Однако эксплуатация АЭС связана с множеством рисков и сложностей, требующих тщательного анализа и управления. Системный анализ предоставляет эффективный подход к решению этих задач, позволяющий учитывать множество факторов и взаимосвязей между ними.

Цель настоящей статьи — рассмотреть применение системного анализа в управлении и эксплуатации АЭС, продемонстрировать его значимость и потенциал для повышения безопасности и эффективности работы атомных электростанций.

Основные аспекты системного анализа в АЭС

## 1. Анализ рисков

Системный анализ позволяет проводить всесторонний анализ рисков, связанных с эксплуатацией АЭС. Включает в себя идентификацию потенциально опасных событий, оценку их вероятности и последствий, а также разработку мер по их предотвращению и смягчению. Примером может служить анализ аварийных ситуаций, таких как утечка радиоактивных материалов или выход из строя оборудования [1, 2].

Таблица 1

Типичные риски на АЭС и их анализ

Риски	Методы анализа
Утечка радиоактивных материалов	Вероятностный анализ, моделирование сценариев
Выход из строя оборудования	Анализ отказов, дерево неисправностей
Человеческий фактор	Анализ эргономики, тренинг персонала
Внешние воздействия	Анализ воздействия природных явлений

## 2. Оптимизация процессов

Системный анализ помогает оптимизировать производственные процессы на АЭС, улучшая их эффективность и снижая затраты. Это включает в себя оптимизацию загрузки топлива, планирование технического обслуживания и ремонтных работ, а также управление ресурсами [3, 4].

## 3. Принятие решений

Системный анализ обеспечивает поддержку принятия решений на всех уровнях управления АЭС, от оперативного до стратегического. Это достигается путем моделирования различных сценариев и оценки их последствий, что позволяет выбирать наиболее оптимальные решения в условиях неопределенности [5, 6].

Таблица 2

Методы поддержки принятия решений

Уровень управления	Методы поддержки
Оперативный	Имитационное моделирование, деревья решений
Тактический	Многокритериальный анализ, сетевое планирование
Стратегический	Анализ сценариев, SWOT-анализ

## 4. Управление персоналом и организация работы

В дополнение к техническим аспектам системный анализ также применяется для оптимизации работы персонала. Он помогает выявить дефицит профессиональных компетенций, определить потребность в дополнительном обучении и тренировках персонала, а также выстроить правильную систему мотивации и поощрений.

Одно из важных направлений — анализ нагрузки персонала, чтобы избежать перенапряжения и усталости, что может отрицательно сказываться на безопасности и надежности работы АЭС. Модели, созданные в рамках системного анализа, позволяют оценить текущую рабочую нагрузку и спланировать графики смен и отдыха

сотрудников.

## Примеры применения системного анализа на АЭС

### 1. Росатом

Российское агентство по атомной энергии (Росатом) активно использует системный анализ для управления своими объектами. Примером может служить разработка комплексной системы управления безопасностью на Нововоронежской АЭС, включающая анализ рисков и оптимизацию процессов [7,8].

### 2. Зарубежный опыт

На зарубежных АЭС также широко применяется системный анализ. Например, на французских АЭС компании EDF используется комплексная система управления, основанная на принципах системного анализа, что позволило значительно повысить надежность и безопасность их работы [9, 10].

Таблица 3

Примеры зарубежного опыта

Страна	Компания	Примеры применения системного анализа
Франция	EDF	Комплексная система управления
США	WestingHouse	Оптимизация загрузки топлива
Япония	Tokyo Electric	Анализ аварийных ситуаций

## Перспективы развития

### 1. Цифровизация

Цифровизация атомной энергетики открывает новые возможности для применения системного анализа. Внедрение цифровых двойников, больших данных и искусственного интеллекта позволяет создавать более точные модели и прогнозы, что ведет к повышению эффективности и безопасности АЭС [11, 12].

### 2. Новые технологии

Новые технологии, такие как аддитивное производство и роботизация, также находят применение в системном анализе АЭС. Они позволяют создавать более надежные и долговечные конструкции, а также автоматизировать многие процессы, что снижает риски и повышает производительность [13, 14].

## Заключение

Системный анализ является незаменимым инструментом для управления и эксплуатации АЭС. Он позволяет учитывать множество факторов и взаимосвязей, обеспечивая безопасность, надежность и эффективность работы атомных электростанций. Дальнейшее развитие цифровых технологий и новых материалов обещает еще большее расширение возможностей системного анализа в атомной энергетике.

## Литература

1. Иванов, И.И., Петров, А.В. Применение системного анализа в управлении АЭС / И.И. Иванов, А.В. Петров. // Журнал атомной энергетики. – 2020. – №1. – С. 45-56.
2. Смирнов, А.Н., Кузьмичев, Ю.М. Опыт применения системного анализа на Нововоронежской АЭС / А.Н. Смирнов, Ю.М. Кузьмичев // Энергетика России. – 2019. – №2. – С. 23-30.
3. Джонсон, П.Д., Смит, Р.Т. Роль системного анализа в управлении атомными электростанциями / П.Д. Джонсон, Р.Т. Смит // Труды международной конференции Американского ядерного общества. – 2017. – С. 213-220.
4. Уилсон, Р.С., Петерсон, Ф.Л. Оптимальные стратегии загрузки топлива для атомных реакторов с использованием методов системного анализа / Р.С. Уилсон, Ф.Л. Петерсон // Труды ежегодного совещания Американского ядерного общества. – 2017. – С. 1145-1153.
5. Блэквелл, Г.Х., Картер, К.А. Принятие решений в условиях неопределённости на атомных станциях: системный подход / Г.Х. Блэквелл, К.А. Картер // Известия академии ядерной энергетики. – 2016. – Том 93. – С. 145-153.
6. Чжанг, Ц., Чэнь, Л. Оптимизация графика технического обслуживания атомных электростанций на основе системного анализа / Ц. Чжанг, Л. Чэнь // Доклады института электротехники и радиоэлектроники. – 2015. – Том 64. – Выпуск 3. – С. 1145-1153.
7. Смирнов, А.Н., Кузьмин, Е.С. Особенности применения системного анализа в управлении безопасностью АЭС / А.Н. Смирнов, Е.С. Кузьмин // Вестник Академии наук. – 2018. – №3. – С. 12-18.
8. Кузнецов, О.В., Новиков, А.Г. Опыт применения системного анализа для повышения оперативной эффективности атомных электростанций / О.В. Кузнецов, А.Г. Новиков // Материалы Европейской ядерной конференции. – 2019. – С. 456-463.
9. Лефор, Ж.-П., Дюранд, Ж.-М. Передовые методы оценки рисков, применяемые на французских атомных электростанциях / Ж.-П. Лефор, Ж.-М. Дюранд // Достижения ядерной энергетики. – 2017. – Том 102. – С. 158-165.
10. Перро, М.Ж., Карпентье, А.К. Повышение качества процессов принятия решений на французских атомных объектах с помощью системного анализа / М.Ж. Перро, А.К. Карпентье // Материалы Всемирного конгресса достижений в науке и технике ядерной энергетики. – 2018. – С. 123-130.
11. Малиновски, Р.К., Рейнхарт, М.Э. Цифровые близнецы и их применение в проектировании атомных реакторов / Р.К. Малиновски, М.Э. Рейнхарт // Известия

академии ядерной энергетики. – 2020. – Том 145. – Статья № 107561.

12. Танака, К., Усиджима, Т. Применение искусственного интеллекта в оптимизации проектирования атомных реакторов / К. Танака, Т. Усиджима // Материалы Азиатской ядерной конференции. – 2019. – С. 215-222.

13. Макаров, А.Б., Симонова, Е.Ю. Аддитивные технологии в атомной промышленности: вызовы и возможности / А.Б. Макаров, Е.Ю. Симонова // Материалы сегодняшнего дня. – 2020. – Том 33. – Часть 1. – С. 123-129.

14. Судзуки, Х., Мацуяма, К. Применение робототехнических технологий для повышения уровня безопасности на японских атомных станциях / Х. Судзуки, К. Мацуяма // Сборник трудов международной конференции «Процессы производства». – 2019. – Том 35. – С. 215-221.

УДК 621.17.013

### **Оценка экономической эффективности применения многофункционального энергетического комплекса**

Разуваев Александр Валентинович, доктор технических наук,

профессор кафедры «Атомная энергетика»;

Акинфиева Алена Андреевна, преподаватель кафедры

«Физика и естественнонаучные дисциплины»;

Дедух Максим Сергеевич, 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

*Бесперебойное энергоснабжение и отопление является первостепенной задачей для многих предприятий. Некоторые потребители расположены достаточно далеко от централизованных линий электропередач, многим таким автономным потребителям необходимы установки для одновременной выработки электрической и тепловой энергии с возобновляемым топливом. В связи с этим предлагается развитие средств малой энергетики, а именно создание когенерационной установки на базе поршневого паровой машины в составе многофункционального энерготехнологического комплекса (МЭК).*

Когенерационная установка предполагает одновременную выработку электрической и тепловой энергии. В связи со спецификой комплектации МЭК, который состоит из ряда составляющих, необходимо иметь технико-экономическое обоснование применения его индивидуальным потребителем.

Специфика состоит в том, что в состав рассматриваемого МЭК входят: поршневая паровая машина, для которой нужен пар, вырабатываемый паровым котлом, конденсатор, который отводит воду на систему отопления потребителя, насос перекачивает воду обратно в паровой котел и генератор, который вырабатывает электрическую энергию на нужды потребителя, а для каждого потребителя оно будет индивидуально. Когенерационную установку на базе поршневой паровой машины планируется применять в фермерских хозяйствах, на нефтепромысловых объектах, горнодобывающих организациях и другие малых производствах [1]. Следовательно, в зависимости от потребности заказчика, будет меняться мощность самой установки и для этого необходимо иметь разный набор оборудования. Чтобы сократить затраты времени на расчет стоимости комплекта МЭКа и расчета текущих затрат в виде необходимых расходных материалов, заработной платы операторов и некоторых других расходов, разработан алгоритм и затем создана программа «Расчет стоимости МЭК на базе поршневой паровой машины».

Разработанный программный продукт является веб-приложением, реализованным с использованием технологий HTML (для создания структуры интерфейса пользователя), CSS (для оформления визуального представления элементов) и JavaScript (реализация логики расчетов и взаимодействия с пользователем).

Паровая поршневая машина	0 рублей
Паровой котел	0 рублей
Генератор	0 рублей
Система подачи топлива	0 рублей
Конденсатор (Радиатор)	0 рублей
Вентилятор радиатора	0 рублей
Конденсаторный насос	0 рублей
Система управления и контроля	0 рублей
Комплект труб и арматуры	0 рублей
Комплект кабельной продукции	0 рублей
Емкость для конденсата	0 рублей

Настроить дополнительные переменные

**Рассчитать**

Сохранить данные    Загрузить данные

*Рис.1. Основная форма интерфейса*

После перехода в программу, пользователю представлен интерфейс ввода данных, представленный на рисунке 1, который включает в себя комплектующие части

МЭК (поршневою паровую машину (ППМ), паровой котел, генератор, радиатор, трубопроводы и т. д.), цены устанавливаются по данным фирм производителей.

Данные расчета можно сохранять и загружать значения комплектующих параметров в файл или базу данных, для доступности работы в следующих сеансах.

В интерфейсе предусмотрена возможность внесения дополнительных переменных для более гибкого расчета, а именно с учетом стоимости: пуско-наладочных работ, технического обслуживания ППМ, данных по удельному расходу пара, мощности ППМ, зарплаты оператора и некоторые другие, представленные на рисунке 2 [2].

Пуско – наладочные работы	15%
Техническое обслуживание ППМ	10%
Смазочные материалы и запчасти	10%
Удельный расход пара	12.6 кг/кВт*ч
Мощность ППМ	150 кВт
Удельная теплота полученного пара	443.2 кг/0.24 гкал
Зарплата оператора	40 000 рублей
Количество работников	4
Коэффициент фонда оплаты труда	0.4
Коэффициент ФОТ и премий	0.1
Коэффициент налоговых отчислений	0.35
Тариф электроэнергии	4.38 руб/кВт*ч

Назад к основной форме

Рассчитать

Сохранить данные    Загрузить данные

*Рис.2. Дополнительные переменные параметры*

После ввода индивидуальных данных и нажатия кнопки «Рассчитать» программа выполняет математические вычисления, определяя итоговые затраты на основе введенных данных. В процентах приведена удельная стоимость работ от полного комплекта МЭК. Введенные параметры можно изменять, исходя из вариантов их параметров и возможностей потребителя. Расчеты происходят в реальном времени в JavaScript. Пример расчета стоимости при начальных данных приведен на рисунке 3. При мощности ППМ 150 кВт, выработка электрической энергии составит 108000 кВт·ч, при условии работы 720 часов в месяц, без учета времени на остановку энергетического комплекса для его обслуживания и мелкого ремонта [3].

Расчет стоимости материалов ↓		
Наименование изделия	Примечание	Стоимость
МЭК комплект		0 Р
Пуско – наладочные работы	15% удельной стоимости работ	0 Р
Техническое обслуживание ППМ	10% удельной стоимости работ	0 Р
Смазочные материалы и запчасти	10% удельной стоимости работ	0 Р
Всего		0 Р
Расчет потребности в топливе и производительности ↓		
Наименование	Величина	Ед. измерения
Удельный расход пара	12,6	кг/кВт*ч
Мощность ППМ	150	кВт
Расход пара	1890	кг/ч
Выработка электрической энергии в месяц	108000	кВт*ч
Расчет необходимого количества и стоимости топлива ↓		
Расход топлива	Примечание	Величина Ед. измерения
Удельная теплота пара		443.2 кг/Гкал
Расходы теплоты для полученного пара		4.26444 Гкал
Необходимо теплоты для получения пара		1.02347 Гкал
Тепловая производительность паров котла	КПД котла примем 0,85	1204.0773 Ккал
Количество дров березы в час		0.60204 дц <sup>3</sup> /ч
Количество дров березы в месяц	Береза $g \approx 2000$ ккал/дц <sup>3</sup> при влажности 20 %	14.44893 дц <sup>3</sup> /сутки

*Рис.3. Результаты расчеты экономических параметров МЭК*

Полученные данные могут быть использованы для оптимизации стоимости когенерационных установок в зависимости от их комплектации и предполагаемых вариантов применения. Они также позволяют более точно планировать бюджет, снижать затраты на техническое обслуживание и обеспечивать максимально эффективную эксплуатацию энергетических систем. Кроме того, эти данные служат основой для анализа и оценки эффективности внедрения когенерационных установок в различных условиях эксплуатации и при различных режимах работы.

В дальнейшем планируется проведение анализа стоимости МЭКа и экономической целесообразности его эксплуатации для различных потребителей и масштабов производства.

#### Литература

1. Разуваев, А.В., Редько, И.Я. Актуальность создания МФЭТК на базе паропоршневой машины / А.В. Разуваев, И.Я. Редько // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2022. – № 2. – С. 60–63.
2. Разуваев, А.В., Редько, И.Я., Разуваев, В.А. Разработка методов энергосбережения элементов теплоснабжения / А.В. Разуваев, И.Я. Редько // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2023. – № 8 (260). – С. 32–36.
3. Редько И.Я., Разуваев А.В. К вопросу создания многофункциональных энерготехнологических комплексов / И.Я. Редько, А.В. Разуваев // Энергия единой сети. – 2023. – № 5–6(71). – С. 80-85.
4. Сахин, В.В. Устройство и действие энергетических установок. Кн. 1

Поршневые машины. Паровые турбины : учебное пособие / В.В. Сахин. – Санкт-Петербург : Балт. гос. техн. ун-т., 2015. – 172 с.

5. Ушаков, В. Я. Электроэнергетические системы и сети: учебное пособие для среднего профессионального образования / В. Я. Ушаков. – 2е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 393 с.

УДК 621.161

### **Предпусковой прогрев паровых машин**

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

Устинов Николай Андреевич, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Атомная энергетика»;

Толоконников Михаил Алексеевич, студент направления  
«Теплоэнергетика и теплотехника»;

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

*В данной статье рассмотрены назначение и способы предпускового прогрева паровых машин. Также предложен авторский способ прогрева паровой поршневой машины и рассчитан ориентировочный расход пара.*

Назначение предпускового прогрева паровых машин – обеспечить готовность оборудования к пуску и его безотказную работу, особенно в условиях низких температур [1].

Рассмотрим известные методы прогрева паровых машин, разработанные в различное время.

В паровозной технике прогрев осуществлялся следующим образом. На первом этапе подготавливался паропровод рабочего пара: его продувка и прогрев, чтобы избежать образование конденсата в паропроводе и его попадание через впускной клапан в цилиндр паровой машины. Чтобы прогреть машину, поршень устанавливают в «мёртвое» положение. Затем открывают продувочные краны и слегка приоткрывают пусковой вентиль, подавая пар в цилиндр. Через некоторое время вентиль закрывают и, повернув кривошип в противоположную «мёртвую» точку, повторяют прогрев другой полости цилиндра. Эту процедуру повторяют несколько раз, пока цилиндр не прогреется полностью.

Если машина многократного расширения, то одновременно с цилиндром высокого давления прогревают и остальные цилиндры. Время прогрева зависит от состояния машины и её размера. Прогрев считается достаточным, когда из продувочных кранов перестаёт течь вода и начинает идти чистый пар. Во время прогрева необходимо внимательно осмотреть всю установку. Нужно убедиться, что нет посторонних предметов рядом с движущимися частями, проверить крепление деталей, которые могут ослабнуть, и убедиться, что все приборы на месте и не повреждены.

Затем следует заполнить механические, капельные и другие маслёнки, проверить их работу и отрегулировать подачу масла. После прогрева машины и заполнения маслёнок её устанавливают в рабочее положение. Для этого кривошип цилиндра высокого давления переводят через одну из «мёртвых» точек на 25–30 градусов. Затем дают сигнал о начале работы машины и медленно открывают пусковой вентиль, запуская машину на холостом ходу. Когда убеждаются, что машина прогрелась, продувочные краны закрывают. Постепенно увеличивают число оборотов до номинального, прислушиваясь к работе машины. Если появляются стуки, необычный шум, нагреваются трущиеся детали, приборы показывают ненормальные значения или возникают другие проблемы, машину нужно остановить, выяснить причину и устранить её.

Убедившись, что машина работает нормально, её можно нагружать. После этого нужно проверить, плавно ли работает машина, подаётся ли смазка и всё ли в порядке. Если в машине есть смешивающий конденсатор, то запуск начинают с выпуска пара в атмосферу. Когда число оборотов достигает примерно половины от номинального, пар переключают на конденсатор. Если в машине есть поверхностный конденсатор, то отработанный пар направляют в конденсатор, в трубы которого заранее должна подаваться вода [2].

При работе парового двигателя неизбежна конденсация части рабочего тела, то есть пара с последующим попаданием в поддон паровой машины и перемешиванием с маслом. Получающаяся водомасляная эмульсия обладает существенно более худшими смазывающими свойствами, поэтому воду необходимо от масла отделять. Для этого паровая машина выполняется с сухим картером. Это означает, что во время работы машины масло непрерывно откачивается из поддона маслооткачивающим насосом 8 в промежуточную масляную емкость – масляный бак 7, и из масляного бака маслозакачивающим насосом 10 подается в систему смазки. Производительность маслооткачивающего насоса 8 выбирается больше, чем маслозакачивающего 10, что обеспечивает отсутствие масла в поддоне двигателя. Этот принцип применяется в

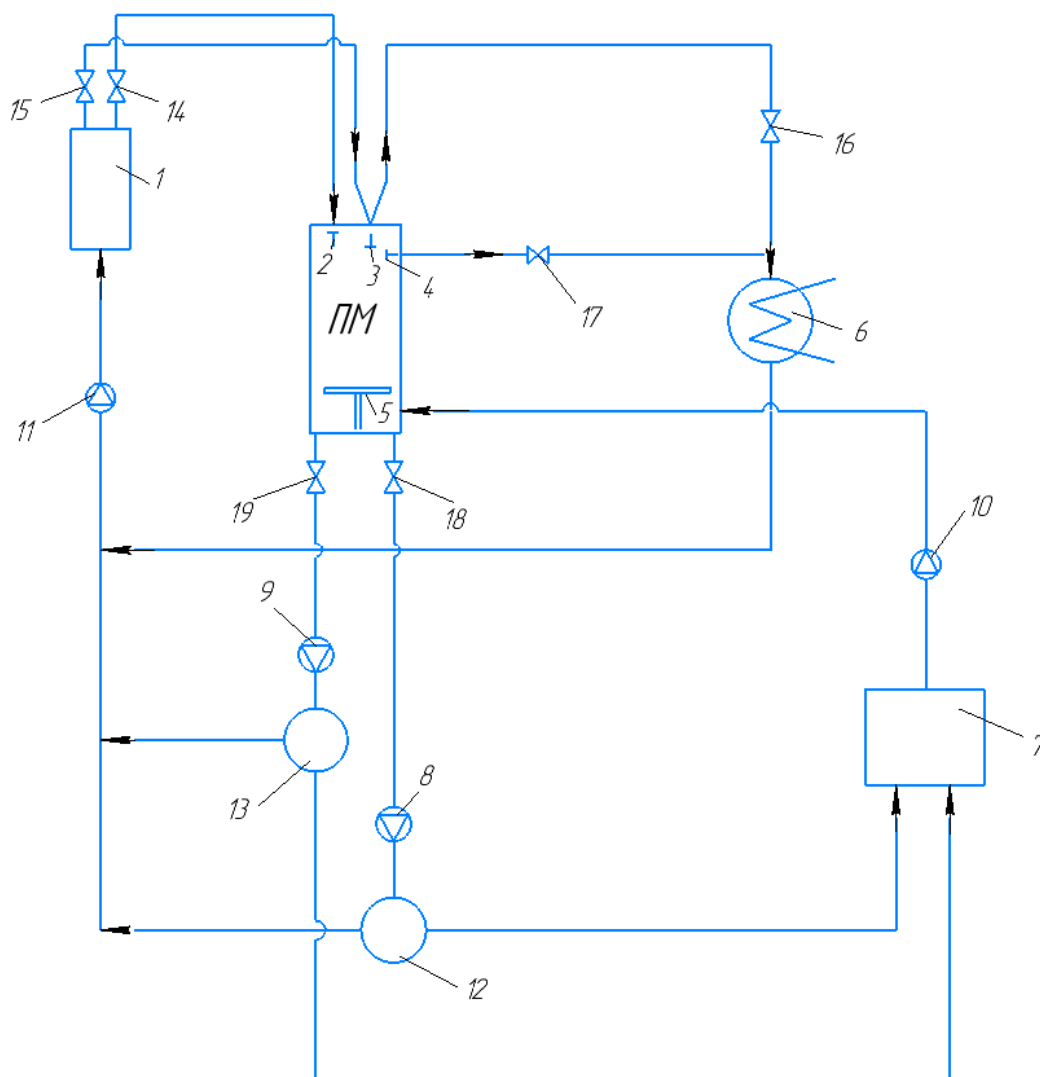


Рис. 1. Общая схема многофункционального энергетического комплекса: ПМ – паровая машина; 1 – котёл; 2 – впускной клапан; 3 – выпускной клапан; 4 – продувочный клапан; 5 – поршень; 6 – конденсатор; 7 – масляный бак; 8 – маслооткачивающий насос; 9 – конденсатный насос 1; 10 – маслозакачивающий насос; 11 – конденсатный насос 2; 12 – сепаратор, который используется во время работы двигателя; 13 – сепаратор, который используется во время прогрева двигателя; 14 – вентиль подачи пара в впускной клапан; 15 – вентиль подачи пара в выпускной клапан; 16 – вентиль подачи пара в конденсатор; 17 – вентиль подачи продувочного пара; 18 – вентиль подачи масла с частичками конденсата из поддона; 19 – вентиль подачи конденсата с частичками масла из поддона

двигателях внутреннего сгорания, используемых в транспортных машинах, которые работают в тяжелых условиях. Этот принцип решено применить для прогрева нашей паровой машины, так как при пуске, когда температура поверхностей деталей еще находится возле температуры окружающей среды, конденсация будет происходить в обязательном порядке. Для того, чтобы прогреть, например, одноцилиндровую паровую машину, выполняются следующие действия. Коленчатый вал поворачивается до положений поршня 5 в нижней мертвой точке. Открывается вентиль 15 и пар

поступает в выпускной клапан 3 паровой машины, так как при положении поршня в нижней мертвой точке впускной клапан 2 закрыт. Кроме этого открывается вентиль 17, и через продувочный клапан 4 греющий пар отводится в конденсатор 6, после конденсации пара из которого конденсатным насосом 11 конденсат возвращается в котел 1. Образующийся при прогреве конденсат откачивается из поддона конденсатным насосом 9 через открытый вентиль 19, так как картер всегда содержит некоторое количество масла, образующийся конденсат с частичками масла поступает в сепаратор 13, разделяется на конденсат, который возвращается в котел 1 и масло, которое подстывает в масляный бак 7. В это время маслозакачивающий насос 10 не работает, так как двигатель не вращается. После прогрева двигателя закрывается вентиль 17 подачи продувочного пара, вентиль 19 подачи конденсата в конденсатный насос, открывается вентиль 14 впускного клапана и вентиль 18 подачи масла, для откачивания масла из поддона маслооткачивающим насосом 8. Пар поступает через впускной клапан 2, в процессе работы выпускается через выпускной клапан 3, поступая в конденсатор 6, а масло с частичками воды, которые неизбежно будут конденсироваться, но в существенном меньшем количестве, чем при прогреве двигателя, маслооткачивающим насосом 8 будет направляться в сепаратор 12. Отделенный в сепараторе 12 конденсат отправляется в котел, а масло в масляный бак, при этом включается маслозакачивающий насос 10, который подает масло в систему смазки. [3] Ориентировочный расход пара вычислим по следующей формуле:

$$Q = \sum \mu_i \cdot c_i \cdot \Delta t = c_n \cdot \mu_n \cdot (t_{\text{пара}}^{\text{н}} - t_{\text{пара}}^{\text{к}}) + \mu_{\text{кр}} \quad (1)$$

где  $c_n$  – удельная теплоёмкость пара;  $\mu_n$  – энтальпия пара;  $t_{\text{пара}}^{\text{н}}$  – начальная температура пара;  $t_{\text{пара}}^{\text{к}}$  – конечная температура пара;  $\mu_{\text{кр}}$  – энтальпия пара критическая.

$$Q = 2000 \cdot 16 \cdot (250 - 110) + 80 = 4480080 \text{ кг/ч.}$$

Литература

1. Электронная библиотека: сайт / URL: [https://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/dcd/99\\_108.pdf](https://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/dcd/99_108.pdf) (дата обращения: 28.04.2025).
2. Электронная библиотека: сайт / URL: <http://vdvzhke.ru/parovimashiny/ekspluatsiya-parovoj-mashiny/zapusk-parovoj-mashiny-v-hod.html> (дата обращения: 29.04.2025).
3. Электронная библиотека: сайт / URL: <https://stroy-technics.ru/article/rabota-para-v-tsilindre-i-vzaimodeistvie-chastei-parovoi-mashiny> (дата обращения: 30.04.2025).

**Сравнительная оценка способов повышения номинальной мощности АЭС  
с ВВЭР-1200 с учетом запаса до кризиса теплообмена в активной зоне**

<sup>1</sup>Сахаров Александр Сергеевич, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

<sup>2</sup>Гариевский Михаил Васильевич, кандидат технических наук,

старший научный сотрудник

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования «Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов;

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Федеральный исследовательский центр «Саратовский научный центр

Российской академии наук», г. Саратов

*В статье проведен сравнительный анализ различных способов повышения номинальной мощности атомных энергоблоков с реактором ВВЭР-1200 с учетом запаса до кризиса теплообмена. Рассмотрены два метода: увеличение температуры теплоносителя первого контура и установка экономайзера перед парогенератором. На основе проведенных расчетов изучены термодинамические характеристики активной зоны, тепловые нагрузки и коэффициент запаса до кризиса теплообмена. Результаты исследования показывают, что установка экономайзера позволяет снизить температуру теплоносителя на входе в активную зону, уменьшить тепловую нагрузку на оболочки ТВЭЛ и увеличить коэффициент запаса до кризиса теплообмена, что повышает эффективность и безопасность работы реактора при увеличении мощности.*

Современные тенденции развития атомной энергетики направлены на увеличение эффективности реакторных установок без снижения уровня безопасности. Увеличение мощности выше номинальной энергоблоков АЭС с водо-водяными реакторами позволяет значительно сократить капитальные вложения и эксплуатационные затраты по сравнению с возведением новых энергоблоков. Однако такой процесс требует комплексного анализа радиационных нагрузок, тепловых характеристик активной зоны и надежности оборудования.

Одним из ключевых факторов, ограничивающих повышение мощности атомных электростанций (АЭС), является необходимость поддержания достаточного запаса до плавления топлива, а также предотвращение объемного кипения в активной зоне реактора. Реакторы типа ВВЭР обладают значительным запасом по температуре топлива, однако критическим фактором остается обеспечение достаточного запаса до кризиса теплообмена. Практический опыт работы реакторов ВВЭР-1000 показал, что

возможно увеличение мощности до 104% от номинального уровня за счет повышения температуры теплоносителя на выходе из активной зоны [1]. Однако дальнейший рост мощности таким способом может привести к уменьшению запаса до кризиса теплообмена, что повышает вероятность разгерметизации тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) и, как следствие, увеличивает риски для безопасной эксплуатации реактора.

Существующий подход Концерна «Росэнергоатом» предусматривает увеличение номинальной мощности без модернизации корпуса реактора и внутрикорпусных устройств. Однако данный метод требует модернизации оборудования, включая установку перемешивающих решеток в ТВС-2М, обновление системы сепарации пара, замену или модернизацию генератора, турбины и оборудования второго контура.

Альтернативный способ основан на установке экономайзера перед парогенератором (рис. 1) [2]. Это решение позволяет повысить температуру питательной воды за счет теплообмена между теплоносителями первого и второго контуров, что увеличивает паропроизводительность парогенератора без роста его тепловой мощности.

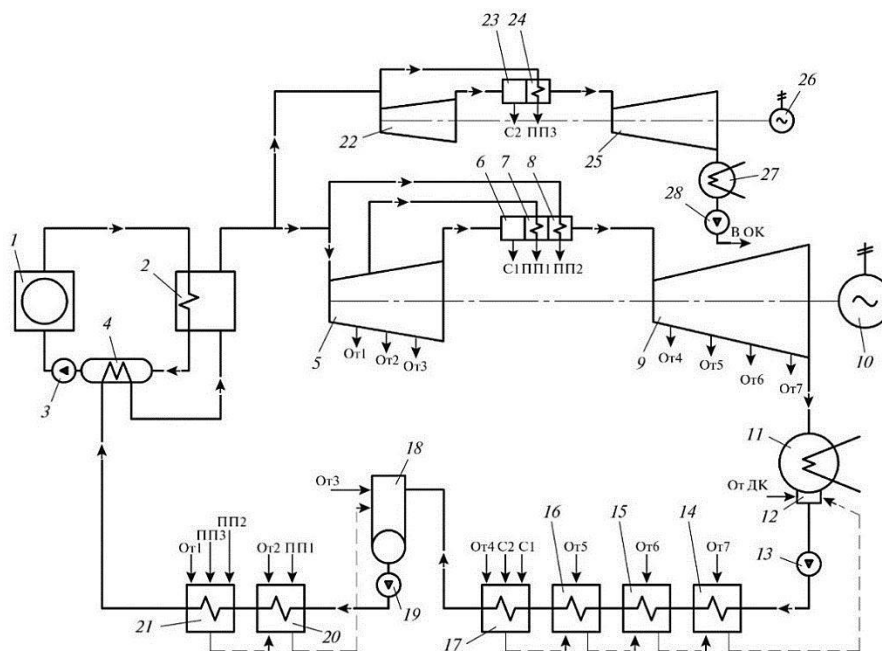


Рис. 1. Принципиальная тепловая схема АЭС с ВВЭР с подогревом питательной воды в экономайзере: 1 – реактор; 2 – парогенератор; 3 – главный циркуляционный насос; 4 – экономайзер; 5, 9 – ЦВД и ЦНД основной турбины; 6, 23 – сепараторы; 7, 8, 24 – пароперегреватели; 10 – электрогенератор; 11 – основной конденсатор; 12 – конденсатосборник; 13 – конденсатный насос; 14–17 – ПНД; 18 – деаэратор; 19 – питательный насос; 20, 21 – ПВД; 22, 25 – ЦВД и ЦНД дополнительной турбины; 26 – дополнительный электрогенератор; 27 – дополнительный конденсатор (ДК); 28 – насос; От1–От7 – пар в отборах основной турбины; ПП1, ПП2 – пар пароперегревателя основной турбины; ПП3 – пар пароперегревателя дополнительной турбины; C1, C2 – конденсат сепаратора основной и дополнительной турбины соответственно

Основной целью данной работы является сравнительный анализ способов повышения мощности с точки зрения термогидравлических характеристик активной зоны, тепловых нагрузок и коэффициента запаса до кризиса теплообмена. На основе проведенных расчетов оценивается эффективность применения предложенного способа и его влияние на эксплуатационные характеристики реактора ВВЭР-1200.

Для выполнения теплового расчета реактора ВВЭР-1200 на режимах: номинальном (100%), 104% и 110% с повышением температуры теплоносителя I-го контура и 104% и 110% с установкой экономайзера (ЭК) использовались исходные данные, представленные в табл. 1. Расход теплоносителя при установке экономайзера приведен с учетом изменения гидравлического сопротивления, рассчитанных в работе [2]. Основные технические характеристики активной зоны ВВЭР-1200 для всех режимов одинаковы и представлены в табл. 2.

Таблица 1

Параметры теплоносителя I-го контура на различных режимах [2, 3]

Параметры	Уровень мощности, % $N_{ном}$				
	100%	104%		110%	
		без ЭК	с ЭК	без ЭК	с ЭК
Тепловая мощность реактора, МВт	3200	3319		3521	
Температура теплоносителя, °C					
на входе в реактор	298,6	298,6	296,7	298,6	294,4
на выходе из реактора	329,7	330,7	329,7	332,4	329,7
Расход теплоносителя, кг/с	4355	4355	4274	4355	4266

Таблица 2

Основные технические характеристики активной зоны ВВЭР-1200 [3]

Параметр	Значение
Высота активной зоны $H_{аз}$ , м	3,73
Эквивалентный диаметр активной зоны $D_{аз}$ , м	3,16
Количество тепловыделяющих сборок (ТВС)	163
Размер ТВС «под ключ» $h_{кл}$ , мм	235,1
Количество твэл в ТВС $n_{ТВ}$ , шт.	312
Шаг установки твэл в ТВС $s_{ТВ}$ , мм	12,75
Наружный диаметр твэл $d_{ТВ}$ , мм	9,1
Тип топлива	UO <sub>2</sub>
Материал оболочек твэл	Э110
Теплоноситель	H <sub>2</sub> O

В соответствии с методикой, представленной в [4], проведены расчеты и сравнительный анализ ключевых параметров теплового состояния реактора. Результаты расчетов представлены на рис. 2.

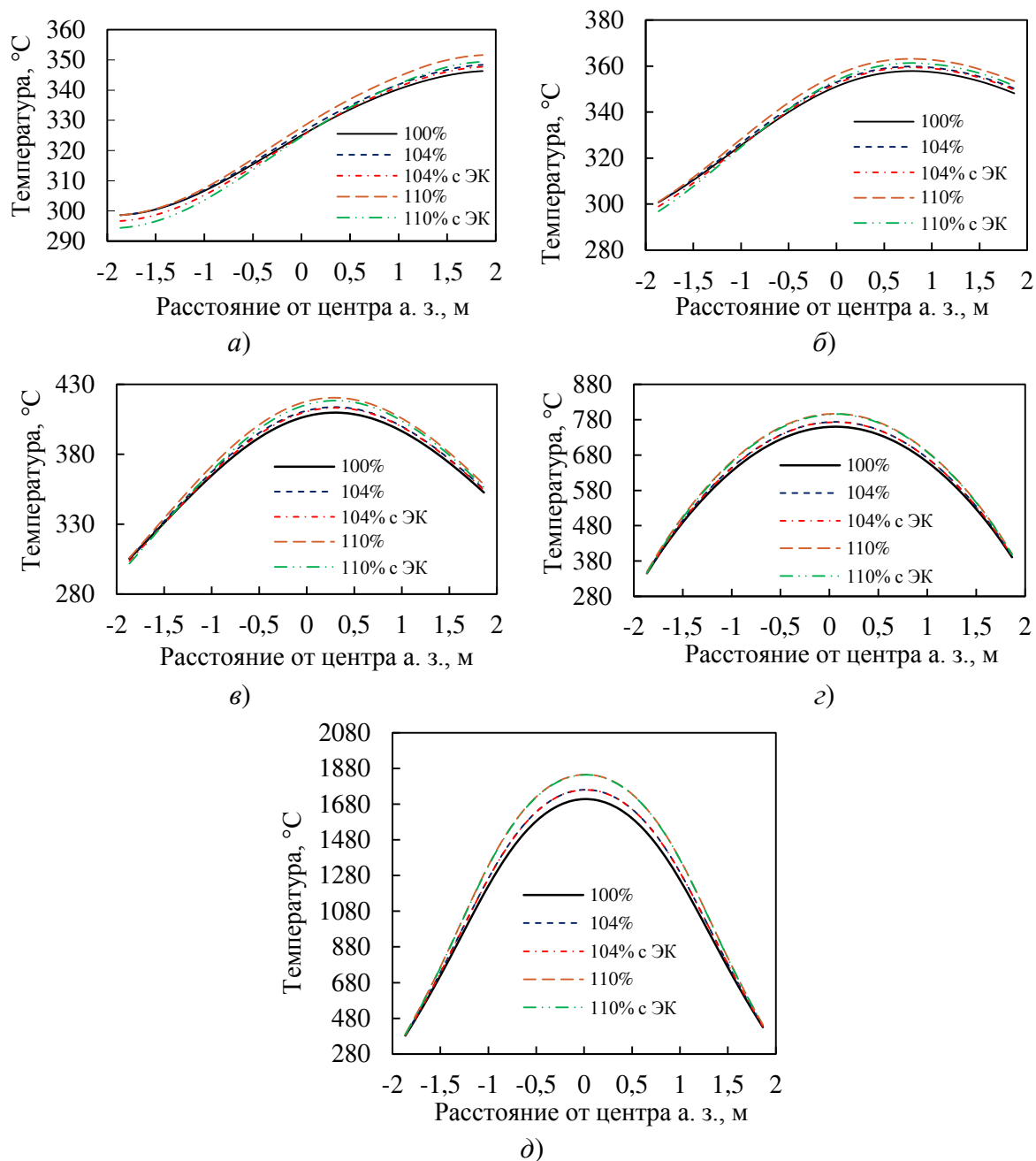


Рис. 2. Распределение температур по высоте активной зоны при разных значениях тепловой мощности без установки и с установкой экономайзера: а) – распределение температуры теплоносителя; б) – распределение температуры внешней стенки оболочки ТВЭЛа; в) – распределение температуры внутренней оболочки ТВЭЛа; г) – распределение температуры гелиевого зазора; д) – распределение температуры топливного сердечника

Критическая плотность теплового потока в пучке стержней в центральном сечении для ВВЭР-1200 рассчитывалась по формуле ОКБ «Гидропресс» [5]:

$$q_{кр}(z) = A \cdot (1 - X(z))^n \cdot G(z)^m \cdot (1 - 0,0185 \cdot 10^{-6} \cdot p),$$

где  $A=7,95 \cdot 10^5$  – коэффициент для продольного обтекания гладкотрубных поверхностей в условиях, близких к реакторной установке ВВЭР;  $X(z)$  – массовое паросодержание потока в рассматриваемом слое активной зоны; показатель степени  $n = 0,105 \cdot 10^{-6} \cdot p - 0,5$ ;  $p$  – давление теплоносителя, МПа;  $G(z)$  – массовая скорость

теплоносителя,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ; показатель степени  $m = 0,311 \cdot (1-X) - 0,127$ .

Допустимый критический тепловой поток:

$$q_{\text{кр доп}}(z) = q_{\text{кр}}(z) \cdot (1 - 1,96 \cdot \sigma),$$

где  $\sigma=13\%$  – среднеквадратическое отклонение расчета критического теплового потока [5].

Распределение критического теплового потока по высоте активной зоны, допустимого теплового потока и плотности теплового потока при различных значениях тепловой мощности реактора представлены на рис. 3.

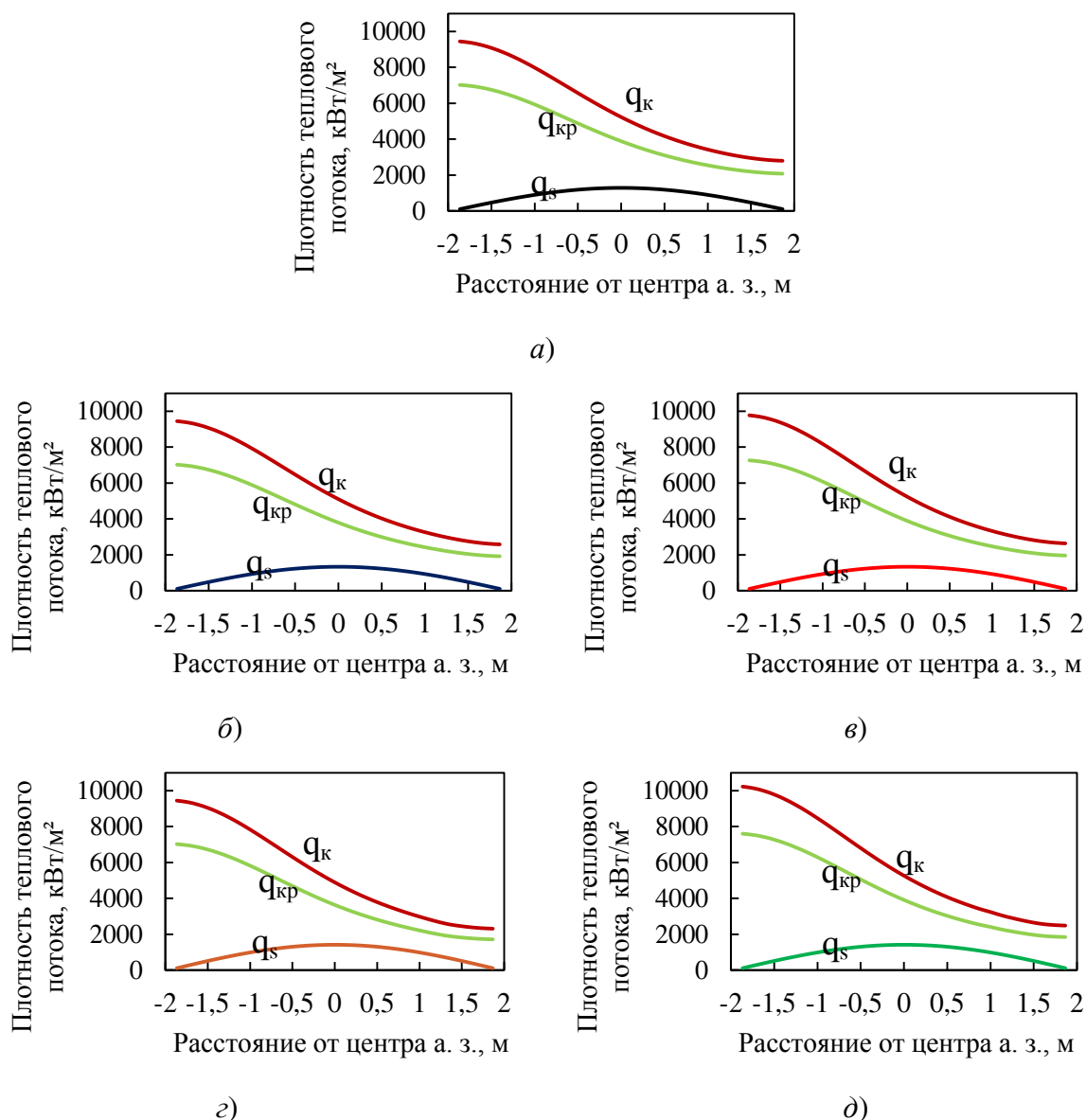


Рис. 3. Критический тепловой поток ( $q_{\text{кр}}$ ), допустимый критический тепловой поток ( $q_{\text{кр доп}}$ ) и тепловой поток ( $q_{\text{с}}$ ) в наиболее нагруженной ТВС при разном уровне мощности: а) – номинальный уровень мощности 100%; б) – 104% с повышением температуры теплоносителя I-го контура; в) – 104% с установкой экономайзера; г) – 110% с повышением температуры теплоносителя I-го контура; д) – 110% с установкой экономайзера

Коэффициент запаса до кризиса теплообмена определим по формуле:

$$k_{\text{зап}}(z) = \frac{q_{\text{кр}}(z)}{q_s(z)}.$$

Анализируя полученные данные, представим в табл. 3 максимальные значения температур и минимальные значения коэффициента запаса до кризиса теплообмена.

Таблица 3

Параметры наиболее нагруженной ТВС при различных режимах

Параметры	Уровень мощности, % N <sub>ном</sub>				
	100%	104%		110%	
		без ЭК	с ЭК	без ЭК	с ЭК
Максимальная температура теплоносителя, °С	346,3	348,4	347,7	351,6	349,4
Максимальная температура ТВЭЛ, °С:					
внешней стенки	357,8	359,8	359,4	363,1	361,3
внутренней стенки	409,7	413,7	413,1	420,4	418,3
Максимальная температура гелевого зазора, °С	759,7	773,4	772,8	796,3	795,9
Максимальная температура топливного сердечника, °С	1707,9	1760,3	1759,4	1845,4	1843,5
Минимальный коэффициент запаса до кризиса теплообмена	2,602	2,415	2,468	2,130	2,291

Проведенные расчеты показывают, что максимальная температура теплоносителя по сравнению с номинальным уровнем мощности увеличивается на 1,4°С при повышении мощности до 104% и на 3,1°С при увеличении до 110%. Однако благодаря использованию экономайзера температура теплоносителя на выходе из активной зоны оказывается ниже по сравнению с режимом повышения мощности без экономайзера: на 0,7°С при 104% и на 2,2°С при 110% (см. табл. 3).

Кроме того, установка экономайзера обеспечивает более высокий минимальный коэффициент запаса до кризиса теплообмена. Так, при увеличении мощности до 104% его значение в наиболее напряженном ТВЭЛе возрастает на 0,053 (2,2%) по сравнению с традиционным методом. При повышении мощности до 110% этот показатель увеличивается уже на 0,161 (7,6%) по сравнению с вариантом без экономайзера (табл. 3).

Сравнение тепловых характеристик активной зоны реактора при различных значениях тепловой мощности подтвердило, что установка экономайзера снижает температуру теплоносителя на входе в активную зону, что способствует увеличению коэффициента запаса до кризиса теплообмена по сравнению с вариантом повышения мощности без установки экономайзера. Внедрение предложенного метода может повысить эффективность работы ВВЭР-1200 при соблюдении требований безопасности и надежности, а также обеспечить дополнительный запас до кризиса теплообмена при повышении мощности АЭС. Наибольший эффект от установки экономайзера наблюдается при более значительном повышении мощности и, как следствие, установке более мощного теплообменника. Полученные результаты подтверждают целесообразность дальнейших исследований и возможную практическую реализацию

предложенного способа повышения мощности АЭС выше номинальной.

#### Литература

1. Повышение номинальной мощности энергоблоков российских АЭС с ВВЭР-1000 / В.И. Игнатов, А.В. Шутиков, Ю.А. Рыжков, Ю.В. Копьев, С.Б. Рыжов, В.Я. Беркович, Ю.М. Семченков, Р.З. Аминов, В.А. Хрусталева // Теплоэнергетика. – 2009. – № 11. – С. 63–66.
2. Аминов, Р.З., Гариевский, М.В., Сахаров, А.С. Исследование возможности повышения мощности АЭС с ВВЭР-1200 на основе экономайзерного подогрева питательной воды с установкой дополнительной турбины / Р.З. Аминов, М.В. Гариевский, А.С. Сахаров // Теплоэнергетика. – 2025. – № 3. – С. 27–38.
3. Информационные материалы по Белорусской АЭС. Разд. 2: Основные характеристики АЭС. – URL: <https://gosatomnadzor.mchs.gov.by/upload/iblock/e50/razdel-2-osnovnye-kharakteristiki-aes.pdf>
4. Дементьев, Б.А. Ядерные энергетические реакторы : учебник для вузов / Б.А. Дементьев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
5. РБ-040-09. Расчетные соотношения и методики расчета гидродинамических и тепловых характеристик элементов и оборудования водоохлаждаемых ядерных энергетических установок: утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 июля 2009 г. № 641. М., – 252 с.

УДК: 537.3

#### **Применение пьезоэлектрических датчиков для диагностики биения подшипников и повышения надежности оборудования**

Синицын Илья Алексеевич, студент;

Пильчук Данил Сергеевич, студент;

Баландин Павел Сергеевич, старший преподаватель кафедры

«Физико-математических дисциплин»

Трехгорный технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Трехгорный

*В работе анализируется проблема биения подшипников, которая часто приводит к серьезным неисправностям оборудования. Рассмотрены причины данного явления: естественный износ, механические повреждения, ошибки монтажа и другие факторы. Предложен подход к диагностике оборудования с применением пьезоэлектрических датчиков, способных обнаруживать отклонения на начальных*

*этапах. Описана экспериментальная установка, созданная для демонстрации работы системы мониторинга, включающая электродвигатели, микроконтроллер Arduino UNO Piranha R3 и пьезоэлементы. Использование пьезодатчиков в системах контроля технического состояния оборудования позволяет существенно повысить его надежность и сократить расходы на техническое обслуживание и ремонт.*

Одной из ключевых задач в обеспечении надежной работы механических систем является контроль состояния подшипников. Подшипники являются элементами практически любого механизма, и их неисправности могут привести к серьезным сбоям в работе оборудования. Биение может быть вызвано множеством факторов, среди которых особое внимание следует уделить следующим. Во-первых, естественный износ, возникающий в результате длительной эксплуатации подшипников, приводит к постепенному ухудшению их характеристик. Во-вторых, коррозия и загрязнение, вызванные воздействием внешних факторов, таких как влага или абразивные частицы, снижают эффективность работы подшипников. В-третьих, неправильная установка, включая недостаточную или чрезмерную затяжку, а также перекосы при монтаже, создает дополнительные нагрузки на механизм, что также может стать причиной биений. В-четвертых, деформация посадочных мест или корпуса, вызванная любыми изменениями геометрии конструкции, существенно влияет на работу подшипников. В-пятых, использование некачественных компонентов, не соответствующих необходимым требованиям, часто становится причиной их быстрого выхода из строя. Наконец, перегрузка или неправильная работа механизма, связанная с превышением допустимых нагрузок или нарушением режимов эксплуатации, также способствует возникновению биений. Все эти факторы требуют внимательного анализа для обеспечения надежной работы оборудования. [1]

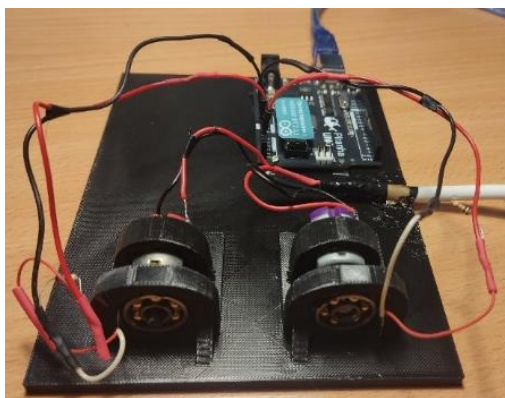
Последствия данной проблемы могут быть крайне серьезными. Увеличение уровня вибраций и шума, перегрев деталей, повышенный износ и, как следствие, поломка оборудования — все это негативно сказывается на производственном процессе. Кроме того, ремонт или замена вышедших из строя узлов требует значительных временных и финансовых затрат.

Для своевременного выявления и устранения дефектов подшипников применяются современные технологии, среди которых особое место занимают пьезоэлектрические датчики. Принцип их работы основан на пьезоэлектрическом эффекте, который заключается в способности определенных материалов генерировать электрические заряды при механическом воздействии. Если пьезоэлектрический кристалл подвергается сжатию или растяжению, на его поверхностях возникают электрические заряды разной полярности. При изменении направления механического

воздействия меняется и направление поляризации, что позволяет точно фиксировать даже незначительные изменения в работе механизма. [2]

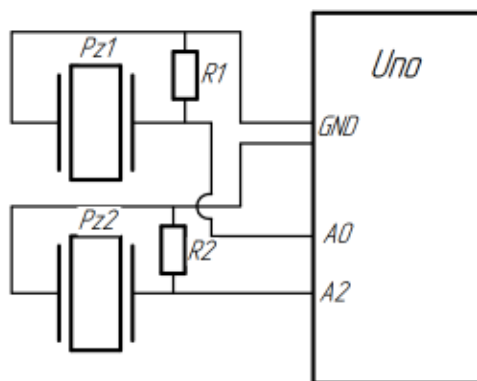
Для практической демонстрации возможностей пьезоэлектрических датчиков была разработана и собрана экспериментальная установка. Процесс создания модели начался с проектирования в программе «Компас», после чего элементы конструкции были напечатаны с помощью 3D-принтера Ghost bear 6.

После приступили к сборке установки для демонстрации работы вибродатчиков. Она включала следующие компоненты: два электродвигателя с рабочим напряжением 5 В, микроконтроллер Arduino Uno, два пьезоэлемента, два резистора номиналом 10 кОм, два подшипника с внутренним диаметром 6 мм и наружным диаметром 19 мм. Собранная установка изображена на рисунке 1.



*Рис.1. Собранная модель установки*

Сборка установки осуществлялась в несколько этапов. После физической сборки всех элементов был выполнен монтаж электронных компонентов. Для получения цифровых сигналов пьезоэлементы подключались к аналоговым входам микроконтроллера Arduino UNO и параллельно им были подключены резисторы. На рисунке 2 изображена принципиальная схема установки.



*Рис.2. Принципиальная схема установки*

Далее проводилось программирование платы в среде Arduino IDE [3], что позволило преобразовать аналоговые сигналы, поступающие от датчиков, в цифровые

данные для анализа. На рисунке 3 представлен код программы.

```
1 void setup()
2 {
3   pinMode(A0, INPUT);
4   pinMode(A2, INPUT);
5   Serial.begin(9600);
6 }
7
8 void loop()
9 {
10  Serial.print("Исправный_подшипник:");
11  Serial.print(analogRead(A0));
12  Serial.print(" ");
13  Serial.print("Неисправный_подшипник:");
14  Serial.println(analogRead(A2));
15  delay(30);
16 }
```

*Рис.3. Код программы*

1) Функция `setup()` выполняется один раз при запуске программы на Arduino. Ее задача — настроить необходимые параметры для работы микроконтроллера.

2) `PinMode(A0, INPUT)`. Устанавливает пин A0 в режим входа (INPUT). Это означает, что с этого пина будет считываться сигнал, а не подается напряжение. В данном случае, пин A0 используется для подключения одного из пьезоэлементов.

3) `PinMode(A2, INPUT)`. Аналогично, устанавливает пин A2 в режим входа (INPUT). Этот пин также используется для подключения другого пьезоэлемента.

4) `Serial.begin(9600)`. Инициализирует последовательный порт (Serial) для обмена данными между Arduino и компьютером. Аргумент 9600 указывает скорость передачи данных в битах в секунду (baud rate). Эта скорость должна быть одинаковой на стороне Arduino и компьютера для корректного обмена информацией.

5) Функция `loop()` выполняется бесконечно, пока микроконтроллер работает. Она содержит основной алгоритм программы, который повторяется снова и снова.

6) `Serial.print(«Исправный_подшипник:»)`. Отправляет строку «Исправный\_подшипник:» через последовательный порт (Serial). Это текстовое сообщение, которое поможет понять, какой датчик отображается в текущий момент.

7) `Serial.print(analogRead(A0))`. Читает значение с аналогового входа A0 с помощью функции `analogRead()`. Эта функция возвращает число в диапазоне от 0 до 1023, где:

8) 0 соответствует 0 В, а 1023 соответствует 5 В (максимальное напряжение для Arduino UNO).

9) Значение затем отправляется через последовательный порт.

10) `Serial.print(« »)`. Отправляет пробел (« ») через последовательный порт. Это делается для лучшей читаемости выводимых данных.

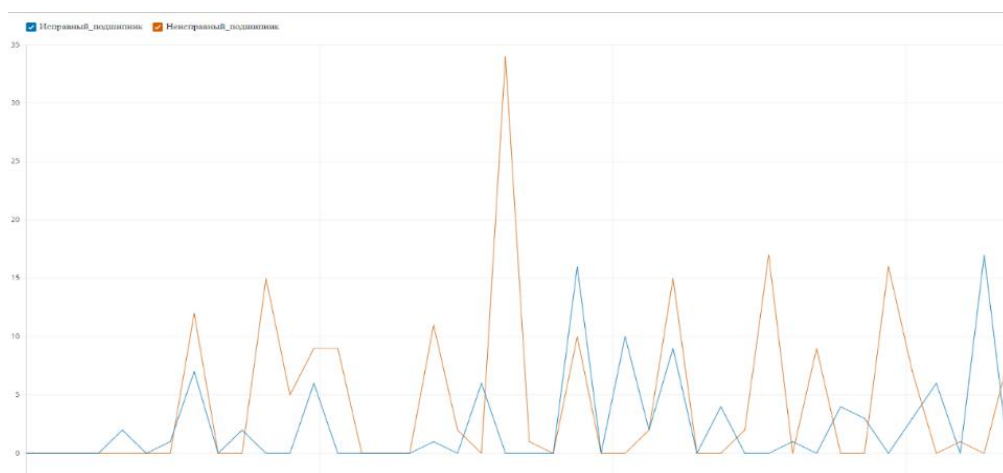
11) `Serial.print(«Неисправный_подшипник»)` отправляет строку «Неисправный\_

подшипник» через последовательный порт. Это помогает различать данные с двух разных датчиков.

12) `Serial.println(analogRead(A2))`. Читает значение с аналогового входа A2 с помощью `analogRead()` и отправляет его через последовательный порт. После отправки значения добавляется символ перевода строки (`\n`), так как используется `println()` вместо `print()`. Это позволяет начать вывод следующего цикла с новой строки.

13) `Delay(30)`; приостанавливает выполнение программы на 30 миллисекунд.

В рамках данной программы выполняется считывание данных с аналоговых входов Arduino, которые затем преобразуются в графическое представление для наглядности анализа. Для удобства интерпретации результатов графики были маркированы как «исправный подшипник» и «неисправный подшипник». Визуализация данных представлена на рисунке 4. [4]



*Рис.4. Графики*

На изображенном графике отображены показания двух датчиков вибрации, демонстрирующих состояние подшипников с разными характеристиками. График синего цвета, соответствующий исправному подшипнику, характеризуется стабильным поведением системы с минимальной амплитудой колебаний. Такой профиль сигнала типичен для технически исправного узла, где отсутствуют признаки износа или деформации. В противоположность этому, оранжевый график, отражающий работу неисправного подшипника, демонстрирует повышенный уровень вибраций с хаотичными скачками и значительными выбросами. Эти аномалии могут быть обусловлены механическими дефектами.

В данной экспериментальной установке оба подшипника (исправный и неисправный) были установлены на единой платформе. Это привело к тому, что вибрации, генерируемые неисправным подшипником, частично передавались через общую конструкцию на исправный подшипник. В результате датчик, расположенный

рядом с исправным подшипником, также регистрировал колебания, вызванные биением неисправного подшипника.

На представленном графике это отражено тем, что амплитуда колебаний сигнала с датчика исправного подшипника (синий график) имеет более высокие пики, чем можно было бы ожидать при работе только исправного механизма. Эти пиковые значения совпадают по времени с аналогичными выбросами на графике неисправного подшипника (оранжевый график). Таким образом, даже при наличии исправного подшипника его датчик фиксирует дополнительные вибрационные воздействия, возникающие из-за дефектов соседнего подшипника.

Этот демонстрирует важность учета взаимодействия между компонентами системы при диагностике биения подшипников. Особенно важно учитывать такие факторы при разработке систем мониторинга, где наличие нескольких источников вибраций может влиять на точность анализа состояния каждого отдельного подшипника.

Таким образом, сравнительный анализ графиков позволяет четко выделить различия между нормальной работой исправного подшипника и явлениями, характерными для неисправного состояния.

Использование пьезоэлектрических технологий для диагностики и решения проблемы биения подшипников представляет собой современный и высокоэффективный подход. Благодаря высокой точности и чувствительности, такие системы позволяют минимизировать риски выхода оборудования из строя, что особенно важно в условиях интенсивной эксплуатации механизмов. Внедрение подобных решений способствует повышению надежности и долговечности оборудования, а также снижению затрат на его обслуживание и ремонт. Таким образом, пьезоэлектрические датчики становятся неотъемлемой частью современных систем мониторинга и диагностики технического состояния оборудования.

#### Литература

1. Повреждения подшипников качения и их причины // Различные виды повреждений подшипников URL: [https://detmeh.ru/img/pdf/0\\_pdf\\_0e919b9c185b72bba196596e7a5e2e2b.pdf?ysclid=m9ztrfarno522899145](https://detmeh.ru/img/pdf/0_pdf_0e919b9c185b72bba196596e7a5e2e2b.pdf?ysclid=m9ztrfarno522899145) (дата обращения 20.03.2025).
2. Явление пьезоэлектрического эффекта // О пьезокерамике и перспективах ее применения URL: <https://masters.donntu.ru/2011/etf/kolesnikov/library/article4.htm> (дата обращения 23.03.2025).
3. SKILLFACTORY MEDIA // Пьезоэлектричество URL: <https://blog.skillfactory.ru/arduino-programmirovanie/> (дата обращения: 30.03.25).

4. AlexGyver Technologies V2.0 // Список команд Arduino URL: <https://alexgyver.ru/lessons/arduino-reference/> (дата обращения: 30.03.25).

УДК 681.515

**Разработка модели теплообменника планового расхолаживания энергоблока  
ВВЭР-1000**

Табакова Екатерина Дмитриевна, студент специальности  
«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

Мефедова Юлия 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 статье представлена теплогидравлическая модель теплообменника планового расхолаживания энергоблока, разработанная в среде SimInTech. Исследование модели проведено с целью определения влияния толщины отложений, которые со временем могут появиться внутри трубок теплообменника вследствие наличия примесей в технической воде, на параметры теплообмена.*

В реакторах типа ВВЭР, используемых в реакторных установках, применяется двухконтурная система циркуляции. Первичный контур осуществляет передачу тепла от активной зоны к воде вторичного контура, где образуется пар, приводящий в действие турбогенератор. Система аварийного и планового охлаждения активной зоны предназначена для выполнения следующих функций:

1. Аварийного охлаждения активной зоны с последующим длительным отводом остаточного тепла в случае аварийных ситуаций, связанных с разгерметизацией первого контура, включая полный разрыв трубопровода диаметром 850 мм главного циркуляционного контура.

2. Планового расхолаживания первого контура и отвода остаточного тепла от активной зоны.

3. Отвода остаточного тепла от активной зоны во время проведения ремонтных работ на оборудовании реакторной установки, сопровождающихся снижением уровня теплоносителя в реакторе до оси «холодных» патрубков.

В данной системе ключевым оборудованием является теплообменник (ТО) аварийно-планового расхолаживания. На рисунке 1 представлена его конструкция, а в таблице 1 – технические характеристики. Теплоноситель 1 контура, поступающий в

межтрубное пространство, охлаждается технической водой, проходящей внутри трубок ТО. Техническая вода, ввиду своего состава, неизбежно содержит примеси, негативно влияющие на качество теплообмена. Накопление этих примесей на поверхностях теплообменников приводит к уменьшению коэффициента теплопередачи, что в свою очередь снижает эффективность работы всего устройства. Отложения при небольшой толщине приводят к снижению коэффициента теплопередачи. В результате моделирования работы ТО осуществлена оценка данного фактора.

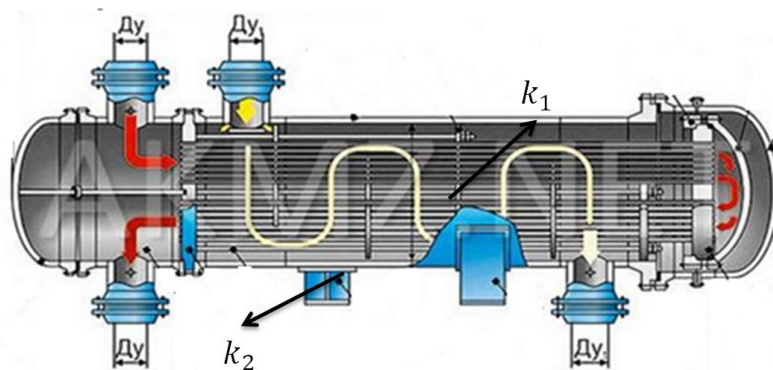


Рис.1. Конструкция теплообменника аварийно-планового расхолаживания

Таблица 1

Технические характеристики теплообменника планового расхолаживания

Наименование параметра	Значение	
	Межтрубное пространство	Трубное пространство
Давление рабочее, кг/см <sup>2</sup>	21	3
Температура расчетная, °С	150	70
Гидравлическое сопротивление, кгс/см <sup>2</sup>	0,02	0,45
Объем, м <sup>3</sup>	10,05	9,3
Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	965	935
Материал корпуса	08х18Н10	
Плановое расхолаживание		
Расход среды, т/ч	200-750	До 3000
Температура среды на входе, °С	70-150	5-40
Температура среды на выходе, °С	90	50-70

Теплогидравлические модели теплообменника, разработанные в среде Simintech, представлены на рисунке 2. Три модели теплообменника отличаются значениями толщин отложений (в верхней модели отложения отсутствуют, в двух нижних присутствуют).

Верхний канал моделирует межтрубное пространство теплообменника, нижний канал – трубное пространство. Между ними расположена цилиндрическая стенка, с помощью которой осуществляется теплообмен между технической водой и теплоносителем. В граничных узлах задаются давления и входные температуры теплоносителя и технической воды, с помощью блоков подпитка учитывается требуемый расход обеих сред. Для наглядной визуализации использована цветовая шкала с отображением полей температур.

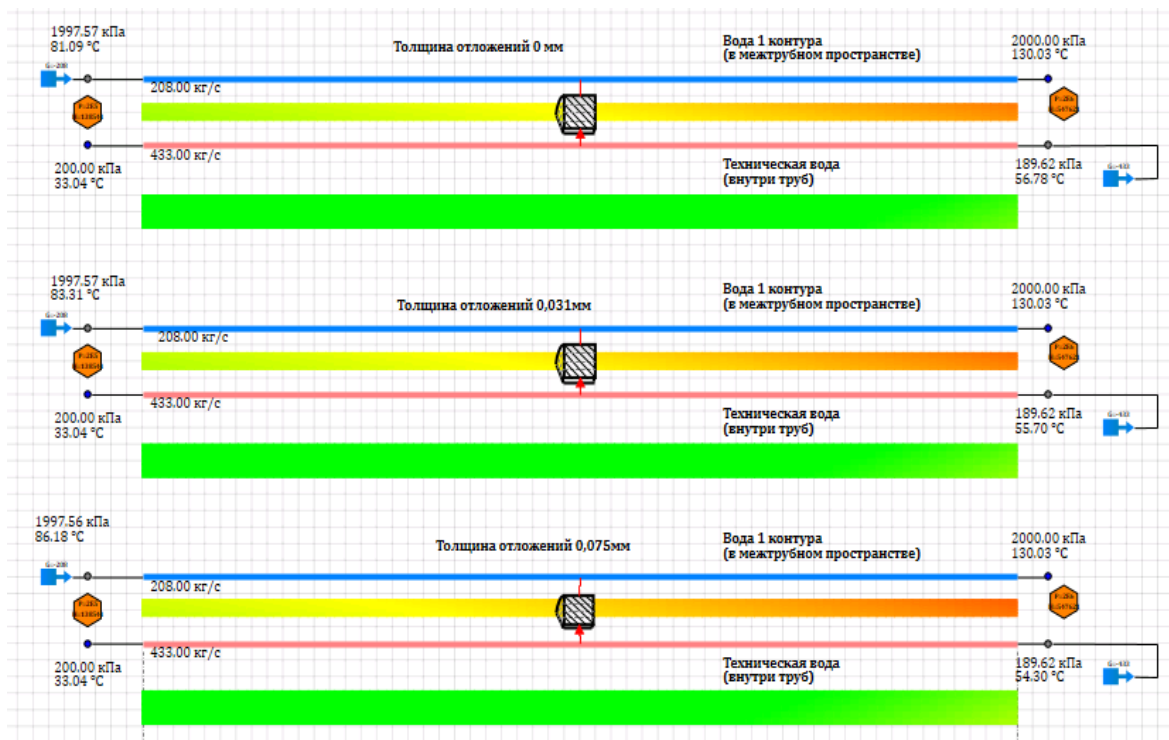


Рис. 2. Модели теплообменника планового расхолаживания

В настройках блоков учтены геометрические размеры теплообменника, количество теплообменных труб, каждая трубка по длине разбита на 100 элементов. В блоке Цилиндрическая плоская стенка учитывается материал трубок, а параметры теплообмена задаются термическим сопротивлением на внутренней и внешней поверхности стенок.

В ходе эксплуатации теплообменника со временем на внутренней поверхности трубок могут возникнуть отложения, которые повлияют на параметры теплообмена. Наличие отложений при моделировании учитывался таким параметром, как термическое сопротивление отложений.

Теплопроводность отложений определена по эмпирической зависимости для монолитных низкопористых отложений [1]:

$$\lambda_{отл} = 1,704 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 1,574 \cdot 10^{-2} \cdot t + 0,685, \quad (1)$$

где  $t$  – температура формирования отложений, принятая для средней температуры охлаждающей воды  $t_{ср}=45^{\circ}\text{C} \rightarrow \lambda_{отл}=0,322$ .

Для стали 12X18H10T удельное количество отложений  $g$  за 3000 часов работы составляет  $60 \text{ г/м}^2$  [1]. Тогда толщина отложений:

$$\delta_{отл} = \frac{g}{\rho_{отл}}, \quad (2)$$

где  $g$  –  $60 \text{ г/м}^2$ ;  $\rho$  – плотность отложений.

Пористость отложений находится по выражению при температуре  $45^{\circ}\text{C}$  [1]:

$$P = 2,2084 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 0,5478 \cdot t + 39,96 = 0,205. \quad (3)$$

Тогда, плотность отложений:

$$\rho_{отл} = (1 - 0,205) \cdot 2400 = 1908 \text{ кг / м}^3. \quad (4)$$

Тогда толщина отложений составит:

$$\delta_{отл} = \frac{60 \cdot 10^{-3}}{1908} = 0,0031 \cdot 10^{-3} \text{ м.} \quad (5)$$

Также известно, что скорость загрязнения для стали 12Х18Н10Т составляет 0,075 мм/год [1, 2]. То есть через 8760 часов толщина отложений составляет 0,075 мм.

Термическое сопротивление отложений:

$$R_{отл} = \frac{\delta_{отл}}{\lambda_{отл}}, \quad (6)$$

где  $\delta_{отл}$  - толщина слоя отложений;  $\lambda_{отл}$  - теплопроводность отложений.

$$\begin{aligned} R_{отл} &= 9,42 \cdot 10^{-5}, \quad \delta_{отл} = 0,031 \text{ мм} \\ R_{отл} &= 2,29 \cdot 10^{-4}, \quad \delta_{отл} = 0,075 \text{ мм} \end{aligned} \quad (7)$$

Рассчитанные термические сопротивления учитывались при определении термического сопротивления внутренней стенки теплообменника.

На рисунке 3 представлены временные графики изменения температур теплоносителя и технической воды на выходе теплообменника с учетом отложений.

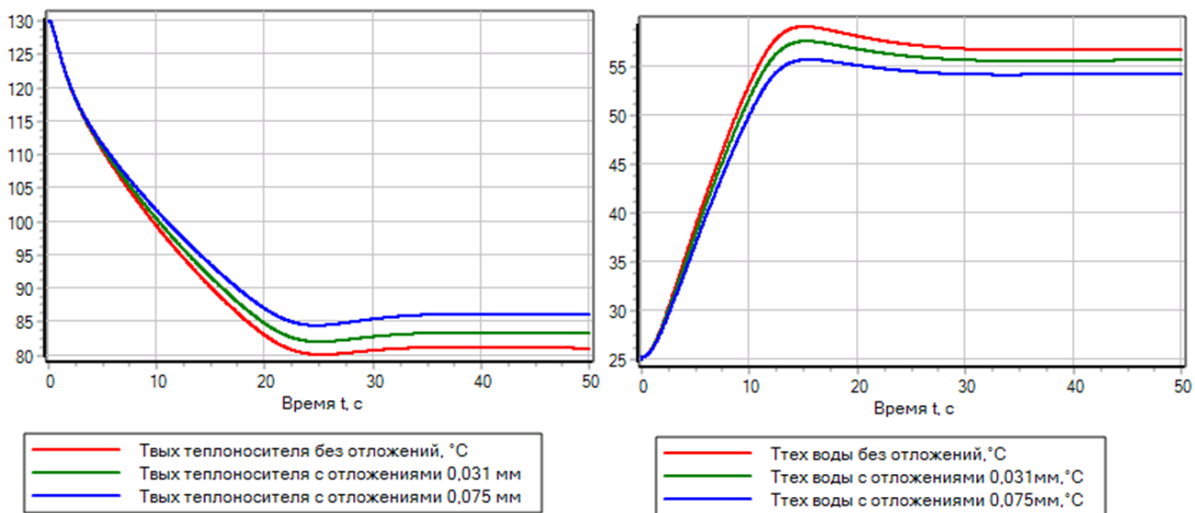


Рис. 5. Временные графики изменения температуры теплоносителя и технической воды на выходе ТО с учетом толщины отложений

Исходя из графиков видно, что отложения существенно влияют на температуры обеих сред на выходе из теплообменника: чем больше величина отложений, тем хуже происходит процесс теплообмена, теплоноситель меньше охлаждается при одинаковых других условиях работы теплообменника. При этом с динамической точки зрения передаточная функция теплообменника будет иметь варьируемый параметр –

коэффициент усиления. Для обеспечения устойчивой работы САР и поддержания заданной скорости расхолаживания в дальнейшем планируется осуществить разработку алгоритма работы управляющего устройства с учетом описанного эффекта.

#### Литература

1. Бубликов, И.А. Научные принципы диагностирования и разработка методов снижения интенсивности образования отложений в теплообменном оборудовании тепловых и атомных станций: дис. доктора тех. наук / Бубликов Игорь Альбертович; Южно-Российский государственный технический университет. – Новочеркасск, 2004. – 360.

2. Исследование термического сопротивления отложений в теплообменниках, охлаждаемых технической водой / И.А. Бубликов, З.Л. Миропольский, Б.Е. Новиков // Теплоэнергетика. – 1992. – №5. – С.71–74.

УДК 621.161

#### **О предельной мощности пароутилизационных машин**

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

*Рассмотрены условия работы паровых машин, предназначенных для утилизации пара низких параметров, выполнены расчеты развиваемой ими мощности в зависимости от параметров утилизируемого пара и размерности паровой машины из условия средней скорости перемещения поршня. Определены размеры кривошипа для работы пароутилизационной паровой машины в качестве привода электрогенератора. Сделан вывод о целесообразности утилизации пара низкого давления.*

Утилизация пара низких параметров: температуры и давления, является частью энергосбережения, направленного на выработку электроэнергии без дополнительных затрат тепловой энергии (топливных ресурсов). Нет стандарта, который определяет какие параметры пара являются низкопотенциальными. По давлению рабочего пара паровые машины считаются машинами низкого давления, если давление пара меньше 1,2 МПа. При этом отсутствуют сведения, для какого наименьшего давления свежего пара производители выпускают паровые машины. При этом энтузиасты-одиночки изготавливают единичные экземпляры паровых машин для собственного использования в качестве энергетических объектов, которые работают при начальном

давлении пара 0,4 — 0,5 МПа.

Низкопотенциальным энергоносителем можно считать такой, параметры которого близки к параметрам окружающей среды, однако применение водяного пара с температурой меньше  $100^{\circ}\text{C}$  в расширительных машинах не представляется возможным. Поэтому будем считать низкопотенциальным пар с давлением не превышающим 0,5 МПа, температура насыщения которого не более  $150^{\circ}\text{C}$ .

В статье рассматривается, какая мощность может быть получена от паровой машины при работе с паром, параметры которого не превышают предложенные. Такой пар наиболее просто получить за счет использования теплоты уходящих газов водогрейных котлов, температура которых редко превышает  $170^{\circ}\text{C}$ . При этом пароутилизационная машина может стать источником электрической энергии для котельной. Также насыщенный пар может быть получен от продувочной воды котлов (пар вторичного вскипания) или пар из концевых уплотнений цилиндров высокого давления мощных паровых турбин.

Мощность паровой машины  $N_i$ , без учета механических потерь можно определить из выражения

$$N_i = p_i V n, \quad (1)$$

где  $p_i$  - среднее индикаторное давление, кПа;  $V$  - рабочий объем цилиндра,  $\text{м}^3$ ;  $n$  - частота вращения коленчатого вала,  $\text{с}^{-1}$ .

Для получения максимальной мощности при использовании низкопотенциального пара необходимо обеспечить максимальный пропуск пара через паровую машину. Пропускаемый объем определяется произведением поперечного сечения потока пара и скорости его перемещения. В паровозах максимальная мощность достигалась при работе пара без расширения. Точнее расширение происходило при переходе во второй цилиндр, но и во втором цилиндре пар совершал работу без расширения.

Ограничениями скорости перемещения пара в цилиндре является скорость выпуска пара в конце рабочего хода и скорость перемещения в цилиндре в процессе выполнения работы.

Для увеличения скорости в выпускных органах необходимо увеличивать давление в начале выпуска. Максимальное давление на выпуске будет в этом случае равно начальному давлению пара на впуске в цилиндр. Следовательно, первым условием повышения мощности является работа пара без расширения в цилиндре, как это было принято в паровозной технике.

Вторым условием повышения мощности является обеспечение максимальной

скорости перемещения пара в цилиндре. Эта скорость ограничена скоростью перемещения поршня. Различают максимальную и среднюю скорость поршня. Для расчета мощности используется средняя скорость перемещения, т.к. скорость поршня изменяется от нуля до максимального значения в середине хода. По ее величине различают тихоходные и быстроходные машины. Граничным значением выбрана скорость 10 м/с. Развитие поршневых машин показало, что при диаметре цилиндра более 250 мм, машины могут быть только тихоходными из-за больших значений сил инерции, определяющих требования к прочности деталей машины. Это условие ограничено скоростями поршня, достигнутыми до настоящего времени.

С другой стороны теоретическую мощность ( $N$ , кВт) можно определить из выражения

$$N = Q \cdot F \cdot v, \quad (2)$$

где  $Q$  – объемная плотность энергии потока вещества, кДж/м<sup>3</sup>;  $F$  – площадь сечения потока, м<sup>2</sup>;  $v$  – скорость потока, м/с.

Для паровой машины  $Q$  – это энергия, которая будет извлечена из потока и определяется как разность энергии потока на входе и выходе паровой машины.  $F$  – площадь поперечного сечения цилиндра,  $v$  – средняя скорость перемещения пара в цилиндре за ход поршня, в котором скорость изменяется от нуля до максимума. При этом надо учесть, что при обратном движении поршня работа не производится.

Энергия потока определяется параметрами пара и для пароутилизационных машин зависит от того, какой пар утилизируется. Если это пар вторичного вскипания продувочной воды котла, то его начальные параметры могут быть относительно высокими, что позволит применить паровую машину небольших размеров. Количество пара будет определяться конечным давлением вскипания. Крайними вариантами применения такого пара является вскипание при температуре близкой к температуре пара на выходе из котла и температуре пара, близкой к температуре 100<sup>0</sup>С. В первом случае объем образуемого пара наименьший и можно применять паровую машину с малыми размерами цилиндра, во втором – с большими, т.к. получается большой объем пара. Во второй случае работа пара будет больше, но придется работать с низкопотенциальным паром. Опыт двигателестроения показывает, что с увеличением размеров паровой машины механический КПД возрастает, благодаря уменьшению частоты вращения коленчатого вала.

Рассмотрим, какую мощность будет развивать пароутилизационная машина при различных параметрах пара и конструктивных особенностях паровой машины. В первую очередь рассмотрим классическое построение с кривошипным механизмом. В

литературе существует различное представление о допустимой скорости поршня, поэтому максимально возможное среднее значение примем по данным тепловоза ФД (ИС), для которого известно, что конструкционная скорость составляет 155 км/ч, диаметр колес 1850 мм, ход поршня 770 мм [1]. В этом случае средняя скорость поршня составляет 10,5 м/с, максимальная 17 м/с. Скорость больше к рассмотрению не принимаем, т.к. неизвестна гарантированная надежность таких машин, несмотря на то, что авторы утверждают, что их двигатели вполне работоспособны.

В таблице 1 представлены сочетания диаметра поршня, индикаторного давления и средней скорости поршня, и соответствующие им индикаторные мощности. Эффективная мощность будет меньше, но на сегодня не существует методики расчета механических потерь в проектируемой машине. Они известны только для испытанных образцов, и при проектировании могут применяться как аналогичные. Из таблицы видно, что даже при давлениях близких к атмосферному, развиваемая мощность приличная, особенно если применять машины с большим диаметром поршня, и этой мощности достаточно для замещения части энергозатрат на электроэнергию.

Таблица 1

Мощность пароутилизационной паровой машины в одном цилиндре

Скорость поршня средняя, м/с	10								
Диаметр поршня, мм	100			200			300		
Давление пара, МПа	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3
Индикаторная мощность, кВт	3,9	7,8	11,7	15,6	31,2	45,8	35,1	70,2	105,3
Эффективная при механическом кпд 85%, кВт	2,75	5,5	8,2	11	22	33	29,8	59,6	89,4

Особенностями применения любых машин для привода электрогенераторов является стандартизация их частот вращения. Для машин с диаметрами поршня не более 150 мм применяется частота вращения 3000 об/мин, для диаметров 200 мм - 1500 об/мин, более 200 мм - 750 об/мин. По частоте вращения различают соответственно высокооборотные, среднеоборотные и малооборотные машины, но при этом для достижения максимальной мощности все быстроходные, т.е. со средней скоростью поршня 10,5 м/с.

Рассмотрим конструктивное исполнение пароутилизационной машины для реализации этих условий исходя из радиуса кривошипа, соблюдая наиболее распространенное соотношение  $S/D$  (отношение хода поршня к его диаметру) равное 1.

Взаимосвязь радиуса кривошипа, частоты вращения коленчатого вала и средней скорости поршня выражается уравнением

$$v_{cp} = 2 \cdot \pi \cdot S \cdot n / 60, \quad (3)$$

где  $S = 2 \cdot R$  – ход поршня ( $R$ - радиус кривошипа), м;  $n$  – частота вращения, об/мин.

Для скорости поршня 10 м/с, частоты вращения 3000 об/мин радиус кривошипа должен быть 50мм, для 1500 об/мин — 100 мм и для 750 — 200 мм. Т.е. высокооборотные машины будут отнесены к классу короткоходных, малооборотные — длинноходных. Во всех случаях отношение хода поршня к его диаметру находится в диапазоне 0,75 — 1,5 [2].

Для удобства интерполяции мощности в промежуточные положения, не представленные в таблице, приведен график зависимости мощности от давления пара и диаметра цилиндра для скорости поршня 10 м/с.

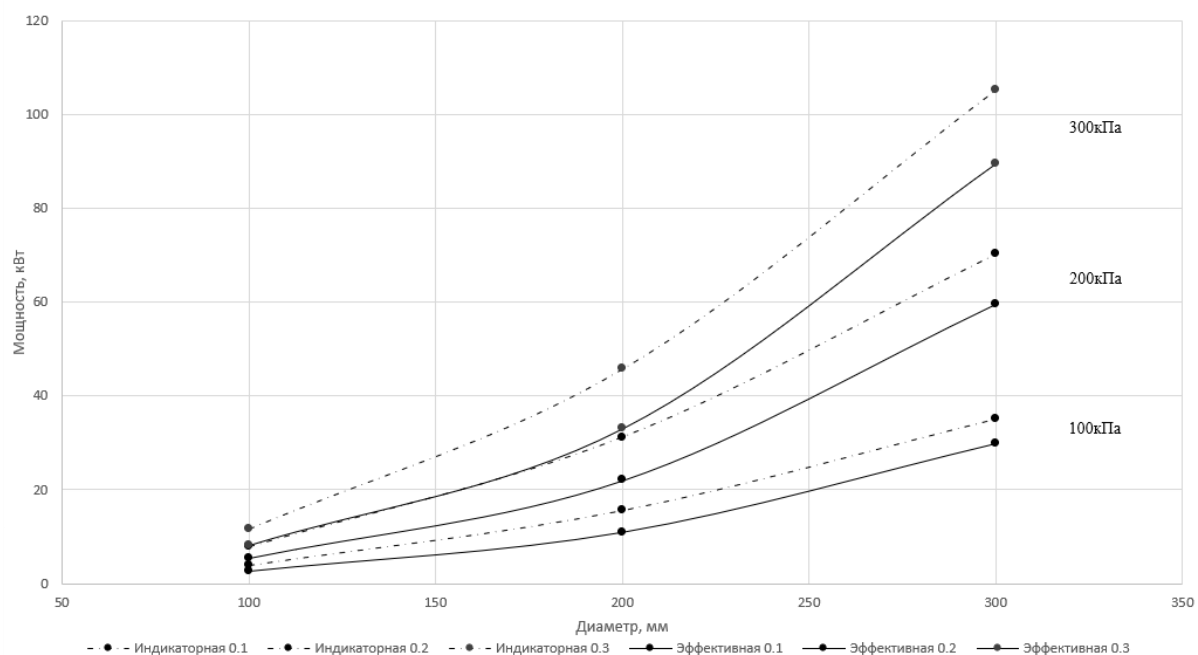


Рис.1. Зависимость мощности паротилизационной машины от диаметра цилиндра и давления пара

Пар низкого давления можно применять для получения электрической энергии для собственных нужд котельной. Источником пара могут быть как уходящие дымовые газы котла, так и теплота продувочной воды котла, т. к. их температура достаточна для получения низкопотенциального пара.

#### Литература

1. Олег Курихин. Пассажирский вариант (Пассажирский паровоз серии ИС) / Олег Курихин. – Текст : электронный // Техника молодежи. – 1974. – (№7). – URL: [https://web.archive.org/web/20120320232851/http://www.technicamolodezhi.ru/rubriki\\_tm/29/1520](https://web.archive.org/web/20120320232851/http://www.technicamolodezhi.ru/rubriki_tm/29/1520) (дата обращения 27.04.2025).
2. Ховах М.С., Маслов Г.С. Автомобильные двигатели / М.С. Ховах, Г.С. Маслов. – 2-е изд., пер. и доп. – Москва : «Машиностроение», 1971. – 456 с.

## **Роль промышленных роботов в автоматизации производства**

Холодова Валерия Петровна, студент направления

«Управление в технических системах»;

Корнилова Наталья Валерьевна, 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 научной статье представлено исследование, посвященное изучению промышленных роботов в производстве. Рассмотрены достоинства промышленных роботов и их будущее.*

Промышленные роботы играют все более значимую роль в автоматизации производства, изменяя облик современных производственных линий и повышая эффективность процессов. С развитием технологий и улучшением программного обеспечения, промышленные роботы становятся неотъемлемой частью многих отраслей промышленности.

Они способны выполнять сложные операции с высокой точностью и скоростью, обеспечивая повышение производительности и качества продукции.

Промышленные роботы играют ключевую роль в автоматизации производства, обеспечивая повышение эффективности и качества производственных процессов. Они способны выполнять монотонные и рутинные задачи с высокой точностью и скоростью, что позволяет сократить время производства и минимизировать вероятность ошибок. Благодаря использованию промышленных роботов возможно улучшить условия работы сотрудников, снизить затраты на производство и увеличить объем выпускаемой продукции.

Промышленные роботы стали неотъемлемой частью современных производственных процессов, играя ключевую роль в автоматизации и оптимизации производства. С каждым годом их применение все более распространяется, обеспечивая компаниям эффективность, точность и повышенную производительность.

Благодаря своей способности выполнять монотонные и трудоемкие задачи с высокой скоростью и точностью, промышленные роботы значительно снижают затраты на рабочую силу и увеличивают качество выпускаемой продукции. При этом они способны работать в условиях, недоступных для человека, что делает их незаменимыми

в различных отраслях промышленности.

Преимущества использования роботов в производстве очевидны и многочисленны. Во-первых, роботы способны выполнять монотонные и повторяющиеся операции с высокой точностью и скоростью, что увеличивает производительность и качество продукции. Они не устают и не нуждаются в перерывах, поэтому могут работать круглосуточно без снижения производственной мощности.

Во-вторых, роботы обладают большей безопасностью в сравнении с человеком, особенно в работе с опасными материалами или на опасных участках производства. Их программы могут быть настроены на предотвращение ошибок и аварийных ситуаций, что снижает риск для работников и сокращает потери предприятия.

Кроме того, применение роботов позволяет сократить расходы на рабочую силу и снизить издержки на производство. Хотя вложения в приобретение и обслуживание роботов могут быть значительными, окупаемость обычно достигается за короткий срок благодаря повышенной эффективности и снижению персональных издержек.

Важным преимуществом использования роботов в производстве является возможность гибкой настройки и перепрограммирования для выполнения различных задач. Современные промышленные роботы оснащены сенсорами и системами искусственного интеллекта, что позволяет им адаптироваться к изменяющимся условиям производства и обучаться выполнять новые задачи.

Другой важной технологией является искусственный интеллект, который позволяет промышленным роботам принимать самостоятельные решения на основе собранных данных и информации об окружающей среде. Это существенно повышает уровень автономности роботов и ускоряет процессы производства.

Наряду с этим, распространены технологии компьютерного зрения, которые позволяют роботам распознавать объекты и осуществлять точное и безошибочное взаимодействие с ними. Благодаря встроенным камерам и датчикам, промышленные роботы могут оперативно реагировать на окружающую среду, избегать препятствий и выполнить задачу с максимальной точностью.

Также широко применяются технологии интернета вещей (IoT), которые позволяют промышленным роботам быть взаимосвязанными и обмениваться данными друг с другом для совместного выполнения задач и оптимизации работы производственных процессов. Это способствует улучшению координации и синхронности работы роботов в рамках автоматизированной линии производства.

В целом, современные технологии промышленных роботов играют ключевую роль в автоматизации производства, обеспечивая повышение производительности,

снижение затрат и улучшение качества выпускаемой продукции. Постоянное развитие и совершенствование этих технологий позволит промышленным роботам стать неотъемлемой частью современного производства.

Одним из ярких примеров успешной автоматизации производства с использованием промышленных роботов является завод компании Tesla. В процессе производства электромобилей модели Model 3 в штате Калифорния была внедрена высокоавтоматизированная линия, на которой работают более 160 роботов. Они выполняют широкий спектр операций, включая сварку, покраску, установку деталей и инспекцию. Благодаря использованию роботов удалось существенно увеличить производительность и качество автомобилей, а также минимизировать человеческий фактор в процессе сборки.

Другим примером успешной автоматизации производства с помощью роботов является завод компании Adidas в Германии. Здесь была запущена автоматизированная линия по производству спортивной обуви, на которой работают роботы, осуществляющие обрезку материала, сшивку деталей и нанесение логотипов. Этот подход позволил компании существенно сократить время производства и повысить точность операций, что привело к улучшению качества продукции и увеличению конкурентоспособности на рынке.

Кроме того, автомобильный концерн Ford также активно использует промышленных роботов для автоматизации производства. На их заводах применяются роботы-манипуляторы для сборки и установки автодеталей, а также роботизированные линии для окраски автомобилей. Благодаря этому удалось значительно увеличить производительность и сэкономить время, улучшив при этом условия труда для сотрудников и снизив риск возникновения ошибок.

Эти успешные примеры демонстрируют важность и эффективность использования промышленных роботов в автоматизации производства, позволяя компаниям повысить производительность, улучшить качество продукции, снизить затраты и улучшить условия труда.

В будущем промышленная автоматизация ожидает значительного роста за счет применения промышленных роботов. Перспективы внедрения роботизированных систем в производственные процессы являются обнадеживающими. Промышленные роботы обладают высокой точностью, скоростью и надежностью, что позволяет повысить эффективность производства. Их использование позволяет сократить издержки, улучшить качество продукции и увеличить производительность труда.

Однако на пути внедрения робототехники в производство встречаются и

препятствия. Одним из них является высокая стоимость приобретения и обслуживания промышленных роботов. Для многих предприятий инвестиции в автоматизацию могут оказаться недоступными из-за финансовых ограничений. Кроме того, необходимость обучения персонала для работы с роботами также является одной из проблем, с которыми сталкиваются компании.

Еще одним недостатком является опасение потери рабочих мест в результате автоматизации производства. Замена человеческого труда на роботизированные системы может привести к массовому увольнению работников, что вызывает опасения в обществе. Балансирование между автоматизацией процессов и сохранением рабочих мест является важным вопросом для компаний и правительств.

Для эффективной интеграции промышленных роботов в производственные процессы необходимо разработать стратегии и регулирования, которые бы способствовали нейтрализации негативных последствий автоматизации. Обеспечение безопасности при работе с роботами, поддержка переподготовки персонала и создание соответствующих правовых оснований для работы роботизированных систем – ключевые аспекты, на которые стоит обратить внимание.

Будущее промышленной автоматизации обещает быть перспективным и инновационным. Развитие промышленных роботов будет способствовать увеличению эффективности и конкурентоспособности производственных предприятий, однако необходимо учитывать и проблемы, представленные автоматизацией, и разрабатывать устойчивые стратегии и решения для их преодоления.

#### Литература

1. Контурсы цифровой реальности: гуманитарно-технологическая революция и выбор будущего / под ред. В.В. Иванова, Г.Г. Малинецкого, С.Н. Сиренко. – Москва : ЛЕНАНД, 2018. – 344 с.

2. Ермолов, И.Л. Анализ развития промышленной робототехники / И.Л. Ермолаев // Прогресс транспортных средств и систем-2018: материалы международной научно-практической конференции. – Волгоград : ВолгГТУ, 2018. – С. 170-171.

3. Булгаков, А.Г. Автоматизация и роботизация строительных процессов и производств: монография / А.Г. Булгаков, В.А. Воробьев, С.И. Евтушенко и др. – Москва : издательство Российской инженерной академии, 2006. – 430 с.

**Термодинамическое исследование адиабатической системы аккумулирования энергии сжатым воздухом (А-ВАЭС) для когенерации энергии**

Чигарев Тагир Анвярович, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

Ростунцова Ирина Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры

«Тепловая и атомная энергетика» имени А.И. Андрющенко;

Новичков Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры

«Тепловая и атомная энергетика» имени А.И. Андрющенко

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

*Рассмотрена система адиабатического хранения энергии сжатым воздухом (А-ВАЭС). Математическая модель стационарного состояния и законы термодинамики используются для оценки предлагаемой системы. Результаты расчетов показывают, что предложенная система А-ВАЭС имеет приемлемый коэффициент энергетической эффективности 65,11%, при заданной общей выработке электроэнергии (4 МВт·ч).*

Применение возобновляемых источников энергии представляет собой действенное решение экологических проблем, обусловленных возрастающим потреблением ископаемого топлива [1]. Однако непосредственная интеграция возобновляемой энергетики в действующие энергосистемы способна дестабилизировать их функционирование вследствие непредсказуемого и прерывистого характера генерации [2]. Внедрение систем накопления энергии (СНЭ) способно внести значимый вклад в преодоление указанных трудностей, обеспечивая более устойчивую и надежную работу энергосистем.

Воздушно-аккумулирующая энергетическая система (ВАЭС) представляет собой перспективную технологию аккумулирования энергии, характеризующуюся значительной емкостью хранения и номинальной мощностью [3]. Принцип действия ВАЭС заключается в использовании избыточной или прерывистой электроэнергии для компрессии окружающего воздуха, который затем накапливается в подземных хранилищах, таких как пещеры, образованные в твердых породах или соляных отложениях, либо в специально созданных резервуарах для хранения, предназначенных для периодов низкого энергопотребления. В периоды пикового спроса сжатый воздух высвобождается из накопительных емкостей, подвергается процессу нагрева и расширения в турбинах, обеспечивая генерацию электроэнергии [4].

В традиционных ВАЭС воздух нагревается в камере сгорания посредством сжигания ископаемого топлива, что неизбежно приводит к выбросам углекислого газа. Более того, такие системы характеризуются относительно низким коэффициентом энергетической эффективности (RTE) в диапазоне 40-50%, обусловленным потерями на эксергию в газовых компрессорах и турбинах [5]. В качестве решения указанных проблем была предложена адиабатическая воздушно-аккумулирующая электростанция (А-ВАЭС), представляющая собой усовершенствованную технологию аккумулирования энергии. Ключевым отличием А-ВАЭС является внедрение дополнительного накопителя тепловой энергии (НТЭ), предназначенного для аккумулирования тепла, выделяемого при сжатии воздуха в процессе зарядки. Впоследствии, в процессе разрядки, воздух нагревается не посредством сжигания топлива, а с использованием накопленного тепла из НТЭ, прежде чем поступает в турбины для генерации электроэнергии. Такой подход позволяет полностью исключить необходимость в сжигании топлива, что значительно снижает выбросы и обеспечивает повышение коэффициента энергетической эффективности в диапазоне 60–70% [6].

В последнее время наблюдается активное развитие ВАЭС. В данной области внедряются передовые технологии, предназначенные для широкого спектра применений. Среди них можно выделить А-ВАЭС третьего поколения [7], низкотемпературные адиабатические А-ВАЭС [8] и изобарические А-ВАЭС [9]. Эти инновации открывают новые перспективы для эффективного хранения и использования энергии.

Предметом рассмотрения является схема А-ВАЭС, компрессорная и турбинная части которой представлены на рисунках 1, 2 [1]. В качестве рабочей жидкости для компрессорной линии и турбинной линии выбран воздух, а масло (терминол 66) – в качестве теплоносителя для НТЭ в схеме А-ВАЭС, баки, в которых происходит хранение сжатого воздуха с давлением 7,6 МПа, изготовлены из углеродистой стали, объем одного аккумулятора 30 м<sup>3</sup>.

Система работает следующим образом: в процессе аккумулирования энергии, возобновляемые источники или избыточная электроэнергия направляются на питание двухступенчатой компрессорной установки. Атмосферный воздух подвергается сжатию в компрессоре низкого и высокого давления (LC и HC), после каждой ступени сжатия воздух направляется на теплообменник (IC и AC), где тепло, образующееся при сжатии, улавливается теплоносителем и сохраняется в накопителе тепловой энергии для дальнейшего применения, а воздух помещается в воздушные накопители (BH).

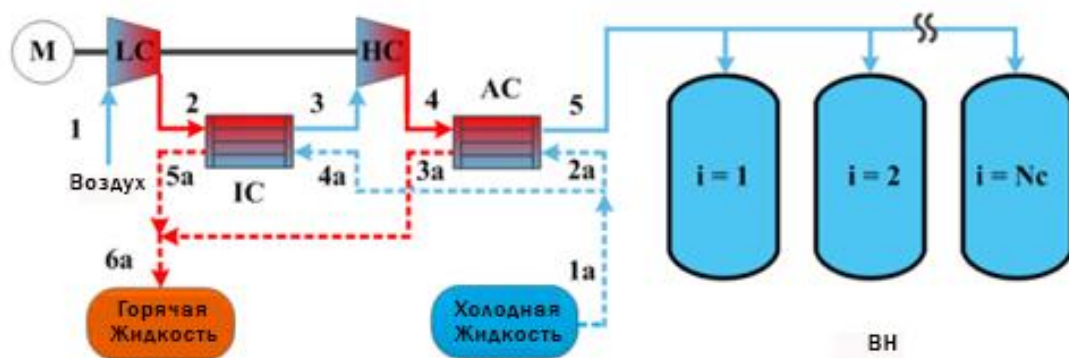


Рис. 1. Принципиальная схема компрессорной части А-ВАЭС в процессе зарядки:  
*М* – электродвигатель; *LC* – компрессор низкого давления; *НС* – компрессор высокого давления; *IC* – охладитель воздуха 1-ой ступени;  
*AC* – охладитель воздуха 2-ой ступени; *ВН* – воздушный накопитель

В процессе высвобождения энергии (рис. 2) сжатый воздух, заключенный в резервуарах, подвергается дросселированию до необходимого уровня давления через дроссельный клапан (ДК). Тепло, генерируемое установкой НТЭ, используется для предварительного нагрева сжатого воздуха в подогревателе предварительного нагрева (ПВ1), поднимая его температуру до оптимальных значений. Нагретый воздух направляется в турбину высокого давления (НТ), где, расширяясь, преобразует свою энергию в электрическую. Далее, для максимизации выработки энергии, воздух подвергается повторному нагреву в промежуточном нагревателе (ПВ2) и направляется в турбину низкого давления (LT), где продолжает расширяться, генерируя дополнительную электроэнергию.

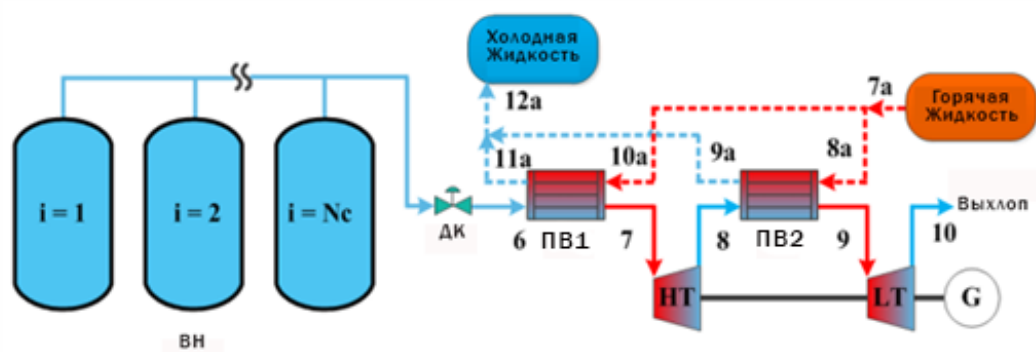


Рис. 2. Принципиальная схема турбинной части А-ВАЭС в процессе разгрузки:  
*G* – генератор; *LT* – турбина низкого давления; *НТ* – турбина высокого давления; *ПВ1*, *ПВ2* – подогреватель воздуха; *ДК* – дроссельный клапан; *ВН* – воздушный накопитель

Энергетический анализ, опираясь на первый закон термодинамики посредством энергетических балансов и коэффициентов полезного действия, представляет собой фундаментальный подход к изучению процессов энергопотребления.

Расчет исследуемой модели А-ВАЭС производился по формулам, представленным в таблице 1.

Таблица 1

## Расчетные формулы для А-ВАЭС по данным [6]

Основные компоненты	Уравнение энергии и эксергии
Компрессор	$P_{\text{вых к}} = n_k P_{\text{атм}}$ $W_{\text{ком}} = m_{\text{к,вх}}(h_{\text{к,вых}} - h_{\text{к,вх}})$ $\eta_{\text{ком}} = (h_{\text{к,вых,т}} - h_{\text{к,вх}})/(h_{\text{к,вых}} - h_{\text{к,вх}})$
Расширитель	$P_{\text{вых р}} = P_{\text{вх,р}}/n_p$ $W_{\text{рас}} = m_{\text{р,вх}}(h_{\text{р,вх}} - h_{\text{р,вых}})$ $\eta_{\text{рас}} = (h_{\text{р,вых}} - h_{\text{р,вх}})/(h_{\text{р,вых,т}} - h_{\text{р,вх}})$
Теплообменник	$m_{\text{Т,гор}}(h_{\text{Т,гор,вх}} - h_{\text{Т,гор,вых}}) = m_{\text{Т,хол}}(h_{\text{Т,хол,вых}} - h_{\text{Т,хол,вх}})$

Коэффициент энергетической эффективности (RTE) определяется как отношение между энергией разряда и энергией заряда в период цикла. Поскольку энергия нагрева и энергия холода не учитываются в справочнике, RTE может быть рассчитан следующим образом:

$$RTE = \frac{W_{\text{эл,вых}}}{W_{\text{эл,вх}}} = \frac{W_{\text{ген}}}{W_{\text{ком}}}, \#(1)$$

где  $W_{\text{эл,вых}}$  – электричество на выходе,  $W_{\text{эл,вх}}$  – электричество на входе,  $W_{\text{ген}}$  – производство электроэнергии при расширении,  $W_{\text{ком}}$  - потребление электроэнергии для компрессорной линии.

В точках, представленных на рисунках 1 и 2, были найдены термодинамические параметры свойств воздуха системы А-ВАЭС и объединены в таблице 2.

Таблица 2

## Термодинамические свойства воздуха по точкам схемы

Точка	Температура Т(К)	Давление Р(кПа)	Энтальпия h(кДж/кг)	Масса воздуха m(кг/с)
1	298,15	101,32	300,47	1,616
2	587,29	892,67	598,06	1,616
3	318,15	865,89	319,23	1,616
4	626,92	7628,87	640,41	1,616
5	318,15	7400	307,28	1,616
6	298,15	4200	291,37	2,482
7	552,14	4074	560,27	2,482
8	354,99	643,84	357,32	2,482
9	552,14	624,52	561,06	2,482
10	357,95	101,32	361,16	2,482

Таблица 3

## Результаты расчетов предлагаемой системы А-ВАЭС

Компрессор низкого давления	481 кВт
Компрессор высокого давления	519 кВт
Турбина низкого давления	496 кВт
Турбина высокого давления	503,8 кВт
Время зарядки	6,14 часа
Объем хранения	949,1 м3
RTE	65,11%

В результате расчета системы было найдено потребление электроэнергии для

компрессорной линии и производство электроэнергии при расширении в турбинах, а также найден коэффициент энергетической эффективности, результаты расчетов сведены в таблицу 3.

Исходя из аналогичных установок, где учитывается КПД электросети, обеспечивающей закачку воздуха в хранилище, результирующий КПД нетто по отпуску электроэнергии адиабатной воздушно-аккумулирующей электростанции (А-ВАЭС) составляет 25,23 % [10].

#### Выводы:

1) Представлена расчетная схема адиабатического хранения энергии сжатым воздухом (А-ВАЭС).

2) В результате проведенного термодинамического анализа данной системы А-ВАЭС получены следующие значения: объем хранения сжатого воздуха 949,1 м<sup>3</sup> время зарядки 6,14 часа, коэффициент энергетической эффективности 65,11%.

#### Литература

1. Садреддини, А. Эксергический анализ и оптимизация системы CCHP, состоящей из системы накопления энергии сжатым воздухом и цикла ORC / А. Садреддини, М. Фани, Агдам М. Ашджари, А. Мохаммади // *Energy Convers Manag.* - 2018. – N 157. – С. 22–33.
2. Кравчук, П. Сравнительный термодинамический анализ систем накопления энергии сжатого и жидкого воздуха / П. Кравчук, Л. Шабловски, С. Кареллас, Е. Какарас, К. Бадида // *Энергетика.* – 2018. – N 142. – С.46–54.
3. Чен, Л.Х. Термодинамический анализ высокотемпературного насосного накопителя тепловой энергии (HT-PTES), интегрированного с параллельным органическим циклом Ренкина (ORC) / Л.Х. Чен, Ху, Чжао., М.Н. Се, Ф.Х. Ван // *Energy Convers Manag.* – 2018. – N177. – С.60–70.
4. Чайб, М. Моделирование и экспериментальная валидация маломасштабной тригенеративной системы хранения энергии сжатого воздуха / М.Чайб, М. Марин, М.Тазерут, С. Понсе // *Appl Energy.* – 2019.– N239. – С. 84–100.
5. Закери, Б. Системы накопления электрической энергии: сравнительный анализ стоимости жизненного цикла / Б. Закери, С. Сири // *Renew Sustain Energy.* – Rev 2015. – N42. –С. 96–106.
6. Шаковелли, А. Динамическое моделирование установки по накоплению энергии адиабатическим сжатым воздухом (А-CAES) со встроенным накопителем тепла – связь между производительностью компонентов и производительностью установки / А. Шаковелли, И. Ли, Х. Чэнь, И. Ву, Дж. Ван, С. Гарви. // *Appl Energy.* – 2017. – №185. –

С.16–28.

7. Янь, И. Интегрированная конструкция для гибридной комбинированной системы охлаждения, отопления и электроснабжения с накопителем энергии сжатым воздухом / И. Янь, С. Чжан, К. Ли, З. Ван // Appl Energy. – 2018. – №210. – С.66–80.

8. Вольф, Д. ВАЭС – низкотемпературный подход к адиабатическому хранению энергии сжатым воздухом / Вольф Д., Бадт М. А. // Appl Energy. – 2014. – №125. – С. 64–75.

9. Нильсен, Л. Динамическое моделирование инновационной установки по накоплению энергии на сжатом воздухе - подробное моделирование накопительной каверны / Л. Нильсен, Р. Лейтнер // WSEAS Trans Power Syst. – 2009. – №4. – С.63–80.

10. Новичков, С.В., Карпов, М.А., Перегудов, С.В., Энергетические характеристики и экономические показатели бестопливной воздушно-аккумулирующей установки с аккумулятором постоянного объема / С.В. Новичков, М.А. Карпов, С.В. Перегудов // Промышленная энергетика = Industrial power engineering: ежемесячный производственно-технический журнал. – 2023 – № 5. – С.10–17.

УДК 621.311.25

### **Моделирование системы регенерации высокого давления АЭС в среде SimInTech**

Элембаев Максим Владимирович, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

Мефедова Юлия 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 статье рассмотрен процесс разработки и исследования теплогидравлической модели системы регенерации высокого давления АЭС в среде SimInTech. Рассмотрена технологическая схема включения подогревателей высокого давления по питательной воде и разработанная на ее основе теплогидравлическая модель. Представлены результаты моделирования в виде временных зависимостей температуры в отдельных точках системы.*

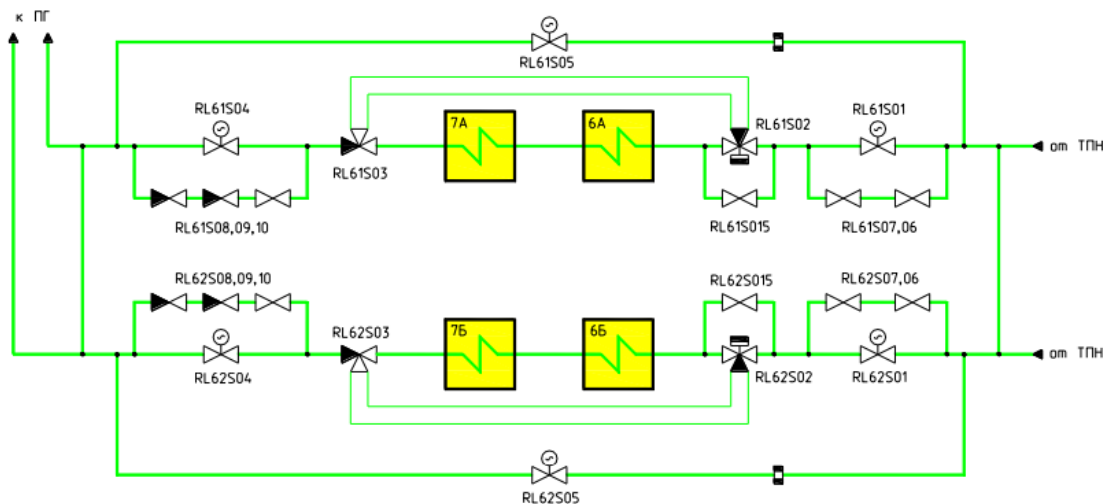
Актуальность исследования обусловлена несколькими важными факторами. В современных условиях развития атомной энергетики особую значимость приобретает совершенствование методов моделирования и оптимизации работы оборудования АЭС.

Система регенерации высокого давления является одним из ключевых элементов паротурбиной установки, от эффективной работы которой зависит экономичность и надежность всего энергоблока. Важность исследования усиливается в связи с активным развитием отечественного программного обеспечения для инженерного анализа. Программный комплекс SimInTech представляется собой современную российскую разработку с тщательно проработанным теплогидравлическим расчётным кодом, что особенно актуально в контексте политики импортозамещения.

В состав системы регенерации высокого давления входят следующие компоненты: подогреватели высокого давления ПВД-6,7, оснащенные клапанами (впускным автоматическим, обратным, предохранительным, регуливающим), система трубопроводов, арматурное оборудование, измерительные приборы и средства контроля. Питательная вода подается на вход группы подогревателей высокого давления (ПВД) по двум ниткам (А и Б) через трубопроводы диаметром 500 мм от турбопитательных насосов (рис. 1) [1].

Для обеспечения безопасности системы на каждой нитке установлены:

- впускные автоматические клапаны (RL61(62)S02) для защиты от повышения уровня;
- обратные клапаны (RL61(62)S03) на выходе;
- обводная линия, связывающая впускные и обратные клапаны;



*Рис.1. Схема подключения ПВД по питательной воде*

Конденсат греющего пара из ПВД-7А(Б) транспортируется в корпус ПВД-6А(Б) по трубопроводу диаметром 300 мм. Из ПВД-6А(Б) конденсат направляется в двух направлениях по трубопроводу диаметром 400 мм: в деаэратор Д-7 и в регенеративный теплообменник [2]. На рисунке 2 продемонстрирована готовая модель системы регенерации высокого давления, разработанная в среде SimInTech с использованием проекта теплогидравлики.

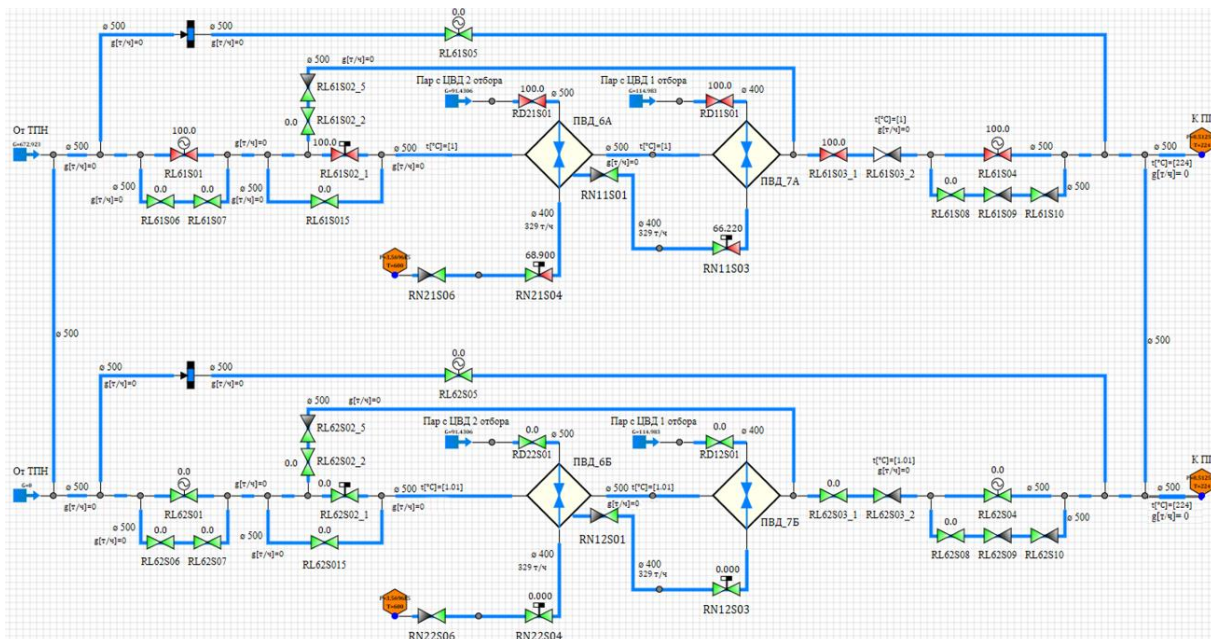


Рис.2. Разработанная модель в программе SimInTech

Созданная модель позволяет детально исследовать работу системы регенерации, включая все ключевые компоненты и взаимосвязи между ними. Такое комплексное представление системы обеспечивает возможность проведения всестороннего анализа ее функционирования в различных режимах работы.

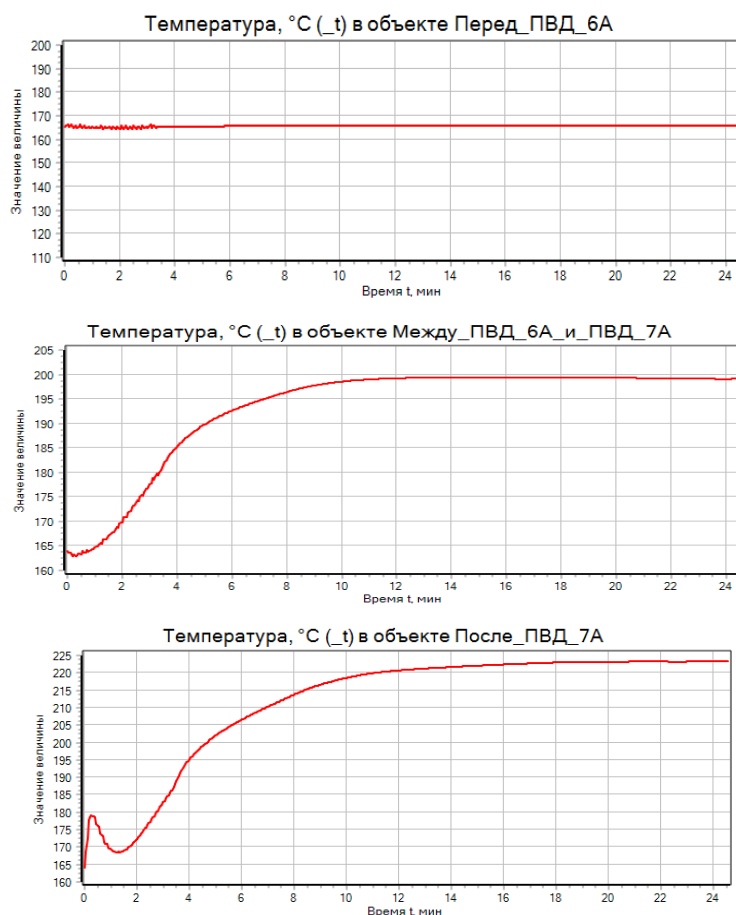
Особое внимание следует уделить проверке граничных условий и правильности ввода всех геометрических параметров. Только после тщательной проверки всех настроек можно считать модель готовой к использованию.

По итогам отработки модели в программе SimInTech получены важные графические данные, демонстрирующие температурные изменения в различных участках системы (рис. 3).

На графиках наглядно представлены показатели температуры в ключевых точках:

- в точке перед ПВД-6 фиксируется начальная температура среды;
- между ПВД-6 и ПВД-7 наблюдается характерное изменение температурных характеристик, что важно для оценки эффективности теплообмена;
- после ПВД-7 регистрируется конечная температура теплоносителя, что позволяет оценить общий результат процесса подогрева.

Полученные графики имеют практическую значимость для визуализации процесса теплообмена и контроля эффективности работы оборудования. Они также помогают выявить возможные аномалии в температурном режиме и проверить корректность созданной модели.



*Рис.3. Результат параметров температуры в каналах трубопровода нитки ПВД*

Для оптимизации процесса анализа результатов моделирования было принято специальное расчетное допущение – перевод единиц времени в минуты. Это стало возможным благодаря встроенной функции ускорения времени в программном обеспечении. Такой подход значительно упрощает визуальный контроль за изменением параметров и позволяет более комфортно отслеживать динамику процесса.

Использование ускоренного режима времени дает несколько важных преимуществ: во-первых, сокращается время ожидания завершения длительных процессов моделирования, во-вторых, появляется возможность наблюдать за изменениями параметров в удобном для восприятия масштабе, и в-третьих, облегчается процесс анализа полученных данных. При этом все расчеты производятся корректно, с сохранением необходимой точности, а изменение масштаба времени носит исключительно демонстрационный характер.

Моделирование в среде SimInTech, представленное в данной статье, открывает широкие возможности для практического применения разработанных решений. Созданная модель может служить основой для составления лабораторных стендов, что позволит эффективно подбирать параметры подачи и оптимизировать технологические процессы. Более того, полученные результаты могут быть использованы для

дальнейшей модернизации существующих систем управления.

Важным преимуществом данного подхода является возможность визуализации физических процессов в режиме реального времени. С помощью SimInTech можно не только наблюдать за поведением системы, но и интерактивно управлять её параметрами, выполняя при этом комплексные математические расчеты. Такой подход позволяет проводить виртуальные эксперименты, тестировать новые технологические решения и отрабатывать алгоритмы управления без риска для реального оборудования.

Практическая значимость данного метода заключается в том, что созданная модель может быть использована как для образовательных целей при создании обучающих лабораторных комплексов, так и для промышленного применения. На её основе можно прогнозировать поведение системы при различных условиях, что особенно важно при внедрении новых технологических решений и модернизации существующих процессов. Такой комплексный подход не только позволяет детально исследовать существующие процессы, но и создает прочную основу для их дальнейшего совершенствования и оптимизации.

#### Литература

1. Бубнов, К. Н. Математическое моделирование и диагностика состояния подогревателя высокого давления / К.Н. Бубнов // Электромеханотроника и управление : Восемнадцатая всероссийская (десятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: Материалы конференции. В 6-ти томах, Иваново, 16–18 мая 2023 года. Том 4. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2023. – С. 106.
2. Щекатуров, А.М. SimInTech: Методика моделирования динамики паротурбинной установки / А.М. Щекатуров, А.Р. Корсаков. – Москва : ДМК Пресс, 2021. – 242 с.

## СЕКЦИЯ 2

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

УДК 004.9

#### **Проектирование структурных параметров углеродных тканых полотен композитного назначения с применением информационных технологий**

Бузик Татьяна Федоровна, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Информационные технологии»

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

*В работе раскрываются теоретические и прикладные аспекты применения информационных технологий при исследовании и реализации существующих методов прогнозирования и проектирования структурных параметров тканых полотен композитного назначения из углеродных волокон. Использование информационных технологий для автоматизации методов проектирования структурных параметров актуально, т.к. позволяет минимизировать временные издержки на этапы вычислений и повысить точность их выполнения.*

При производстве авиационной, ракетно-космической и гражданской продукции из полимерных композиционных материалов (ПКМ) ведущие отечественные компании находят широкое применение ПКМ на основе углеродных волокон, плетеных и тканых преформ из них, выполняющих роль волокнистого наполнителя (каркаса). Перспективность использования углеродного волокнистого наполнителя при изготовлении ПКМ обусловлена возможностью получения изделий заданной внешней формы, имеющих высокие показатели долговечности и необходимое сопротивление к расслаиванию и удару применительно к сооружениям и сложным техническим системам [1-3].

Текстильные технологии изготовления преформ определяют следующие преимущества [4]: формирование у волокнистого наполнителя нескольких направлений армирования; получение сложной геометрической формы и переменного сечения в процессе изготовления преформы; получение преформы различной толщины, поверхностной плотности и пористости, используя заданные технологические параметры; применение средств автоматизированного проектирования с целью получения оптимальных структурных параметров преформы.

Производство инновационных материалов специального назначения выделяется как одно из ведущих направлений, что определяет актуальность проектирования ПКМ

из углеродных тканых полотен (УП) в качестве волокнистого наполнителя, их структурных показателей и физико-механических свойств, а, следовательно, и обуславливает проведение исследований, связанных с применением информационных технологий (ИТ) при разработке рациональных структурных параметров УП. Структуры углеродных волокнистых наполнителей и композитные материалы на их основе являются объектами теоретических и экспериментальных исследований. Правильный выбор УП по техническим характеристикам, виду переплетения и его структурным параметрам очень важен для получения качественного ПКМ и определяется назначением, способом получения ПКМ и способом планируемого использования.

Различные аспекты автоматизированного проектирования построения геометрической модели и параметров строения тканых структур волокнистого наполнителя в виде полотен отражены в работах П.А. Севостьянова, А.П. Гречухина, К.О. Строкина, А.В. Данилова, Ю.С. Шустова и др.

Полученные результаты исследования на основе ИТ в виде компьютерных моделей в работе П.А. Севостьянова раскрывают особенности изменения диаметра нитей из различных видов волокнистых материалов под действием нагрузок и деформаций, что позволяет рассматривать их как особую категорию механических систем при проектировании структурных параметров полотен [5].

В работе А.П. Гречухина [6] для расчета параметров строения УП предложена система уравнений, которая основана на нелинейной теории изгиба и учитывает переменный характер жесткости нити при изгибе. Результаты измерения параметров высот волн изгиба нитей и их диаметра в ткани по микросрезам оцениваются проведением статистической обработки с использованием методов математической статистики и программ Microsoft Excel, Kompas, DataScope, MathCAD.

Основные положения исследования, приведенные в [7] К.О. Строкиным, раскрывают метод прогнозирования структурных параметров УП в зависимости от его прочностных характеристик. В среде Python разработана программа, позволяющая выполнить расчеты, связанные с определением структурных параметров прочностных характеристик УП и армированных на их основе композиционных материалов.

Реализация задачи автоматизированного расчета параметров строения тканого полотна, предназначенного для изготовления композитов, представлена в работе А.В. Данилова и Ю.С. Шустова в виде разработки программы на языке C++ [8]. Программа осуществляет построение мелкоузорчатых переплетений для однослойных тканей, выполняет расчёт порядка фазы строения ткани по заданным параметрам, определяет

величины заправочного натяжения нитей на оборудовании в соответствии с порядком фазы строения, а также сохраняет расчетные данные в табличном виде и в отдельном файле. В программе основным классом является класс `Graph_Env`, выполняющий функции графической среды, показывающей состояние программы; осуществляющий роль конструктора, который получает данные от одного класса и затем передает другому, а также поддерживает интерфейс в соответствии с проводимыми изменениями [8].

Равномерность пропитки полотна из углеродных волокон, подвергающегося полимеризации, во многом зависит от оптимального выбора его структурных параметров, в том числе и с учетом его поверхностной пористости. Результаты исследования по разработке программы, применяемой в качестве автоматизированного метода проектирования структурных параметров УП с заданной поверхностной пористостью, приведены в работе [9]. Алгоритм автоматизированного метода реализует две методики Н.Ф. Сурниной по проектированию параметров строения ткани с учетом пространственного расположения нитей в элементе тканого полотна. В первом случае проектируется УП, для которого в группе исходных данных заданы толщина и поверхностная пористость полотна, а во втором случае поверхностная пористость.

Среда разработки Microsoft Visual Studio 2022 и язык программирования C# выбраны в качестве средств разработки алгоритма и программы автоматизированного метода. Сочетание C# и Microsoft Visual Studio упрощают работу со сторонними библиотеками с помощью пакетного менеджера Nuget, который позволяет применять библиотеки, ранее созданные другими разработчиками, и добавлять их в свой проект. Для реализации графического интерфейса программы автоматизированного метода использована платформа Windows Forms.

Программа включает в себя форму «Form1» для ввода исходных данных, вывода результатов расчета, сохранения результатов расчетов в БД и в отдельном файле формата Excel, а также для отображения их в виде графиков. Графики представляют в наглядной форме зависимость плотности полотна и толщины нитей от толщины полотна при заданной поверхностной пористости, а также зависимость плотности полотна, уработки нитей и коэффициента наполнения по утку от поверхностной пористости.

Для тестирования разработанной программы приняты параметры УП на основе волокна марки UMT42S-3K-EP компании UMATEX Group. В 2016 году ГК «Росатом» объединила группу предприятий в компанию Umatex Group, которая является одним из крупнейших производителей углеродного волокна и изделий на его основе, а также

осуществляет научно-исследовательскую деятельность, что дало возможность РФ получить независимость от импорта в сфере углеродных композитов [10].

Предлагаемый метод автоматизированного проектирования позволяет минимизировать временные издержки на этапы вычислений, входящих в расчет структурных параметров УП, и повысить точность их выполнения. Результат данной работы может быть применен с целью решения конкретных научных и практических задач, связанных с проектированием оптимальных структурных параметров УП композитного назначения и определением технологических параметров заправки оборудования в условиях действующего производства, что актуально в рамках научно-технологической политики по инновационному развитию композитной отрасли в соответствии с задачами, обозначенными подпрограммой «Развитие производства традиционных и новых материалов» программы РФ «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности» и Сводной стратегией развития обрабатывающей промышленности РФ на период до 2035 года.

Исходя из анализа материалов, раскрывающих аспекты применения ИТ при проектировании композитных материалов и технологий их изготовления, необходимо отметить, что инновационное развитие композитной отрасли на основе углеродных волокнистых материалов базируется на научных исследованиях и разработках, выполняемых в рамках комплексных инновационных проектов по созданию композитов и высокотехнологичной продукции на их основе. В связи с этим важное значение в реализации задач по разработке передовых технологий в данной отрасли имеет принятие закона «Об инновационных научно-технологических центрах», что позволяет предприятиям, а также учреждениям образования и науки реализовать в результате их взаимодействия производство ПКМ на основе углеродного волокна от сырья до готовых изделий и осуществлять решение задачи импортозамещения.

#### Литература

1. Донецкий, К.И. Свойства угле- и стеклопластиков на основе плетеных преформ [Электронный ресурс] / К.И. Донецкий [и др.] // Авиационные материалы и технологии. – 2016. – №4(45). – С.54-59. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/svoystva-ugle-i-stekloplastikov-na-osnove-pletenyh-preform> (дата обращения: 12.01.2025).
2. Донецкий, К.И. Углепластик на основе объемно-армирующей триаксиальной плетеной преформы [Электронный ресурс] / К.И. Донецкий [и др.] // Труды ВИАМ. – 2019. – №1 (73). – С.55-63. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ugleplastik-na-osnove-obemno-armiruyuschey-triaksialnoy-pletenoy-preform> (дата обращения: 12.01.2025).
3. Власенко, Ф.С. Применение плетеных преформ для полимерных композиционных

материалов в гражданских отраслях промышленности (обзор) [Электронный ресурс] / Ф.С. Власенко, А.Е. Раскутин, К.И. Донецкий // Труды ВИАМ. – 2015. – №1. – С.25-29. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-pletenyh-preform-dlya-polimernyh-kompozitsionnyh-materialov-v-grazhdanskih-otraslyah-promyshlennosti-obzor> (дата обращения: 12.01.2025).

4. Богомолов, П.И. Обзор современных технологий изготовления объемно-армирующих преформ для перспективных композиционных материалов [Электронный ресурс] / П.И. Богомолов, И.А. Козлов, М.А. Бируля // ТТПС. – 2017. – №1 (39). – С.22-27. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-sovremennyh-tehnologiy-izgotovleniya-obemno-armiruyuschih-preform-dlya-perspektivnyh-kompozitsionnyh-materialov> (дата обращения: 12.01.2025).

5. Севостьянов, П.А. Компьютерные модели в механике волокнистых материалов [Электронный ресурс]: монография / П.А. Севостьянов. – М. : Тисо Принт, 2013. – 254 с. – URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01006636277?ysclid=m6pbottsp7863321693> (дата обращения: 12.01.2025).

6. Гречухин, А.П. Математическая модель строения ткани из углеродных нитей [Электронный ресурс] / А.П. Гречухин // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015. – №5(359). – С. 94-100. – URL: [https://tp.ivgpu.com/?page\\_id=4659](https://tp.ivgpu.com/?page_id=4659) (дата обращения: 14.01.2025).

7. Строкин, К.О. Прогнозирование прочностных свойств композиционных материалов, армированных углеродными тканями [Электронный ресурс] : дис. канд. техн. наук : 05.19.01 / К. О. Строкин. – СПб., 2018. – 182 с. – URL: <https://search.rsl.ru/> (дата обращения: 14.01.2025).

8. Данилов, А.В. Разработка алгоритма в программы расчета рациональных параметров строения ткани из арамидной пряжи и технологических параметров ее изготовления [Электронный ресурс] / А.В. Данилов, Ю.С. Шустов // Проблемы современной науки и образования. – 2019. – №6(139). – С.9-13. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-algoritma-v-programmy> (дата обращения: 14.01.2025).

9. Чатта, А.В. Автоматизация метода проектирования структурных параметров углеродного полотна с заданной поверхностной пористостью [Электронный ресурс] / А.В. Чатта, Т.Ф. Бузик // Вестник ДИТИ НИЯУ МИФИ. – 2023. – № 3(31). – С.77-85. – URL: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=59994811> (дата обращения: 12.01.2025).

10. Umatex Group входит в состав Госкорпорации «Росатом» [Электронный ресурс] // Umatex Group: сайт. – URL: <https://infomach.ru/umatex/?ysclid=ldbd2uksbk608695047> (дата обращения: 14.01.2025).

## **Разработка интерфейса образовательного чат-бота на react**

Виштак Наталья Михайловна, кандидат педагогических наук,  
доцент кафедры «Информационные системы и технологии»;

Грачев Владислав Александрович, 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 процесс проектирования клиентской части веб-приложения на React.js. Описывается процесс выделения отдельных компонентов, их функционал. Приводится описание основных маршрутов приложения. Рассматриваются запросы к серверной части, уделяется внимание формату запросов. Описываются механизмы сессий и пагинации.*

Современные цифровые технологии всё активнее внедряются в образовательную среду, трансформируя привычные формы взаимодействия между преподавателями и обучающимися. Одним из ярких примеров такого преобразования стали интеллектуальные чат-боты — программные агенты, способные вести диалог с пользователем и оказывать помощь в обучении. Особенно востребованными становятся чат-боты, обладающие интерфейсом, ориентированным на удобство и доступность для широкого круга пользователей.

Актуальна разработка образовательного чат-бота для студентов и школьников на основе большой языковой модели с целью повышения степени автоматизации образовательного процесса [1, 6 и др.]. Чат-бот должен иметь минималистичный и функционально удобный дизайн, чтобы с ним могли взаимодействовать пользователи-непрофессионалы. React — одна из самых популярных библиотек для разработки пользовательских интерфейсов — предоставляет широкие возможности для создания адаптивных, быстрых и интерактивных приложений. Использование React в разработке образовательного чат-бота позволяет обеспечить гибкость интерфейса, масштабируемость и лёгкость интеграции с backend-системами, в том числе с языковыми моделями.

Для проектирования дизайн-макета веб-приложения применяется вайрфрейм — это «схема с низким уровнем детализации, которая визуализирует структуру и содержание цифрового проекта» [2]. Вайфрейм представляет собой скелет, каркас будущей веб-страницы.

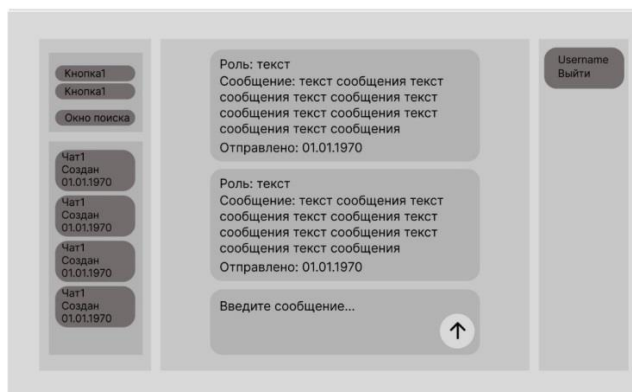
Для создания вайрфреймов использовался сервис Figma, так как он бесплатен и удобен для создания и редактирования интерактивных макетов. На рис. 1 и 2 представлены вайрфреймы главной страницы с разными уровнями детализации. На рис. 1 видны основные блоки страницы:

- блок «LeftPanel» представляет собой боковую панель со списком чатов и элементами управления чатами;
- блок «Utility1» предназначен для элементов управления чатами. Блок «Content1» содержит в себе список чатов пользователя;
- посередине страницы располагается окно чата (блок «Content2»), которое содержит в себе форму ввода (блок «Form1») и сообщения выбранного чата (блок «ChatContent»);
- справа от окна чата располагается блок «Utility2», который предназначен для различных элементов управления состоянием приложения (например, выход из аккаунта).

Такая структура обеспечивает логичное и удобное взаимодействие пользователя с веб-приложением. Зоны интерфейса визуально разделены, каждая из них предназначена для выполнения конкретных задач. На рис. 2 представлен более детализированный вайрфрейм главной страницы, содержащий пример заполнения данными.



*Рис. 1. Вайрфрейм главной страницы веб-приложения*



*Рис. 2. Детализированный вайрфрейм главной страницы веб-приложения*

Каждый элемент интерфейса предназначен для выполнения конкретной функции и обладает собственной логикой взаимодействия. Элементы управления чатами (кнопки) позволяют создавать и удалять чаты. При выборе чата из списка в центральной части загружается история переписки пользователя с чат-ботом (при наличии сообщений). Отправка нового сообщения автоматически прокручивает окно вниз для отображения последнего ответа.

Клиентская часть представляет собой SPA, приложение разделено на компоненты. Основные компоненты приложения включают App (контейнер приложения), AiChat (основной контейнер для компонентов чата), LeftPanel (боковая панель с чатами), SignIn и SignUp (страницы входа и регистрации).

Для навигации применяется react-router-dom. Все маршруты содержатся в компоненте «App». Приложение содержит следующие маршруты:

- «/app» – для этого маршрута в случае, если пользователь неавторизован, происходит перенаправление на маршрут «/authorize», иначе рендерится компонент «AiChat» (главная страница);
- «/» – при попадании в корневой маршрут происходит перенаправление на маршрут «/app» или «/authorize», в зависимости состояния аутентификации;
- «/authorize» – если пользователь неавторизован, то рендерится компонент «AskRegistered» (страница авторизации), иначе происходит перенаправление в «/app»;
- «/login» – отображает компонент «SignIn» (страница входа), если пользователь неавторизован, и перенаправляет в «/app» в противном случае;
- «/register» – рендерит компонент «SignUp (страница регистрации)» если пользователь неавторизован, и перенаправляет в «/app» если он авторизован;
- «/\*» – все прочие маршруты перенаправляются в корень (то есть в «/»).

Для хранения информации о состоянии авторизации пользователя используется хук «useState», «позволяющий использовать состояние в функциональных компонентах» [3].

Для того чтобы все вложенные компоненты могли знать о состоянии авторизации пользователя, применяется контекст, «позволяющий передавать данные по дереву компонентов без необходимости передачи их через пропсы на каждом уровне» [4]. Контекст AuthContext создаётся с помощью createContext, и предоставляется через AuthProvider, который оборачивает корневой компонент App. Состояние авторизации (authorized) и имя пользователя (username) доступны всем вложенным компонентам через хук useAuth.

Состояние авторизации устанавливается при монтировании компонента «App».

Для этого производится POST-запрос к бэкенду по маршруту «/refresh\_access», в случае успешного ответа (HTTP-код 200) пользователь считается авторизованным, из кук загружается имя пользователя и рендерится главная страница, в любом другом случае пользователя перенаправляет на страницу авторизации.

Для отправки запроса при монтировании компонента «App» применяется хук `useEffect`, «представляющий совокупность методов `componentDidMount`, `componentDidUpdate`, и `componentWillUnmount`» [5]. Для асинхронных операций используется `axios`, в сочетании с хуками состояния и эффектов. Это позволяет динамически обновлять данные без полной перезагрузки страницы.

Фрагмент кода, устанавливающего состояние авторизации, представлен на рис.

3.

```
useEffect(() => {
  const checkSession = async () => {
    try {
      const response = await axios.post('http://localhost:3001/api/refresh_access', {}, {
        withCredentials: true
      });
      if(response.status === 200){
        setAuthorized(true);
        setUsername(Cookies.get('username'));
      }
    }
    catch(err) {
      const {error} = err.response.data;
      console.log(error);
    }
  }
});
```

*Рис. 3. Установка состояния авторизации при монтировании*

Данные о чатах хранятся в компоненте «AiChat», вложенным компонентам передаются через пропсы. Чат представляет собой JSON с определенной структурой (рис. 4).

```
{
  "chats": [
    {
      "chat_id": 328,
      "chat_name": "sdfsdf...",
      "chat_time": "2025-04-09T14:25:24.447Z",
      "messages": [
        {
          "message_id": 496,
          "role": "user",
          "message": "d",
          "message_time": "2025-04-09T14:26:01.392Z"
        },
        {
          "message_id": 497,
          "role": "user",
          "message": "d",
          "message_time": "2025-04-09T14:26:01.392Z"
        }
      ]
    }
  ]
}
```

*Рис. 4. Структура чата*

Метаданные о чатах хранятся в состоянии в боковой панели приложения (название, id, дата создания), при этом в самом окне чата всегда отображаются сообщения выбранного в данный момент чата (при монтировании компонента автоматически в качестве выбранного устанавливается самый последний по дате чат). Таким образом, при нажатии на чат в левой панели изменяется выбранный чат и происходит загрузка сообщений для него.

Для получения данных о чатах и сообщениях производятся запросы к бэкенду. Например, для инициализации метаданных чатов используется следующий запрос (рис. 5).

```
const response = await axios.get('http://localhost:3001/api/user/chats/meta', {  
  params: {last_id: lastId},  
  withCredentials: true  
});
```

*Рис. 5. Получение метаданных чатов*

Параметр «last\_id» нужен для реализации пагинации. При монтировании компонента «LeftPanel» производится сначала инициализация метаданных чатов (параметр «last\_id» устанавливается равным нулю), а затем асинхронно обновляется параметр «last\_id» значением последнего id из полученной выборки. При прокрутке списка чатов до самого низа происходит запрос к бэкенду, при этом передается параметр «last\_id», что позволяет выбрать только те чаты, которые еще не были загружены.

Для окна сообщений пагинация реализована аналогично, за исключением того, что сообщения прокручиваются вверх.

Для реализации механизма сессий применяются сессионные токены (access token и refresh token). Они не сохраняются в хранилище браузера, а передаются при каждом запросе. Токены сохраняются в cookie с флагами HttpOnly и Secure со стороны сервера, чтобы ограничить доступ к нему со стороны JavaScript-кода.

Помимо реализации механизма сессий токены позволяют получать доступ к защищенным маршрутам API. Например, они необходимы для добавления сообщений в чат при помощи формы. Для добавления сообщений в чат используется «оптимистичный» подход, при котором сообщение гарантированно отображается после отправки, независимо от результата запроса. Такой подход позволяет достичь максимального быстродействия при работе с приложением.

Таким образом, благодаря разбиению на компоненты было разработано модульное клиентское приложение на React.js. Приложение позволяет взаимодействовать с чат-ботом благодаря функциональным элементам управления (кнопки, поля ввода), а также осуществлять поиск по списку чатов. Благодаря

использованию React.js приложению не требуется перезагрузка при обновлении содержимого, вместо этого при изменении происходит перерисовка только тех мест, в которых произошли изменения, что особенно актуально для приложения-чата.

#### Литература

1. Грачев В.А. Виштак Н.М. Применение трансформерной модели в образовательных чат-ботах. / Сборник научных трудов «Информационно-ресурсное обеспечение образовательного процесса в средней и высшей школе: проблемы и перспективы» – Саратов : Саратовский источник, 2025. – С.130-133

2. Что такое вайрфреймы: собираем схему проекта // Practicum от Яндекса. URL: <https://practicum.yandex.ru/blog/что-такое-vajrfrejmy/> (дата обращения: 10.05.2025). – Текст: электронный.

3. Using the State Hook // React: Documentation archive. URL: <https://legacy.reactjs.org/docs/hooks-state.html> (дата обращения: 10.05.2025). – Текст: электронный.

4. Context // React: Documentation archive. URL: <https://legacy.reactjs.org/docs/context.html> (дата обращения: 10.05.2025). – Текст: электронный.

5. Использование хука эффекта // React: архив документации. URL: <https://ru.legacy.reactjs.org/docs/hooks-effect.html> (дата обращения: 10.05.2025). – Текст: электронный.

6. Виштак Н.М., Грачев В.А. Разработка чат-бота на основе клиент - серверной архитектуры. //В сборнике материалов Всероссийской научно - практической конференции Информационные технологии в экономике и управлении. – Махачкала. - 2024. - С. 109-113.

УДК 371.31

#### **Интерфейс игрового приложения «Миссия Луна. Режим колонизации»**

Виштак Ольга Васильевна, доктор педагогических наук, профессор кафедры

«Информационные системы и технологии»;

Рафиков Рустам Шамилович, 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 рассмотрены преимущества и недостатки применения геймификации в образовательной сфере, описан этап разработки интерфейса в рамках проекта «Миссия Луна».*

Геймификация — это внедрение элементов игрового дизайна в неигровые контексты. Под контекстами подразумеваются сферы, которыми могут быть образование, здравоохранение, маркетинг и сфера развлечений. За последние пять лет геймификация стала новым инструментом стратегии, внедряемой в различные сферы. По прогнозам, глобальный рынок геймификации к 2034 году может вырасти на 17000% при ежегодном темпе роста в порядке 28%, что свидетельствует о заинтересованности в его использовании и увеличении продуктов с игровыми элементами.

Образование — одна из сфер, где геймификация активно развивается [1, 2, 3, 4 и др.]. По данным исследований, внедрение игровых элементов в образование способствует повышению успеваемости, мотивации и вовлеченности обучающихся. Однако, несмотря на улучшение важных для образования навыков и умений, у геймификации есть и недостатки. Чрезмерное использование игровых элементов может привести к зависимости от мотивации получения игровых вознаграждений, а не внутреннего желания человека развиваться и учиться, снижению интереса при длительном использовании, а также к смещению фокуса с обучения на игровые элементы. Преимущества и недостатки представлены в таблице 1.

Таблица 1

Преимущества и недостатки геймификации в образовании

Геймификация в образовании	
Преимущества	Недостатки
1. Повышение мотивации и вовлеченности 2. Улучшение когнитивных результатов 3. Развитие социальных навыков 4. Индивидуализация обучения	1. Снижение мотивации при долгом использовании 2. Зависимость от вознаграждений 3. Риск снижения фокуса обучающихся на игровые элементы

Таким образом, геймификация хоть и обладает большим потенциалом в сфере образования, ее внедрение требует учитывать все ее недостатки. Важно не просто интегрировать игровые механики, но и создавать баланс между обучением и игрой через наличие смысловых связей с учебным процессом, избегая возможной зависимости от приложения как от игры. Такой баланс позволит улучшать результаты обучения, но если баланс начнет смещаться, то все преимущества могут перерасти в недостатки

Разработка образовательной игры - сложный процесс, требующий большого внимания к продумыванию игровых элементов, пользовательских сценариев использования, прототипирования и тестирования [5, 6, 7 и др.]. Обычно такие игры

идут по схеме выдвижения идей, концепций, проводится исследования, формируется структура приложения и дизайн, затем проходит тестирование и по необходимости проведение исследований и формирование структуры могут повторяться. Последним этапом является разработка самого приложения.

Важно продумывать пользовательский опыт от взаимодействия с конечным приложением, он должен быть положительным. Достижение этого позволит улучшить и восприятие информации, и сделать процесс использования приложения удобным - за это в команде отвечает UX/UI дизайнер [8]. UX отвечает за логику интерфейса, его интуитивность, удобство, а также как именно будут строиться определенные пользовательские сценарии внутри приложения. UI несет ответственность за приятный внешний вид, достигающийся при помощи графики, стиля и цветовой палитры. Одна часть не может существовать без другой, так как они дополняют друг друга. Плохой UX интерфейс будет свидетельствовать о его непродуманности и сделает приложение неудобным, но в то же время без качественного UI не добиться интуитивности и понятности, что скажется на UX. В образовательных играх, где важно удерживать внимание, дизайн должен быть продуман.

«Миссия Луна» — является образовательным веб-приложением, где важно наличие дизайнера. Приложение направлено на популяризацию науки и повышение интереса к исследованию космоса. Поэтому были внедрены элементы геймификации: статистика, проценты, визуальная составляющая. Но чтобы игровая составляющая не перетянула на себя внимание, основной задачей проекта было создать решение, в котором игровые элементы логически связаны с научными обоснованиями.

Пользователю, для достижения большего успеха, должен взаимодействовать с данными: следить за статистикой, изучать требования каждого объекта к рельефу и расположению и стараться автоматизировать процессы добычи ресурсов. Чтобы облегчить восприятие этой информации, нужно было сделать ключевые элементы хорошо видными, а интерактивные элементы интуитивно считываемыми. Также, дизайн проекта должен удовлетворять современным требованиям внешнего вида и тенденциям – то есть, интерфейс должен быть современным, так как это повышает эстетическое удовольствие пользователя от использования приложения, а вместе с тем повышает и доверие к приложению. Но внешний вид не должен быть перегруженным, так как излишнее количество информации перед пользователем, может утомлять его.

Именно баланс между интуитивным и визуально красивым интерфейсом позволяет сохранить интерес пользователя, а грамотное содержание и интересные механики - позволяют этот интерес продлить.

Для снижения когнитивной нагрузки на пользователя было продумано обучение, которое через серию пользовательских сценариев объясняло интерфейс и механики взаимодействия внутри проекта.

Ключевой задачей при разработке "Миссии Луна" было учесть ограничения веб-браузера: стандартный встроенный UI, которые имеется во всех современных браузерах — это адресная строка, панель закладок, элементы навигации и т. д. [9, 10, 11 и др.]. На мобильных версиях браузеров такие элементы еще больше ограничивают экран для проектирования интерфейса мобильного проекта, но мы не могли отказаться от мобильной версии, так как более 63% всего интернет-трафика приходится именно на мобильные устройства, такую статистику приводит Statcounter.

Еще одним важным ограничением веб-решений на мобильных браузерах является сложность работы с жестами. Во-первых, встроенные системные навигационные жесты могут конфликтовать с нашими пользовательскими сценариями. Во-вторых, в приложениях на телефоне в браузерах снижена плавность и увеличена при этом нагрузка на систему. Поэтому в «Миссии Луна» мы не использовали в мобильной версии жестовые решения.

После того, как исследование рынка, пользователей и технических ограничений были завершены, наступает этап реализации user flow, макета и прототипа.

User Flow (от английского, «путь пользователя») является диаграммой из блоков и связей, наглядно отражающих схему последовательности действий пользователя для достижения определенных целей. Примером User Flow может быть диаграмма, описывающая последовательность действий, которые необходимо совершить пользователю, для постройки модуля.

После готовности User Flow процесс переходит к разработке макета и прототипа. Макет с точки зрения пользователя является лишь отражением внешнего вида будущего продукта, для него это может быть своего рода обычным изображением, тогда как для разработчика это является ключевым пониманием того, как должен выглядеть конечный интерфейс. В профессиональной программе для разработки интерфейса, Figma, предусмотрен режим разработчика (Dev Mode), он позволяет разработчику просматривать свойства стилей на определенном языке программирования для каждого элемента, тем самым ускоряя процесс переноса макет на реальный продукт.

Прототип позволяет имитировать определенные пользовательские сценарии этого продукта, но на основе макетов. Он является кликабельным, но чаще всего только в тех местах, которые проверяет команда дизайнеров, и имеет в большинстве случаев

заранее прописанный путь и последовательность с уже заготовленными внутри данными. Создается он, чтобы при тестировании с конечным пользователем отслеживать, насколько хорошо с подготовленным прототипом пользователь сможет совладать с интерфейсом при первом с ним знакомстве. Все ошибки и трудности, возникающие у пользователя на этом этапе, являются виной дизайнера, который тем самым отслеживает, насколько он хорошо справился с интерфейсом.

Когда макет и прототип готовы, они передаются команде разработчиков, которые начинают этап реализации продукта с программной точки зрения. В крупных компаниях между процессом передачи дизайн-решений проходит тестирование, которое позволяет определить, решает ли данный дизайн поставленные задачи и не доставляет ли он пользователю дискомфорта, но данный этап мы пропустили в виду ограничений по времени, данное команде на реализацию проекта.

После передачи дизайна команде разработчиков, последние начинают заниматься его переносом на код, создавая работающее приложение с помощью инструментов, которые могут ему предложить графические редакторы.

Таким образом, рассмотрев некоторые аспекты разработки интерфейса игрового приложения, следует отметить, что интерфейс в образовательных игровых приложениях должен быть реализован с учетом всех технических аспектов, требований дизайна и с учетом эргономических требований.

#### Литература

1. Виштак Н.М., Зеленов А.А. Критерии построения компьютерных игровых обучающих систем. / Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции: Проблемы развития регионов в условиях модернизации экономики, общества и образования. – Балаковский инженерно-технологический институт (филиал) Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». – 2018. – С. 43-48.

2. Виштак Н.М., Петченко В.П. Игровые технологии в учебном процессе компьютерной школы. / Сборник трудов III Международной научно-практической конференции: Проблемы развития предприятий энергетической отрасли в условиях модернизации российской экономики и общества. – Балаковский инженерно-технологический институт (филиал) Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». – 2017. – С.69-75.

3. Штырова И.А., Панина О.И. Особенности использования игровых технологий при обучении информатике. / В сборнике материалов Всероссийской научно-практической конференции: Формирование профессиональной направленности

- личности специалистов - путь к инновационному развития России. – 2019. – С.157-161.
4. Виштак, Н. М., Лебедева Я.В. Геймификация дополнительного образования.. // Сборник научных трудов «Актуальные тренды в современном образовании». В 2 ч. Ч. 2. – Саратов: Саратовский источник. – 2022. – С.129-132.
5. Виштак О.В., Петченко В.П. интерфейс пользователя информационной обучающей системы. // В сборнике трудов IV Международной научно-практической конференции: Проблемы развития регионов в условиях модернизации экономики, общества и образования. – 2018. – С. 51-54.
6. Московцев А.А., Виштак О.В. Разработка модуля игрового приложения для проведения фиджитал-соревнований. // В сборнике: Информационно-ресурсное обеспечение образовательного процесса в средней и высшей школе: проблемы и перспективы. Сборник научных трудов. Саратов, 2025. С. 329-333.
7. Московцев А.А., Виштак Н.М. Инструментальные средства разработки программного модуля игрового приложения. // В сборнике статей участников X Международной научно-практической конференции: Web-технологии в образовании: традиции, инновации, опыт. – Арзамас, 2024. – С. 114-117.
8. Deterding S., Dixon D., Khaled R., Nacke L. From Game Design Elements to Gamefulness: Defining "Gamification" — Текст: электронный // ResearchGate: [сайт]. — URL: [https://www.researchgate.net/publication/230854710\\_From\\_Game\\_Design\\_Elements\\_to\\_Gamefulness\\_Defining\\_Gamification](https://www.researchgate.net/publication/230854710_From_Game_Design_Elements_to_Gamefulness_Defining_Gamification) (дата обращения: 24.04.2025).
9. Platform Market Share Worldwide — Текст: электронный // StatCounter: [сайт]. — URL: <https://gs.statcounter.com/platform-market-share/desktop-mobile/worldwide/> (дата обращения: 24.04.2025).
10. Gamification Market Size, Share, Growth — Текст: электронный // Precedence Research: [сайт]. — URL: <https://www.precedenceresearch.com/gamification-market> (дата обращения: 26.04.2025).
11. Koivisto J., Hamari J. The rise of motivational information systems: A review of gamification research — Текст: электронный // ScienceDirect: [сайт]. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581920300987> (дата обращения: 26.04.2025).

### **Фиджитал-игры: преимущества и перспективы**

Дедух Максим Сергеевич, студент направления

«Информационные системы и технологии»;

Виштак Наталья Михайловна, кандидат педагогических наук,

доцент кафедры «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 концепция фиджитал-игр (ФИ) как интегративного подхода, объединяющего физическую активность и цифровые технологии. Анализируются ключевые преимущества ФИ и их потенциал для развития спортивных соревнований. Предлагается методология разработки ФИ с использованием современных информационных технологий.*

Фиджитал-игры (ФИ) представляют собой гибридную форму спортивной активности, в которой последовательно объединяются два различных этапа соревнований: виртуальный и физический [1, 2, 3, 9, 11 и др.]. На первом этапе участники соревнуются в кибердисциплине, как правило, в рамках спортивного симулятора или другой цифровой игры, а на втором — в аналогичном виде спорта, но уже в физической реальности. Такой формат предполагает равнозначную значимость как цифровых навыков и стратегического мышления, так и физической подготовки, выносливости и координации. Взаимосвязь между этапами подчеркивает идею комплексного подхода к спортивной деятельности и создает новые возможности для исследования взаимодействия когнитивных и моторных функций в условиях соревновательной среды, опосредованной технологиями.

Основное назначение фиджитал-игр заключается в интеграции различных форм активности человека — физической, когнитивной и цифровой — в единую игровую и соревновательную среду, способную адаптироваться к современным вызовам в сфере образования, спорта и досуга [4, 5, 9]. Фиджитал-формат представляет собой отклик на потребность нового поколения в более динамичных, технологически насыщенных и персонализированных формах взаимодействия с окружающей средой. Благодаря объединению виртуального и реального компонентов в рамках единого игрового процесса, создаются условия для формирования устойчивых моделей поведения, направленных на самосовершенствование, развитие цифровых компетенций, а также укрепление здоровья и физической выносливости.

Данный вид спорта выполняют важную функцию в трансформации традиционного подхода к спортивной и игровой деятельности, предлагая многоуровневые модели взаимодействия, в которых участники осваивают не только физические и технические навыки, но и критическое мышление, цифровую навигацию, стратегическое планирование и адаптацию к быстро меняющейся информационной среде [1, 6, 7, 8, 10]. Кроме того, данные форматы способствуют расширению аудитории участников за счёт включения людей с различным уровнем физической подготовки, а также преодолению географических и социальных барьеров благодаря возможностям онлайн-взаимодействия.

С учётом изложенного представляется возможным сформулировать обобщённый вывод о том, что фиджитал-игры обладают комплексом существенных преимуществ, предопределяющих их высокую актуальность и значительный потенциал развития в контексте современной спортивной, образовательной и социокультурной практики. Данный формат представляет собой инновационную модель взаимодействия, способную удовлетворить потребности как отдельных участников, так и институтов, заинтересованных в модернизации традиционных форм физической и игровой активности. Основные преимущества фиджитал-игр включают следующее:

1. Интеграция физического и когнитивного развития.

Фиджитал-игры, объединяя киберспортивные элементы с реальной физической активностью, обеспечивают синергетическое развитие как физических (сила, выносливость, координация), так и когнитивных (стратегическое мышление, реакция, принятие решений) способностей участников. Взаимодействие с виртуальной средой требует быстрого анализа ситуации и принятия тактических решений, которые затем реализуются через физические действия, формируя комплексный подход к развитию спортсмена. Более того, виртуальная привлекательность фиджитал-формата способна мотивировать к началу занятий физической активностью, стимулируя постепенное улучшение физической формы.

2. Повышение мотивационной привлекательности.

За счёт включения элементов геймификации, цифровой динамики и визуального сопровождения фиджитал-игры формируют эмоционально насыщенную и психологически комфортную среду, способствующую активному участию и устойчивому интересу. Геймифицированные элементы, такие как рейтинги, награды и виртуальные достижения, стимулируют соревновательный дух и поддерживают долгосрочную вовлеченность. Визуализация прогресса и интерактивные интерфейсы обеспечивают постоянную обратную связь, повышая мотивацию к достижению целей.

### 3. Привлечение участников с разнообразными способностями.

Фиджитал-игры обладают уникальной способностью привлекать широкий спектр участников, включая тех, кто может демонстрировать выдающиеся результаты в когнитивных аспектах спортивной деятельности. Участники, сильные в стратегическом планировании, тактическом мышлении и скорости реакции в виртуальной среде, но имеющие определенные физические ограничения, находят в фиджитал-формате возможность для полноценной реализации своего потенциала. Виртуальный этап соревнований становится платформой, где их интеллектуальные преимущества могут быть конвертированы в соревновательное преимущество, создавая более инклюзивную среду, где различные типы способностей ценятся и могут привести к успеху. Это расширяет границы традиционного спорта, делая его более привлекательным для лиц с различными профилями сильных сторон.

### 4. Формирование комплексных моделей обучения и тренинга.

Интеграция виртуальных и физических этапов в фиджитал-играх открывает уникальные возможности для одновременного развития навыков, необходимых как для киберспортивной, так и для реальной спортивной дисциплины. Тренировочные программы могут быть структурированы таким образом, чтобы параллельно совершенствовать физические качества и когнитивные способности, такие как реакция, принятие решений и стратегическое мышление, необходимые для успешного выступления в обоих форматах. Это обеспечивает более эффективный и целостный процесс подготовки спортсмена в условиях цифровой трансформации и акцента на персонализированном развитии.

### 5. Создание новых форматов соревнований и развлечений.

Интеграция физического и цифрового миров открывает возможности для разработки принципиально новых форматов спортивных соревнований и развлекательных мероприятий, сочетающих элементы реального и виртуального взаимодействия, что может привлечь новую аудиторию и повысить зрелищность.

В условиях цифровизации всех сфер общественной жизни фиджитал-игры выступают как перспективное направление спортивной и образовательной активности. Сравнение их с традиционными спортивными играми позволяет выявить принципиальные различия по ряду характеристик, отражающих специфику организации, целеполагания и вовлечённости участников. В таблице 1 представлены основные различия между этими двумя форматами, демонстрирующие преимущества и особенности каждого подхода.

Сравнительная таблица фиджитал-игр и традиционных спортивных игр

Критерий сравнения	Фиджитал-игры	Традиционные спортивные игры
Формат соревнования	Комбинация виртуального и физического этапов	Проведение исключительно в физическом пространстве
Тип активности	Интеграция физической, когнитивной и цифровой деятельности	Преобладание физической активности
Мотивационная привлекательность	Высокая за счёт геймификации, визуальных эффектов, цифрового прогресса	Зависит от интереса к виду спорта, авторитета тренера и среды
Аудитория	Молодёжь, цифровое поколение, участники с разным уровнем подготовки	Спортивно ориентированные и физически активные группы населения
Оценка результатов	Объективная: автоматизированные цифровые системы фиксации и аналитики	Часто субъективная из-за ручной учёта, судейской интерпретации
Доступность и масштабируемость	Выше, чем у многих традиционных видов спорта (за счёт виртуального этапа), но требует личного присутствия на физическом этапе.	Ограничена инфраструктурой, географией и наличием условий
Развиваемые компетенции	Более широкий и комплексный спектр развиваемых навыков, включая физические, когнитивные и цифровые.	Физическая выносливость, координация, тактическое мышление
Потенциал для инклюзивности	Цифровой этап даёт больше возможностей для участия, но физический раунд остаётся ограничивающим фактором	Ограниченный, ввиду требования определенного уровня физической подготовки

Ввиду изложенных выше доводов относительно преимуществ и перспектив фиджитал-игр, а также учитывая значительный потенциал современных компьютерных технологий, следующим логическим шагом представляется разработка конкретной реализации подобной гибридной спортивной активности. В качестве примера была выбрана популярная командная игра – волейбол, потенциал которой для интеграции с цифровой средой представляется весьма многообещающим.

Ключевым аспектом разработки является создание уникальных игровых механик, которые станут отличительной чертой данного проекта. Данные механики будут представлять собой инновационные способы взаимодействия с игровым процессом, выходящие за рамки стандартных волейбольных действий и открывающие новые возможности для стратегии, тактики и зрелищных ситуаций.

Для реализации данных механик будет использован современный игровой движок, обеспечивающий гибкость в настройке физики, создании визуальных эффектов и программировании сложной игровой логики. Особое внимание будет уделено интуитивному управлению с использованием стандартных устройств ввода (клавиатура и мышь или геймпад), позволяющему игрокам легко осваивать базовые действия и эффективно использовать уникальные игровые элементы.

Визуальный стиль игры будет ориентирован на яркую и динамичную аркадную эстетику, с запоминающимися персонажами и эффектными визуальными решениями

для подчеркивания уникальных механик. Разработка динамичного звукового сопровождения также сыграет важную роль в создании захватывающей игровой атмосферы.

Таким образом, разработка данной компьютерной аркадной игры в волейбол с уникальными механиками направлена на создание инновационного игрового опыта, сочетающего азарт спортивного состязания с неординарными возможностями виртуального мира, что может служить примером потенциала фиджитал-игр в расширении границ традиционных видов спорта.

Подводя итог, следует подчеркнуть, что фиджитал-игры представляют собой динамично развивающееся и многообещающее направление на стыке физической культуры, спорта и информационных технологий. Объединяя физическую активность с возможностями цифрового взаимодействия, ФИ обладают значительным потенциалом для повышения мотивации к занятиям спортом, расширения границ традиционных дисциплин, обеспечения персонализированного подхода к тренировкам и вовлечения более широкой аудитории.

Разработка и внедрение фиджитал-игр, основанных на использовании современных компьютерных технологий, открывает новые горизонты для создания инновационных форматов спортивных соревнований и физической активности. От аркадных интерпретаций классических видов спорта с уникальными виртуальными механиками до гибридных дисциплин, интегрирующих реальные движения с дополненной или виртуальной реальностью, фиджитал-игры способны предложить качественно новый уровень вовлеченности и взаимодействия.

Таким образом, фиджитал-игры не просто являются технологическим трендом, но и представляют собой значимый шаг в эволюции физической культуры и спорта, обладая потенциалом для трансформации человеческого отношения к движению, соревнованиям и здоровому образу жизни в цифровую эпоху.

#### Литература

1. Аверин А.В., Иванова Ю.О., Яковлев А.В. Рекомендации по развитию индустрии киберспорта в России как одного из способов сохранения и развития человеческого потенциала // Вестник Алтайской академии экономики и права. - № 12-2. - 2021. - С. 223-230.
2. Фиджитал-спорт: что это, виды и дисциплины, развитие в России и за рубежом // Т-Ж: сайт. URL: <https://t-j.ru/phygital-sports/> (дата обращения: 08.04.2025). – Текст: электронный.
3. Фиджитал-спорт как нативный способ улучшить здоровье молодежи // Спорт24:

сайт. URL: <https://sport24.ru/igrybuduschego/article-594671-fidzhital-sport-kak-nativnyy-sposob-uluchshit-zdorovye-molodezhi?ysclid=m98kuroifd801335540> (дата обращения: 08.04.2025). – Текст: электронный.

4. Московцев А.А., Виштак Н.М. Функциональные возможности цифрового компонента фиджитал-игры «Бадминтон». //В сборнике: XXVI Всероссийской студенческой научно-практической конференция Нижневартковского государственного университета. Нижневартовск. - 2024. - С. 377-381.

5. Виштак Н.М. Технологии фиджитал в смешанном обучении. //В сборнике: Актуальные вопросы теории и практики физического образования в средней и высшей школе. - Саратов. - 2024. - С. 92-95.

6. Московцев А.А., Виштак О.В. Разработка модуля игрового приложения для проведения фиджитал-соревнований. //В сборнике: Информационно-ресурсное обеспечение образовательного процесса в средней и высшей школе: проблемы и перспективы. Сборник научных трудов. Саратов, 2025. С. 329-333.

7. Московцев А.А. Компьютерный компонент фиджитал-игры. //В сборнике материалов XVI всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых: Россия молодая. - Кемерово, 2024. - С. 31659.1-31659.4

8. Виштак О.В., Харламов И.М. Структурные компоненты информационного ресурса фиджитал-игры. //В сборнике трудов X Международной научно-практической конференции Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий. - Балаково, 2024. - С. 332-335.

9. Московцев А.А. Развитие социальных навыков через взаимодействие в фиджитал-играх. //В сборнике Международной студенческой научно-практической конференции Социально-экономические и правовые аспекты развития общества: современное видение и подходы. - Омск, 2024. - С. 334-337.

10. Московцев А.А., Виштак О.В. Программный компонент фиджитал-игры. //В сборнике статей V Международной научно-практической конференции Цифровая гуманитаристика и технологии в образовании (DHTE 2024). - Москва, 2024. - С. 415-421.

11. Подошвин В.С. Информационный ресурс по фиджитал-дисциплине «Трёхмерный тактический бой». //В сборнике материалов III международной научно-практической конференции Проблемы и перспективы современной науки и образования. - Махачкала, 2024. - С. 263-267.

## **Эволюция архитектурных стилей при разработке информационных систем**

Ефремов Роман Валерьевич, старший преподаватель кафедры

«Информационные системы и технологии»;

Корнеев Анатолий Сергеевич, студент 1 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 рассмотрена эволюция архитектурных стилей информационных систем. Выявлены общие тенденции развития информационных стилей. Рассмотрены наиболее показательные архитектурные стили и их особенности.*

Непрекращающаяся цифровизация в настоящее время охватывает все сферы общественно-экономических отношений без исключения. И если на начальном её этапе наблюдалась всё более массовая интеграция информационных систем в процессы различных организаций и структур, то сейчас фокус развития смещается с упрощения масштабирования на повышение производительности, простоты разработки новых и модернизацию старых информационных систем для соответствия новым технологиям в области компьютерных систем и не только. Данный процесс коррелирует с появлением и развитием новых архитектурных стилей информационных систем [1].

Архитектурным стилем при разработке информационных систем называется совокупность общих характеристик, принципов построения и внутреннего взаимодействия информационных систем, наиболее исчерпывающе описывающая их поведение и структуру без уточнения реализации конкретных функций. Иначе говоря, архитектурный стиль – это определённый подход при разработке информационной системы, позволяющий разработчику выбрать наиболее эффективный способ построения системы в соответствии с существующими потребностями [4].

Удобство использования архитектурных стилей обусловлено в первую очередь упрощением проектирования. Проектирование информационной системы, особенно в случае с наиболее крупными, является крайне трудоёмким процессом, отнимающим у разработчика огромное количество времени и сил. Архитектурные стили предоставляют уже готовые решения и шаблоны. За счёт использования проверенных паттернов организации логики разработчик может избежать некоторых ошибок, что несколько снижает объём его работы и ускоряет процесс разработки. Играет роль и то, что наличие стандартизированной топологии, включающей термины и концепции,

позволяет упростить коммуникацию между заинтересованными сторонами и членами команды при разработке информационной системы.

Рассматривая развитие архитектурных стилей сквозь время, можно отметить, что на текущий момент проблема масштабирования систем была полностью решена за счёт использования микросервисов и облачных технологий, и развитие архитектурных стилей теперь направлено в первую очередь на повышение производительности и ещё большее упрощение труда разработчика. Поскольку архитектурный стиль представляет собой не что иное, как совокупность проверенных паттернов размещения и взаимодействия структурных компонентов информационной системы, появление новых стилей сопряжено в первую очередь с появлением решений в области информационных технологий, позволяющих как создавать новые подходы к разработке информационных систем, так и совершенствовать уже существующие. Действительно, во многих более поздних архитектурных стилях прослеживается преемственность и развитие проверенных подходов за счёт новейших технологий. Для лучшего понимания эволюционного пути архитектурных стилей информационных систем и тенденций их развития в настоящее время необходимо рассмотреть наиболее показательные стили с использованием прорывных технологий [1].

Первые информационные системы представляли собой монолитное решение, что отразилось в названии первого из архитектурных стилей – монолитной архитектуры. Именно из-за того, что данный подход возник непосредственно с первейшими информационными системами, его нередко называют традиционным. Информационная система с монолитной архитектурой это всеобъемлющая, неделимая структура, в которой все компоненты расположены в одном кодовом базисе. Пользовательский интерфейс, бизнес-логика и доступ к данным – все составляющие тесно связаны между собой и работают как единое целое.

Монолитные системы являются наиболее простыми с точки зрения разработки и реализации за счёт несложной структуры, однако тесно связанные компоненты создают проблемы при попытке масштабирования информационной системы. Наивысшая среди всех архитектурных стилей связность компонентов системы, особенно при высоких нагрузках или частых обновлениях, приводит к трудности для разработчиков. Изменения при улучшении и обновлении одной части кода может привести к непредвиденным неполадкам при работе других частей. По этой причине масштабирование монолитных систем является крайне трудоёмкой и ресурсозатратной задачей.

Несмотря на появление значительно более совершенных стилей, монолитная

архитектура до сих пор остаётся актуальной для создания небольших и средних программных компонентов благодаря своей понятности. Монолитные системы также требуют меньше затрат на инфраструктуру, что упрощает их содержание и делает выгодным решением для систем без необходимости высокой масштабируемости.

В настоящее время монолитная архитектура используется при разработке веб-приложений, систем управления контентом, финансовых приложений, игр, мобильных приложений и даже некоторых корпоративных систем. Нельзя забывать и о старых системах, разработанных до появления более сложных архитектурных стилей, для которых модернизация попросту не потребовалась за ненадобностью. В качестве примеров монолитных систем можно привести такие CMS-системы, как WordPress, Joomla и Drupal.

Вместе с появлением сетевых технологий в 1970-х годах формируется концепция клиент-сервера, послужившая основой для создания в 1980-х первых систем-представителей клиент-серверной архитектуры. Данный подход подразумевает разделение информационной системы на две обособленные составляющие: клиент и сервер. Клиент – это компонент информационной системы, чаще всего представляющий собой клиентское приложение и реализующий интерфейс пользователя. Клиент формирует и передаёт пользовательские запросы серверу, где в свою очередь реализуется бизнес-логика и размещаются данные [3].

Подобное разделение информационных систем на составляющие позволило значительно упростить их разработку и поддержку. Благодаря тому, что клиент и сервер отвечают за различные функции, они могут быть модернизированы и масштабированы независимо друг от друга: разработчик может с лёгкостью добавлять новые серверы для повышения объёмов обработки запросов и производительности без каких-либо изменений на клиенте. Аналогично, клиентское приложение может быть усовершенствовано независимо от сервера.

Поскольку доступ к данным реализуется исключительно на сервере, клиент-серверные информационные системы также обеспечивают большую безопасность за счёт транзакций, методов аутентификации и авторизации. В более новых клиент-серверных системах существуют специализированные серверы, которые отводятся для обработки определённых запросов, что дополнительно повышает оптимизацию системы и упрощает её обновление [3].

Клиент-серверная архитектура используется в веб-сайтах, где клиент представлен браузером, а сервер предоставляет веб-страницы, в электронной почте, где клиентом является почтовая программа, а сервер обрабатывает, хранит и доставляет

письма. СУБД и облачные сервисы также разработаны в соответствии с клиент-серверной архитектурой. В качестве примеров можно привести Oracle Database, Amazon, Google Drive.

Осознание необходимости в более гибких и масштабируемых архитектурных подходах появилось в начале 2000-х годов и легло в основу сервисно-ориентированной архитектуры, которая в свою очередь получила развитие в виде микросервисной архитектуры в начале 2010-х. В современных микросервисных системах зачастую используются сервисы API. Такие информационные системы стали поводом выделения архитектуры на основе API.

Однако важно понимать, что разделение между сервисно-ориентированной, микросервисной и архитектурой на основе API является хоть и обоснованным, но весьма условным. Принципиальных архитектурных различий в построении структуры систем между этими подходами не существует. По этой причине далее наиболее значимые особенности трёх перечисленных архитектурных стилей будут рассматриваться в контексте микросервисной архитектуры с использованием сервисов API.

Главной особенностью микросервисной архитектуры является разбиение информационной системы на множество компонентов-микросервисов, которые развёртываются по-отдельности, выполняют различные функции и не зависят друг от друга. Практически во всех современных системах на основе микросервисов для взаимодействия функциональных модулей используются API-интерфейсы. Удобство использования API заключается и в том, что благодаря возможности использования внешних универсальных функциональных модулей разработчик может сосредоточиться на организации бизнес-логики без необходимости реализации конкретных функций.

Независимость микросервисов обеспечивает превосходную возможность для масштабирования, так как каждый компонент может обновляться независимо от других. В системах с микросервисной архитектурой разработчики могут значительно быстрее внедрять новые возможности и вносить изменения в существующие при меньших ресурсных затратах.

Микросервисная архитектура получила крайне широкое распространение и является одним из наиболее распространённых архитектурных стилей при разработке информационных систем на данный момент. В качестве примеров микросервисной архитектуры можно привести такие известные приложения, как Netflix, Spotify и Uber.

Использование микросервисов практически полностью решило проблему масштабируемости информационных систем, из-за чего акцент сместился на

повышение производительности и время отклика систем. Решением уже этой задачи стала событийно-ориентированная архитектура.

Событийно-ориентированная архитектура использует обнаружение и обработку событий для реализации логики. Событием в терминологии событийно-ориентированной архитектуры называется действие, инициирующее уведомление, либо изменение в состоянии приложения. Событийно-ориентированная архитектура состоит из трёх компонентов: производителей событий, брокеров и получателей. Производители генерируют поток событий и отправляют брокеру, который обрабатывает события и отправляет результаты получателю. События доставляются в реальном времени, поэтому система испытывает нагрузку только при появлении события, а не всё время. Производители и получатели могут обновляться и масштабироваться независимо друг от друга [2].

Исходя из вышеперечисленного, можно заметить, что событийно-ориентированная архитектура продолжает структурные принципы клиент-серверного подхода, но работает с событиями, а не запросами, что на практике обеспечивает высокую скорость отклика и производительность системы. Примерами использования событийно-ориентированной архитектуры могут служить LinkedIn, Airbnb, и Salesforce.

Одной из новых и перспективных технологий являются бессерверные вычисления. На её основе в 2014 году появилась и в 2017-2020 годах набрала огромную популярность бессерверная архитектура. Главная особенность этого подхода состоит в том, что благодаря ему разработчики могут создавать в облаке эффективные рабочие среды, которые обладают всеми вычислительными ресурсами, необходимыми для организации бесперебойного процесса разработки. При том, бессерверные системы обеспечивают работу облачных сред по требованию, то есть их бессерверные функции запускаются только в ответ на фиксацию события. Бессерверные системы обладают возможностью автоматического масштабирования за счёт облачного провайдера, что полностью освобождает от этой обязанности разработчиков [5].

AWS Lambda и Cloudflare Workers являются примерами использования бессерверной архитектуры при разработке информационных систем.

Подводя итоги, действительно, эволюция архитектурных стилей показывает постепенный переход от фрагментации информационных систем для повышения их масштабируемости к новым подходам в организации логики для повышения производительности систем и обеспечения комфорта разработчика.

#### Литература

1. Балаев В. А. и др. Технологии интеграции информационных систем //

Студенческая наука для развития информационного общества. – 2019. – С. 95-101.

2. Иванов С. В., Иванова Е. В. Событийно-ориентированные модели архитектуры приложений // Анализ, Моделирование, Управление, Развитие социально-экономических систем (АМУР-2023). – 2023. – С. 161-162.

3. Косюга О. С., Коляда В. В. Применение архитектур клиент сервер и файл сервер в информационных системах // Информационное общество: современное состояние и перспективы развития. – 2018. – С. 52-55.

4. Рыбальченко М. Архитектура информационных систем. – Litres. - , 2021.

5. Усенко Р. С., Степанчук И. В. Актуальные тенденции в программировании: переход к бессерверной архитектуре. – 2023.

УДК 004.4

### **Этичный хакинг: исторический аспект**

Ефремов Роман Валерьевич, старший преподаватель кафедры

«Информационные системы и технологии»;

Кислинская Анастасия Алексеевна, 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 рассмотрены проблемы кибербезопасности. Анализируется аспект этичного хакинга: тестирование на проникновение. Рассмотрены направления деятельности специалистов по этичному хакингу. Приводятся сведения по деятельности организаций, специализирующихся в области этичного хакинга.*

В современном мире четко наблюдается тенденция цифровизации всех сфер жизни. Информационные технологии внедряются в науку, искусство, промышленность, медицину и многие другие. Цифровизация - глобальный процесс, который с каждым днем все больше влияет на планету и развитие человечества. Основой процесса цифровизации служит глобальная сеть Интернет. С его появлением и дальнейшим активным развитием, люди все чаще и чаще стали прибегать к помощи информационных технологий. Современный мир подразумевает постоянный обмен данными.

В связи с ростом перехода на цифровой документооборот, а также участвующий электронный обмен данными в мире все больше и больше растет количество кибератак. Эксперты утверждают, что за последний год число атак на российские организации

возросло на 250%, большая часть из которых направлена на критически важные объекты в промышленности и инфраструктуре. Для устранения реальных угроз и потенциальных рисков, связанных с кибератаками необходимо защищать каналы связи, по которым передается информация.

В связи с этим все большую популярность набирает отрасль кибербезопасности. Специалисты в данной сфере одни из самых востребованных на сегодняшний день. Компании нанимают так называемых «безопасников», которые анализируют безопасность систем. Они проводят тестирование на проникновения, а затем, выявив слабые места систем, улучшают их чтобы затруднить вход для злоумышленников.

Тестирование на проникновение или пентест - контролируемый специалистами процесс, в ходе которого имитируют попытки взлома ПО с использованием прогнозируемых действий злоумышленниками.

Такая процедура проводится по ряду причин:

- необходимость определить эффективность текущих мер безопасности;
- необходимо обнаружить слабые места в ПО, которые могут быть использованы злоумышленниками;
- необходимость обучения и повышения квалификации сотрудников, обучить правильной реакции на кибератаки;
- необходимость соблюдения регулятивных требований: практически все отраслевые стандарты, а также законодательство РФ обязывают компании проводить тестирования на проникновение для обеспечения безопасности и контроля за системой.

Эти 4 причины являются основополагающими для применения данной меры безопасности.

Выделяют 2 методики тестирования на проникновение: ручное и автоматическое.

При ручном тестировщик вручную ищет уязвимости программы, используя различные методы, такие как: социальная инженерия, перебор паролей, анализ защиты периметра сети. Специалист собирает данные о выявленных уязвимостях, проводится оценка уязвимости, на основе которой будут предприняты дальнейшие действия. После всех проведенных процедур тестировщик пишет отчет, в котором описывается вся информация о системе, после чего отчет анализируется для внедрения новых способов защиты ПО.

При автоматическом тестировании применяются специальные инструменты для автоматической проверки системы на наличие уязвимости.

Автоматическое тестирование проникновения намного быстрее, эффективнее, надежнее проверяет риск уязвимостей. Данная технология не требует экспертного инженера, а может быть использована любым человеком, имеющим знания в области кибербезопасности и поиска уязвимости.

Вне зависимости от того, какой способ тестирования будет выбран, по итогу работы можно получить следующие сведения:

- контактные данные;
- данные об уязвимости информационной системы;
- сервисы информационной системы;
- оценку вероятности эксплуатации каждой уязвимости;
- рекомендации по устранению или смягчению уязвимостей;
- список мер по обеспечению безопасности системы;

Тестирование на проникновение для компаний важно по нескольким причинам:

- раннее обнаружение угроз позволяет минимизировать риски взлома сетей злоумышленниками
- устранение уязвимостей гораздо экономичнее, чем устранение последствий атаки;
- пентест важен для осознания командой важности безопасности и улучшения внутренних процессов;
- после устранения уязвимостей в программном обеспечении, продукту будут доверять большее количество клиентов, что повлечет за собой увеличение прибыли компании.

Как известно, хакеры делятся на так называемые «black hat» и «white hat». На опубликованные заявки на пентестинг от компаний обычно откликаются именно «белые», основной мотивацией которых является развитие своих профессиональных навыков и использование их на благо компаний, которые их нанимают.

Белые или этичные хакеры используют те же самые инструменты, что и черные, но в отличие от последних, действуют совершенно легально. Они следуют этическим принципам и обычно действуют в рамках законодательства, чтобы обезопасить компанию от незаконного доступа.

Главная цель этичного хакера довольно альтруистична. Поиск и устранение слабостей программ, которыми могут воспользоваться правонарушители. Для этого специалисты разрабатывают стратегии защиты, политику и процедуры обеспечения безопасной работы информационных систем в компании.

Обычно специалисты по этичному хакингу работают в формате консультаций. То есть они не трудоустроены в какой-то одной компании, а консультируют сразу

несколько. К ним обращаются с запросом на тестировку программного обеспечения.

Работа может быть в виде проведения пентестинга или аудита безопасности информационной системы клиента. Зачастую специалисты могут вести несколько проектов одновременно.

В современном мире белые хакеры это не просто обычные программисты. Для достижения высокого уровня необходимо обладать широкими и всеобъемлющими знаниями в разных областях IT-сферы.

Необходимо знать несколько языков программирования, разбираться в сетевой архитектуре, знать различия разных операционных систем Windows, MacOS, Linux, так как для каждой операционной системы свои методы защиты данных. Также необходимо разбираться в защите баз данных, знать основы криптографии, применять различные алгоритмы шифрований данных и методы аутентификации. Помимо колоссального набора знаний в IT-сфере, этичный хакер должен быть подкован в правовом аспекте, так как кибербезопасность является сферой на грани законодательства и необходимо действовать строго в рамках действующего законодательства РФ.

Кроме законодательства РФ, этичный хакинг имеет свои правила и ограничения, так называемый «хакасский этикет». Его основными принципами являются: согласие, легальность, конфиденциальность. То есть специалист должен действовать в рамках закона, с согласия владельца авторского права на программное обеспечение, а также не имеет права разглашать увиденные уязвимости и не злоупотреблять полученными сведениями в собственных целях.

На сегодняшний день существует несколько крупнейших организаций этичного хакинга.

OWASP (Open Web Application Security Project) - некоммерческая организация, которая специализируется на улучшении безопасности программного обеспечения. Основной отличительной особенностью политики компании является общедоступность ресурсов. Это обеспечивает возможность улучшения безопасности системы без обращения к специалисту.

EC-Council (International Council of E-Commerce Consultants)- организация, занимающаяся обучением и сертифицированием специалистов по этичному хакингу. Компания предлагает широкий и всеобъемлющий выбор курсов, охватывающий практически все аспекты кибербезопасности. Проводятся различные конференции, вебинары и семинары, на которых есть возможность обмена опытом и знаниями. Именно благодаря своим функциям образовательной площадки, EC-Council стала главной

ведущей организацией для подготовки «white hat» специалистов.

HackerOne - платформа, которая связывает компании со специалистами по кибербезопасности. Компании выставляют на общую биржу исходные коды своих программ, предлагая обнаружить уязвимости. Белые хакеры проверяют на наличие багов, получая за это хорошее вознаграждение. Платформа также позволяет прокачивать свои навыки, проводит тренинги, размещает образовательные ресурсы.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод, что в наши дни кибербезопасность все больше и больше претендует на ведущую роль в сфере IT-технологий. Практически все сферы подвергаются цифровизации, а какие-то профессии и профессиональные области вовсе замещают компьютеры. Для защиты информационных систем нашей страны необходим обширный пласт грамотных специалистов. Отсюда возникает потребность в этичном хакинге, который действует в рамках закона и помогает улучшить степень защищенности программ. Это перспективная сфера, которая будет развиваться в дальнейшем, а также увидит значительную поддержку со стороны Правительства Российской Федерации.

#### Литература

1. Белые хакеры: кто они и чем занимаются. Sky.pro. URL: <https://sky.pro/wiki/profession/organizacii-belyh-hakerov-kto-oni-i-chem-zanimayutsya/>
2. В. Средства тестирования информационной системы на проникновение. CyberLeninka. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sredstva-testirovaniya-informatsionnoy-sistemy-na-proniknovenie/viewer>
3. О чем говорят цифровизация и в каких сферах она применяется. NEPPO. URL: <https://neppo.ru/news/chto-takoe-cifrovizaciya-i-v-kakih-sferah-ona-primenyaetsya/>
4. Обзор: тестирование на проникновение. TQuality. URL: <https://tquality.ru/blog/testirovanie-na-proniknovenie/>
5. Руководство по тестированию на проникновение: ручное и автоматическое. Unetway. URL: <https://unetway.com/tutorial/testing-penetration-manual-automatic>
6. Хакер или белый хакер? Понятие и задачи. Digital Academy. URL: <https://digital-academy.ru/blog/white-hat-hacker>
7. Что такое OWASP? Что такое OWASP Top 10? Merionet. URL: <https://wiki.merionet.ru/articles/cto-takoe-owasp-cto-takoe-owasp-top-10>
8. Xiaomi и безопасность: анализ уязвимостей. SecurityLab. URL: <https://www.securitylab.ru/blog/personal/xiaomite-journal/354773.php>

**Система 1С: Университет: как инструмент современного  
образовательного процесса**

Зубова Наталья Валерьевна, кандидат педагогических наук, доцент,

доцент кафедры физики;

Колесова Алёна Олеговна, студент;

Назарова Елизавета Романовна, студент

«Московский государственный университет технологий и управления

имени К. Г. Разумовского» (Первый казачий университет),

г. Москва

*В настоящей статье рассматривается возможность обеспечения образовательных учреждений средствами автоматизированной деятельности с помощью программного продукта «1С: Университет». Технологическая платформа «1С: Университет» позволяет осуществлять стратегию и оптимизации учебной деятельности. В работе приведены приемы учета данных о студентах, для улучшения взаимодействия преподавателей со студентами, что позволит повысить качество управления учебными процессами в ВУЗе.*

В последние десятилетия информационные технологии стали важнейшим инструментом в различных сферах жизни, включая науку и образование. «1С: Университет» предлагает ряд решений, которые помогают автоматизировать процессы учета, управления и анализа, что значительно повышает эффективность работы сотрудников и содержание образовательного процесса.

«1С: Университет» изначально разрабатывался для автоматизации бухгалтерского учета и управления предприятиями, что сделало платформу универсальным инструментом для различных задач. В контексте образования «1С: Университет» может быть использован для автоматизации процессов управления учебным заведением, включая кадровый учет, финансовое планирование, отчетность и многое другое. «1С: Университет»: Управление учебным заведением, например, позволяет управлять образовательными процессами, а также контролировать посещаемость студентов [2].

Одним из основных преимуществ использования «1С: Университет» в образовательных учреждениях является интеграция различных аспектов управления в единую систему. Например, информация о студентах, их оценках и посещаемости, а также финансовые данные об обучении могут быть легко связаны между собой. Это упрощает анализ и принятие управленческих решений, что особенно важно в условиях современных требований к образованию [1].

Кроме того, «1С: Университет» может активно использоваться для анализа данных. Учебные заведения имеют дело с большими объемами информации, и наличие инструментов для обработки и анализа данных позволяет выявлять слабые места в образовательном процессе. Отчеты по успеваемости, финансовой деятельности и другим аспектам могут генерироваться автоматически.

Использование «1С: Университет» в научной сфере также имеет большое значение. Научные исследования часто требуют тщательного учета ресурсов, включая финансирование, оборудование и человеческие ресурсы. Платформа «1С: Университет» может помочь в управлении проектами, отслеживании затрат и формировании отчетности по научным договорам.

Важным аспектом применения IT-технологий в науке и образовании является интеграция с другими программными продуктами и платформами. «1С: Университет» позволяет интегрировать свои решения с системами электронного документа оборота, что улучшает взаимодействие между различными подразделениями и позволяет создать единую информационную среду [2].

Адаптивность и гибкость платформы «1С: Университет» также способствуют ее распространению в образовательной и научной сферах. Учебные заведения могут настраивать конфигурации под свои потребности, что позволяет оптимизировать процессы и улучшить качество предоставляемых услуг. Наличие широкой базы позволяет разработчикам с лёгкостью внедрить новые технологии.

Не менее важным является использование «1С: Университет» для повышения качества образования. Также благодаря технологиям «1С: Университет» возможно создание дистанционных учебных курсов и online-платформ для обучения, что особенно актуально в условиях ограничений, связанных с пандемией COVID-19 [3].

В заключение, хотим отметить, что применение 1С: Университет в науке и образовании способствует улучшению управленческих процессов, повышает эффективность работы учреждений, а также улучшает качество образовательных услуг.

Практическая часть работы:

Внедрение «1С: Университет» в практику организации позволяет не только повысить эффективность работы, но и создать конкурентное преимущество на рынке образовательных учреждений. Практика показывает, что организации, которые используют «1С: Университет», значительно лучше справляются с учетом и управлением ресурсами, что приводит к улучшению финансовых показателей и росту общей производительности. Мы хотим представить читателям как «1С: Университет» работает на практике, на примере Высшего учебного заведения.

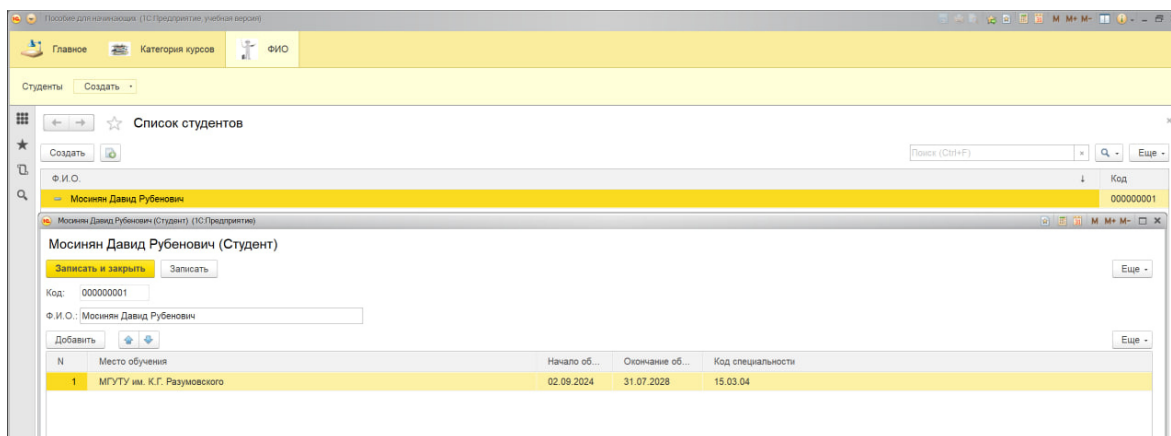


Рис. 1. Вкладка «ФИО»

Для обеспечения удобного доступа к информации о студентах в системе «1С: Университет» можно создать специальную вкладку, которая будет служить централизованным хранилищем данных. В этой вкладке мы можем включить разнообразные поля, содержащие ключевую информацию о каждом студенте. Мы можем с помощью нажатия на вкладку «ФИО», перейти на интересующего нас студента и узнать информацию о нём, например, место обучения, начало обучения, окончание обучения, код специальности. Это очень удобно и помогает в работе с большой информационной базой, которых очень много в больших учреждениях (рис.1).

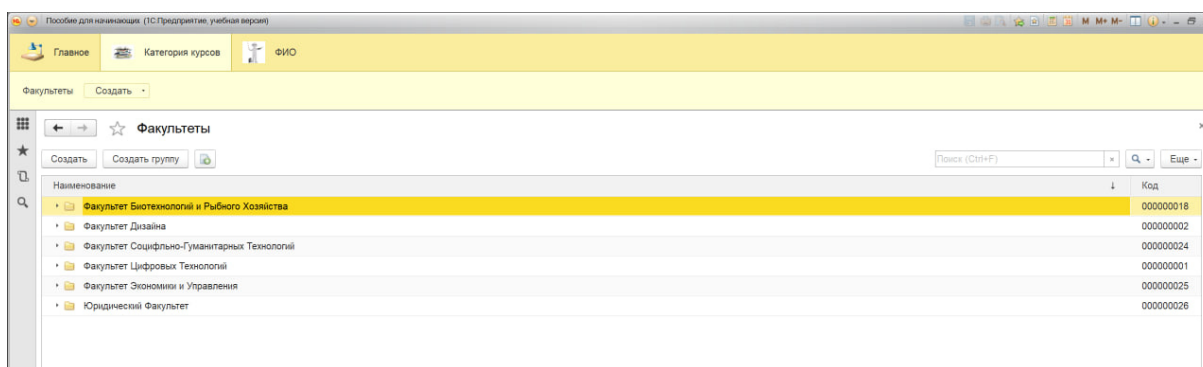
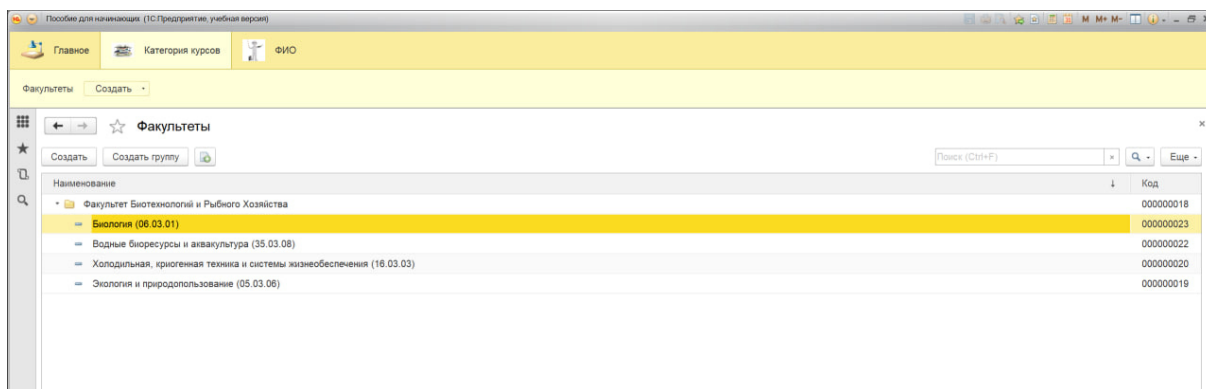


Рис. 2. Вкладка «Категория курсов»

Во вкладке «Категория курсов» пользователи получают возможность перейти к закладке «Факультеты». Здесь будет представлен тщательно составленный список названий факультетов, действующих в данном высшем учебном заведении. Данный раздел наглядно демонстрирует многообразие образовательных программ и направлений, предлагаемых учебным заведением, а также позволяет потенциальным студентам легче сориентироваться в выборе. Во вкладке «Категория курсов» мы можем перейти на закладку «Факультеты», там будет список названий факультетов в данном ВУЗе (рис.2).



*Рис. 3. Специальности в закладке факультета*

Здесь мы показываем, что в «1С: Университет» мы можем зайти, а после открывается список специальностей, которые есть на данном факультете. Это очень удобно, например для того, чтобы отсортировать людей в потоке по различным специальностям. Таким образом, закладка факультета и специальные функции, связанные с отображением и фильтрацией специальностей, представляют собой мощный инструмент для управления образовательным процессом в «1С: Университет». Это позволяет реализовать более глубокую аналитику, улучшить взаимодействие со студентами и значительно повысить качество управления учебными процессами в учреждении (рис. 3).

Кроме того, использование «1С: Университет» обогащает образовательные учреждения необходимыми инструментами для анализа данных и формирования отчетности, что способствует разработке стратегий и оптимизации деятельности. Освоение данной программы позволяет не только упростить текущие операции, но и освободить время для разработки новых направлений и улучшения качества организации.

Таким образом, IT-технологии открывают перед наукой и образованием обширные возможности для достижения лучших результатов, однако их успешное внедрение зависит от постоянного пересмотра и адаптации образовательных и исследовательских процессов к новым реалиям цифровой эпохи.

### Литература

1. Сиротенко В. Г. Автоматизация управления образовательными учреждениями (вузами и ссузами) // Проблемы и перспективы развития образования в России. 2010. №4-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-upravleniya-obrazovatelnyimi-uchrezhdeniyami-vuzami-i-ssuzami> (дата обращения: 16.04.2025).

2. Крыжановская Юлиана Александровна, Наumenко Павел Сергеевич. Дистанционное обучение: решение на платформе 1С: Университет // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2021. №3. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/distantсионное-obuchenie-reshenie-na-platforme-1s> (дата обращения: 16.04.2025).

3. Новикова Т. И., Толстикова Ю. А., Пашковская О. В. Особенности и преимущества платформы «1С: Университет: Предприятие» // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2015. №11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-i-preimuschestva-platformy-1s-predpriyatie> (дата обращения: 16.04.2025).

УДК 004.415

### **Способы реализации микрофронтендной архитектуры в современных веб-приложениях**

Лысяков Михаил Сергеевич, студент направления

«Информационные системы и технологии»;

Штырова Ирина Анатольевна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «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 рассматриваются различия монолитной и микрофронтендной архитектуры веб-приложений, а также проводится анализ различных подходов к реализации микрофронтендной архитектуры.*

Современные веб-приложения стремительно трансформируются из простых страниц в сложные интерактивные системы. Такой прогресс неизбежно приводит к увеличению сложности фронтенд-разработки. По мере роста проекта традиционный монолитный подход, при котором всё приложение представляет собой единое целое, начинает давать сбои.

Одна из ключевых проблем монолита – трудности масштабирования команд. Когда над проектом работает множество разработчиков, даже небольшие изменения требуют согласования между командами. Например, обновление общего компонента может потребовать полного перетестирования приложения. Это значительно замедляет процесс разработки и увеличивает время выхода новых функций.

Кроме того, фронтенд-экосистема стремительно развивается: появляются новые фреймворки, инструменты сборки и стандарты. В монолитной архитектуре переход на новые технологии становится сложной и рискованной задачей. Нередко компании годами используют устаревшие решения только потому, что миграция требует полного переписывания кода.

Процесс развертывания в монолите также является сложным. Даже для обновления небольшого элемента интерфейса приходится пересобирать и переразвёртывать весь проект. Это не только увеличивает время выхода обновлений, но и создаёт ненужные риски.

Микрофронтендная архитектура предлагает решение этих проблем через декомпозицию приложения на независимые части. Каждый микрофронтенд представляет собой автономный модуль, который можно разрабатывать, тестировать и развёртывать независимо от остальной системы.

Такой подход особенно ценен для крупных компаний, где разные команды работают над различными частями продукта. Например, в e-commerce одна команда может заниматься каталогом товаров, другая — корзиной покупок, третья — системой рекомендаций. Микрофронтенды позволяют этим командам работать практически независимо, значительно ускоряя процесс разработки.

Ещё одно важное преимущество — возможность постепенной модернизации. Старые модули, написанные на устаревших технологиях, могут сосуществовать с новыми компонентами. Это особенно актуально для корпоративных приложений, где полный рефакторинг часто невозможен по бизнес-причинам.

Однако, микрофронтенды добавляют свою долю сложности в разработку веб-приложений: они требуют продуманной системы общих зависимостей, могут увеличивать нагрузку на сборку и доставку кода, а при неправильной реализации — ухудшать производительность.

Важным аспектом при использовании микрофронтендного подхода является сохранение целостности интерфейса. Несмотря на техническую раздробленность, приложение должно восприниматься пользователем как единое целое. Это требует тщательной проработки вопросов дизайна системы, единых стандартов взаимодействия и плавных переходов между разными частями интерфейса.

На практике микрофронтенды особенно востребованы в крупных e-commerce платформах, корпоративных SaaS-решениях, комплексных веб-приложениях с длительным жизненным циклом.

Применение этой архитектуры оправдано, когда преимущества независимой разработки перевешивают дополнительные сложности интеграции. Для небольших проектов с одной командой разработчиков традиционный монолитный подход часто остается более практичным решением.

Современная веб-разработка предлагает несколько принципиально разных подходов к реализации микрофронтендной архитектуры, каждый из которых имеет

свои преимущества и ограничения. Выбор конкретного способа интеграции зависит от масштаба проекта, требований к производительности и особенностей командной организации.

Серверная композиция (Server-Side Composition) предполагает сборку страницы на стороне сервера, где различные микрофронтенды объединяются в единый HTML-документ перед отправкой клиенту. Технологически это может реализовываться через:

- Шаблонизаторы серверного рендеринга (Nunjucks, Handlebars);
- Edge Side Includes (ESI) – стандарт для композиции на уровне CDN;
- Микросервисы рендеринга – когда каждый микрофронтенд рендерится отдельным сервисом.

Сравнение серверных подходов приведено в таблице 1.

Таблица 1

Серверные подходы

Метод	Преимущества	Недостатки	Пример
ESI	Высокая производительность, кэширование на edge-узлах	Ограниченная логика композиции	Контент-ориентированные сайты
SSR-микросервисы	Независимое масштабирование компонентов	Сложность синхронизации версий	Комплексные SaaS-платформы
Шаблонизаторы	Простота реализации	Жёсткая связность	Legacy-системы

Ключевым преимуществом серверного подхода является отличная SEO-оптимизация и быстрая первоначальная загрузка страницы. Однако он требует сложной инфраструктуры и не всегда подходит для highly interactive приложений [1].

Клиентская композиция (Client-Side Integration) – наиболее популярный в современных SPA-приложениях подход, при котором микрофронтенды загружаются и komponуются непосредственно в браузере. Основные технологии реализации:

- Webpack Module Federation – современный стандарт для совместного использования модулей;
- Системы на основе iframe – простая изоляция, но ограниченная интеграция;
- Web Components – нативный браузерный подход с хорошей инкапсуляцией.

Клиентская композиция обеспечивает максимальную гибкость и интерактивность, но требует тщательной оптимизации загрузки ресурсов. Проблемы могут возникать с управлением общими зависимостями и согласованием версий библиотек [2].

На практике часто используют комбинацию серверного и клиентского рендеринга:

- Первоначальная загрузка через серверную композицию;
- Последующая динамическая подгрузка компонентов на клиенте;

- Прогрессивное улучшение интерфейса.

Такой подход сочетает преимущества быстрой первоначальной загрузки и богатой интерактивности, но значительно усложняет архитектуру приложения.

Edge Computing – инновационное направление, предполагающее выполнение логики композиции на edge-узлах CDN. Особенности:

- Ультранизкие задержки за счет географической близости;
- Динамическая адаптация контента под условия сети;
- Сложность отладки распределённой системы.

Решения типа Cloudflare Workers и Fastly открывают новые возможности для edge-композиции, предлагая глобально распределенную инфраструктуру для сборки микрофронтендов [3].

Микрофронтенды как сервис (MFaaS) – новейшая концепция, где микрофронтенды предоставляются как облачный сервис с автоматическим масштабированием, встроенной аналитикой, управлением версиями через API. Такой подход только начинает набирать популярность, но обещает значительно упростить эксплуатацию микрофронтендов для команд.

Выбор конкретного способа реализации должен основываться на анализе требований проекта. Для контент-ориентированных сайтов лучше подходит серверная композиция, тогда как сложные веб-приложения чаще используют клиентские или гибридные подходы. Edge-решения пока остаются нишевым вариантом для глобальных проектов с особыми требованиями к производительности.

Анализ современных подходов к реализации микрофронтендов демонстрирует их эффективность как стратегического решения для сложных веб-приложений. Этот архитектурный стиль особенно востребован в проектах с распределёнными командами разработчиков и длительным жизненным циклом, где традиционный монолитный фронтенд становится узким местом.

Ключевое преимущество микрофронтендов заключается в их способности ускорять delivery бизнес-функций за счёт параллельной разработки независимых модулей. По данным исследований 2023 года, компании, внедрившие эту архитектуру, сокращают время вывода новых функций на 40-60% по сравнению с монолитным подходом. При этом пользователи получают более стабильное приложение, где ошибки в одном модуле не приводят к полному отказу системы.

Однако практическая реализация сталкивается с существенными сложностями. Управление версиями зависимостей требует строгой дисциплины и продуманной стратегии. Производительность может снижаться на 15-20% при неправильной реализации

динамической загрузки модулей [4]. Отладка распределённой системы остаётся наиболее болезненной точкой, увеличивая время на анализ проблем на 30-40% [5].

Перспективы развития микрофронтендной архитектуры связаны с тремя основными направлениями. Во-первых, это стандартизация инструментов, где Webpack Module Federation постепенно уступает место нативным браузерным решениям. Во-вторых, улучшение developer experience через специализированные DevTools для кросс-модульной отладки. В-третьих, развитие гибридных моделей, сочетающих преимущества серверного рендеринга и клиентской композиции.

#### Литература

1. Иванов, А. В. Микрофронтенды в современной веб-разработке / А. В. Иванов, Е. П. Смирнова. – Москва: Издательский дом «Техносфера», 2024. – 320 с.
2. Петров, К. Д. Оптимизация производительности микрофронтендных приложений / К. Д. Петров // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2024. – Т. 12. – № 3. – С. 45-52.
3. Сидорова, М. А. Микрофронтенды и DevOps: интеграция и автоматизация / М. А. Сидорова, В. Л. Козлов; под ред. Д. Н. Фёдорова. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2025. – 215 с.
4. Webpack Module Federation: официальная документация / JS Foundation. – 2024. – URL: <https://webpack.js.org/concepts/module-federation/> (дата обращения: 14.04.2025).
5. Cloudflare Workers: разработка на грани сети / Cloudflare, Inc. – 2025. – URL: <https://developers.cloudflare.com/workers/> (дата обращения: 15.04.2025).

УДК 004.432.2

#### **ReactJS – актуальный инструмент в разработке веб-сервисных приложений**

Михеев Иван Васильевич, старший преподаватель кафедры

«Информационные системы и технологии»;

Купцов Даниил Олегович, 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 представлен анализ транспортной задачи по прогнозированию нагрузки на дорожные сети и метрополитен. Поиск линейного оптимального решения. Реализация в виде веб-сервисного приложения, состоящее из frontend и backend частей. Использование современного и актуального фреймворка JavaScript – ReactJS. Применение графических библиотек для создания городских карт.*

Промышленная революция, начавшаяся в XVIII-XIX веках, вызвала рост и увеличение численности городского населения, ввиду расположения производств рядом с индустриальными центрами [1]. Данная тенденция продолжается и до сих пор, выражаясь в высоких темпах градостроительства и создания мегаполисов, что не может не вызывать определенные проблемы. Одна из таких – оценка нагрузки на транспортные узлы городской сети при изменении инфраструктуры, например, при введении новых областей застройки.

Для решения данной задачи требуется разработать математическую модель, описывающую зависимость нагрузки на транспортный узел от площади застройки. Подобная модель может быть описана линейной функцией от одной переменной (1).

$$f(s) = t_0 + k_n \frac{s/k_s}{k_l} \quad (1)$$

где  $t_0$  – исходная нагрузка на транспортный узел,  $k_n$  – коэффициент узла,  $s$  – область застройки,  $k_s$  – коэффициент населения по площади,  $k_l$  – коэффициент нагрузки для определенного вида транспорта,  $f(s)$  – функция, устанавливающая зависимость нагрузки на транспортный узел от площади застройки.

Следующий этап решения поставленной задачи представляет собой его демонстрацию. Для этого разработаем приложение. На текущий момент десктопная разработка теряет свою актуальность в пользу разработки универсальных решений без зависимости от платформы – веб приложений.

Параллельно с кодированием математической модели и созданием backend-составляющей проводится разработка пользовательского интерфейса (frontend). Для его реализации выбран современный JavaScript-фреймворк ReactJS (или просто React) [2].

Выбор в пользу данного инструмента сделан по следующим причинам:

1. Простота в понимании и освоения. Данный фреймворк имеет низкий порог входа для проведения разработки;
2. Компонентный подход. ReactJS позволяет сократить повторяющийся код за счет разбиения проекта на отдельные компоненты;
3. Высокая производительность. Классическая разработка на связке HTML-CSS-JavaScript [3] является менее производительной в отличие от React, поскольку последний работает с виртуальным DOM браузера [4];
4. Поддержка большого числа внешних библиотек. Играет немало важную роль, поскольку для представления данных на городской карте используется библиотека Leaflet [5].

ReactJS является не единственным фреймворком для разработки эффективных и

быстрых веб-решений, однако в сравнении, с Angular куда более лоялен к разработке, поскольку последний, например, требует глубокого понимания TypeScript и статической типизации, а Vue.js не настолько гибкий для быстрой реализации [6].

Организация фронтенда проекта представлена на рисунке 1.

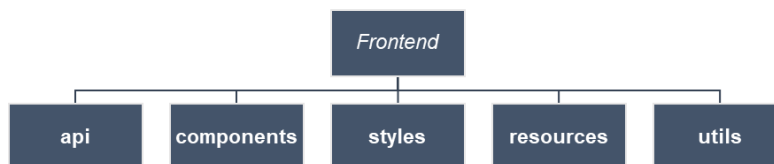


Рис. 1. Схема разделения frontend-составляющей проекта

Рисунок 1 описывает директории, на которые разбивается проект, каждая из которых имеет собственную зону ответственности.

«Api» – директория с файлами, обеспечивающими выполнение запросов к бэкенду для получения и отправки данных.

«Components» – директория с JSX-файлами, содержащая компоненты, из которых составлялось итоговое приложение.

«Styles» – CSS-стили для улучшения визуальной составляющей графического интерфейса.

«Resources» – внешние ресурсы проекта.

«Utils» – утилитарные классы для обеспечения кэширования данных (во избежания регулярных запросов к базе данных и снижения нагрузки на локальный сервер).

Интерфейс разработанного веб-приложения представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Интерфейс веб-приложения

На карте, созданной с помощью библиотеке Leaflet, располагается область застройки, транспортные узлы (дороги и станции метро), а также возможность сменить

слой и добавить новую зону.

На рисунке 3 представлено отображение прогнозируемых значений на транспортные узлы с указанием оценки пассажиропотока (дефицит или профицит).

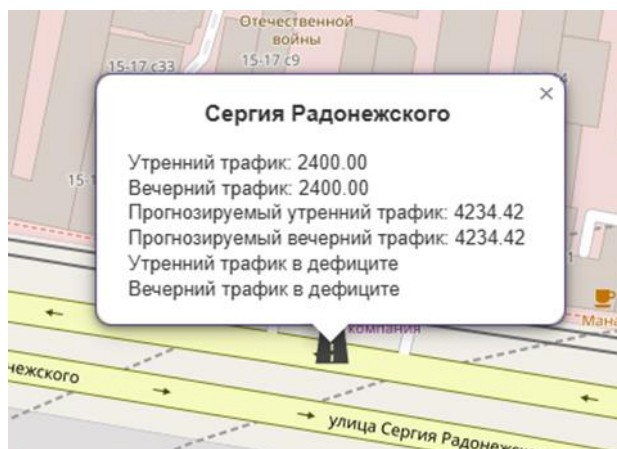


Рис. 3. Форма прогнозирования нового пассажиропотока на транспортный узел

Таким образом, получившееся веб-сервисное приложение, решает поставленную задачу с вычислением прогнозируемых значений нагрузки на транспортные узлы. Само же решение является графически далеко не новым, но реализует требуемый функционал в наиболее понятном виде. Помимо этого, реализовано динамическое добавление новых областей застройки, так что можно было не только оценить эффективность решения на исходных данных, но и вносить собственные.

#### Литература

1. Индустриализация в Российской империи [Электронный ресурс] // Википедия. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Индустриализация\\_в\\_Российской\\_империи](https://ru.wikipedia.org/wiki/Индустриализация_в_Российской_империи) (дата обращения: 01.04.2025).
2. Соколова О. И., Субботина Е. П. Особенности разработки пользовательских интерфейсов на ReactJS // Цифровые инфокоммуникационные технологии, 2023 г.
3. Advantages and Disadvantages of JavaScript [Электронный ресурс] // GeeksForGeeks. – URL: <https://www.geeksforgeeks.org/advantages-and-disadvantages-of-javascript/> (дата обращения: 02.04.2025).
4. Бурашников В. В., Янковский В. И. Обзор возможностей фреймворка ReactJS // Молодёжный научно-технический вестник, 2017 г.
5. React Leaflet: библиотека для работы с картами в React [Электронный ресурс] // React Leaflet. – URL: <https://react-leaflet.js.org/> (дата обращения: 02.04.2025);
6. React vs Vue vs Angular [Электронный ресурс] // Хабр. – URL: <https://habr.com/ru/companies/auriga/articles/703836/> (дата обращения: 01.04.2025).

**Разработка и ключевые особенности программной реализации нейросетевой модели для многокритериальной оценки качества программных продуктов**

Михеев Иван Васильевич, старший преподаватель кафедры

«Информационные системы и технологии»

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

*Статья посвящена разработке нейросетевой модели для многокритериальной оценки качества академических программных продуктов, создаваемых обучающимися в процессе изучения дисциплин по программированию. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения объективности, эффективности и автоматизации процесса оценки, традиционно связанного с высокой степенью субъективности. В работе анализируются существующие подходы к оценке качества кода, обосновывается выбор статических метрик, а также предлагается математическая модель, интегрирующая ключевые характеристики программных решений. Представлена архитектура нейросети, включающая полносвязные слои и функции активации ReLU и Sigmoid. Реализация модели выполнена на языке C# с применением метода обратного распространения ошибки и инициализации весов по методу Хе. Описаны преимущества предлагаемого подхода, среди которых простота интеграции, прозрачность логики и возможность адаптации к различным образовательным контекстам. Полученные результаты демонстрируют потенциал нейросетевого подхода как эффективного инструмента поддержки преподавания программирования и оценки качества студенческих решений.*

В условиях стремительного развития цифровых технологий программные продукты играют фундаментальную роль во всех сферах человеческой деятельности - от научных исследований и образовательных процессов до промышленного производства и индустрии развлечений [1, 2, 3, 4]. Современное общество остро нуждается в квалифицированных специалистах в области программирования, что делает профессию программиста одной из наиболее востребованных, высокооплачиваемых и социально значимых. Повышенный спрос на качественные программные решения обуславливает необходимость непрерывного совершенствования подходов к подготовке ИТ-специалистов.

Обучение программированию представляет собой сложный, многоуровневый и многогранный процесс, который требует значительных трудовых и временных затрат как от обучающихся, так и от преподавателей [5, 6, 7, 8]. Сам по себе процесс обучения программированию охватывает широкий спектр аспектов: от формирования базовых навыков алгоритмического мышления до освоения современных технологий разработки и принципов проектирования сложных систем. Каждый этап обучения

сопряжён с необходимостью глубокого понимания теоретических основ и практического применения полученных знаний, что делает его особенно ресурсоёмким и насыщенным.

Одной из актуальных задач в процессе обучения программированию является объективная и комплексная оценка качества программных продуктов, создаваемых студентами в рамках освоения учебных программ по дисциплинам, связанным с изучением программирования. В настоящее время традиционные методы оценки, как правило, базируются на экспертных заключениях и ограничиваются набором формальных критериев - таких как корректность выполнения задания, соответствие техническому заданию, наличие или отсутствие синтаксических ошибок. Однако подобный подход подвержен субъективности и не всегда способен отразить реальное качество программного продукта, его архитектуру, эффективность решений или соответствие современным требованиям.

Возрастающий интерес к широкому применению методов искусственного интеллекта, в частности нейросетевых моделей, а также высокая эффективность автоматизированных систем при обработке больших массивов данных обуславливают актуальность разработки и внедрения модели для многокритериальной оценки качества академических программных продуктов. Реализация такой модели позволит не только повысить эффективность обучения программированию за счет объективизации процесса оценки, но и существенно снизит нагрузку на преподавателей, освобождая их время для более глубокой работы над развитием творческих и аналитических навыков студентов.

Цель данного исследования является разработка и программная реализации нейросетевой модели, предназначенной для многокритериальной оценки качества академических программных продуктов. Предполагается, что внедрение такой модели в образовательный процесс позволит не только повысить точность и объективность оценки, но и способствовать повышению мотивации студентов, оптимизации работы преподавателей, а также в целом улучшить качество обучения программированию.

Методам оценки качества программных продуктов, создаваемых обучающимися, уделяется внимание многочисленных исследователей как в России, так и за рубежом. В условиях возрастающего спроса на квалифицированных специалистов в области программирования особое значение приобретает разработка объективных и автоматизированных подходов к оценке академических программных решений.

Так, А.С. Федорова и Е.Ю. Авксентьева в статье рассматривают вопрос автоматизации качественной оценки решений задач по программированию в контексте

обучения школьников. В работе предлагается использовать представление исходного кода в виде семантической сети, что позволяет применять машинные методы анализа для объективной оценки качества. Авторы вводят понятие функции подобия между семантическими сетями, построенными на основе программных решений, и разрабатывают алгоритм её вычисления на базе модифицированного алгоритма ISD. Проведённый эксперимент демонстрирует эффективность предложенного подхода, а также его перспективность как инструмента оценки уровня компетентности обучающихся и средства автоматической проверки на плагиат [9].

В своей работе А.Огородова, П. Шамой и А. Каратаева подчеркивают важность разработки и внедрения автоматизированных систем оценки качества студенческих программных решений, способствующих объективности и эффективности образовательного процесса. В частности, ими предложена интеллектуальная система на основе нечеткой логики, позволяющая оценивать студенческие проекты по множеству критериев - таких как структура кода, использование объектно-ориентированных принципов и функциональная полнота - с минимизацией субъективности при выставлении оценок [10].

Работа М. Тигина, А. Бирилло и Я. Голубева посвящена анализу качества решений, представленных студентами на онлайн-платформе JetBrains Academy. Авторы предлагают методику, основанную на анализе более миллиона решений на языках Java и Python, для выявления общих проблем качества кода и динамики их исправления. Их исследование подчеркивает важность использования аналитических подходов для улучшения качества программного кода в онлайн-курсах, а также для оптимизации образовательных процессов, направленных на развитие навыков написания качественного программного обеспечения [11].

Анализ научных исследований показывает, что разработка объективных и автоматизированных методов оценки качества академических программных продуктов является актуальной задачей, активно исследуемой как российскими, так и зарубежными учеными. Исследования подчеркивают перспективность использования семантических сетей и машинных методов анализа для повышения точности оценки и минимизации субъективности, в процессе оценивания студенческих работ. Особое внимание уделяется применению интеллектуальных систем на основе нечеткой логики, которые позволяют проводить многокритериальную оценку студенческих проектов, а также аналитическим подходам для обработки больших объемов данных, генерируемых в процессе обучения программированию.

Таким образом, рассматриваемая проблема имеет высокую значимость для

совершенствования методов оценки качества программных продуктов, созданных в процессе изучения программирования. Современные исследования демонстрируют перспективность внедрения автоматизированных систем на базе технологий искусственного интеллекта и аналитических методов. Это не только способствует повышению объективности и эффективности оценки, но и создает условия для оптимизации образовательного процесса, направленного на подготовку квалифицированных специалистов в области программирования.

Для оценки качества академических программных продуктов широко применяются метрики программного обеспечения. Метрика программного обеспечения представляет собой количественную меру, предназначенную для оценки определённых свойств программного продукта или его спецификаций. Она позволяет выразить характеристики программного обеспечения в численной форме, что делает возможным их объективный анализ и сравнение [12, 13].

В рамках программной реализации модели многокритериальной оценки качества академических программных продуктов применяются статические метрики, позволяющие количественно оценивать характеристики кода без его выполнения [13]. Модель предполагает использование следующих ключевых метрик:

- $S_{tot}$  (Statements Total) - общее число операторов, отражающее объем кода и потенциальную сложность его поддержки;
- $C_{abs}$  (Complexity Absolute) - абсолютная сложность, учитывающая количество ветвлений и циклов, что влияет на тестопригодность программы;
- $C_{rel}$  (Complexity Relative) - относительная сложность, нормализованная по размеру программы, что позволяет оценить баланс между объемом и структурой кода;
- $F_{def}$  (Function Definitions) - количество определенных функций, характеризующее уровень модульности и организацию кода;
- $F_{call}$  (Function Calls) - количество вызовов функций, демонстрирующее степень повторного использования кода;
- $R_{mod}$  (Module Reuse Ratio) - коэффициент переиспользования модулей, указывающий на эффективность использования кодовых блоков.

Для удобства интерпретации и практического применения модели оценки качества программного кода используется нормализация обозначений. Каждый аспект качества кода, рассчитываемый на основе исходных метрик, был представлен одной буквой, что позволило значительно упростить итоговую формулу.

Таким образом, модульность  $C_{struct} = \frac{F_{call}}{S_{tot}}$ , простота  $C_{comp} = (1 - C_{rel})$ , функциональная организация  $C_{func} = \frac{F_{def}}{S_{tot}}$ , переиспользование кода  $C_{reuse} = R_{mod}$ ,

оптимальная сложность  $C_{absnorm} = \frac{1}{1 + C_{abs}}$ .

Эти метрики обеспечивают объективную основу для анализа качества программных решений и их интеграции в модель оценки.

Модель оценки качества академических программных продуктов (1) основывается на описанных метриках и имеет следующий вид:

$$Q = w_1 * C_{struct} + w_2 * C_{comp} + w_3 * C_{func} + w_4 * C_{reuse} + w_5 * C_{absnorm}, \quad (1)$$

где  $C_{struct}$  - модульность,  $C_{comp}$  - простота,  $C_{func}$  - функциональная организация,  $C_{reuse}$  - переиспользование кода,  $C_{absnorm}$  - оптимальная сложность,  $w_1, w_2, w_3, w_4, w_5$  - веса, отражающие важность каждого аспекта в общей оценке.

Представленная модель оценки качества академических программных продуктов служит основой для разработки и обучения нейросетевой модели, которая будет автоматически подстраивать весовые коэффициенты  $w_1, w_2, w_3, w_4, w_5$  в зависимости от контекста задачи и данных. Весовые коэффициенты играют ключевую роль в модели, так как они определяют значимость каждого метрического параметра в общей оценке. В традиционной модели эти веса задаются экспертами, что может быть субъективным и зависеть от конкретной задачи. Нейросетевая модель позволяет автоматизировать процесс их настройки, обучаясь на основе данных о качестве академических программных продуктов и экспертных оценок.

Использование нейросетевой модели для адаптации весовых коэффициентов предоставляет следующие ряд преимуществ, таких как: автоматизация процесса проверки, гибкость и масштабируемость. Это означает, что использование нейросетевой модели исключает необходимость ручного задания весов, дает возможность адаптировать модель под различные типы задач и предоставляет возможность учитывать скрытые взаимосвязи между метриками.

В рамках исследования была разработана нейросетевая модель, предназначенная для автоматического определения весовых коэффициентов, используемых в формуле оценки качества академических программных продуктов.

Реализация выполнена на языке программирования C# с использованием базовых возможностей платформы .NET без привлечения сторонних библиотек машинного обучения, что обусловлено стремлением к прозрачности логики модели и возможностью последующей модификации на всех этапах разработки.

Разработанная нейросеть имеет многослойную архитектуру, включающую три последовательно соединённых полносвязных слоя. Входной вектор состоит из пяти признаков, характеризующих программный код. Первый скрытый слой содержит 8 нейронов, второй — 4 нейрона, и выходной слой представлен одним нейроном,

интерпретирующим предсказанное значение качества программного решения. Архитектура нейросети представлена на рисунке 1.

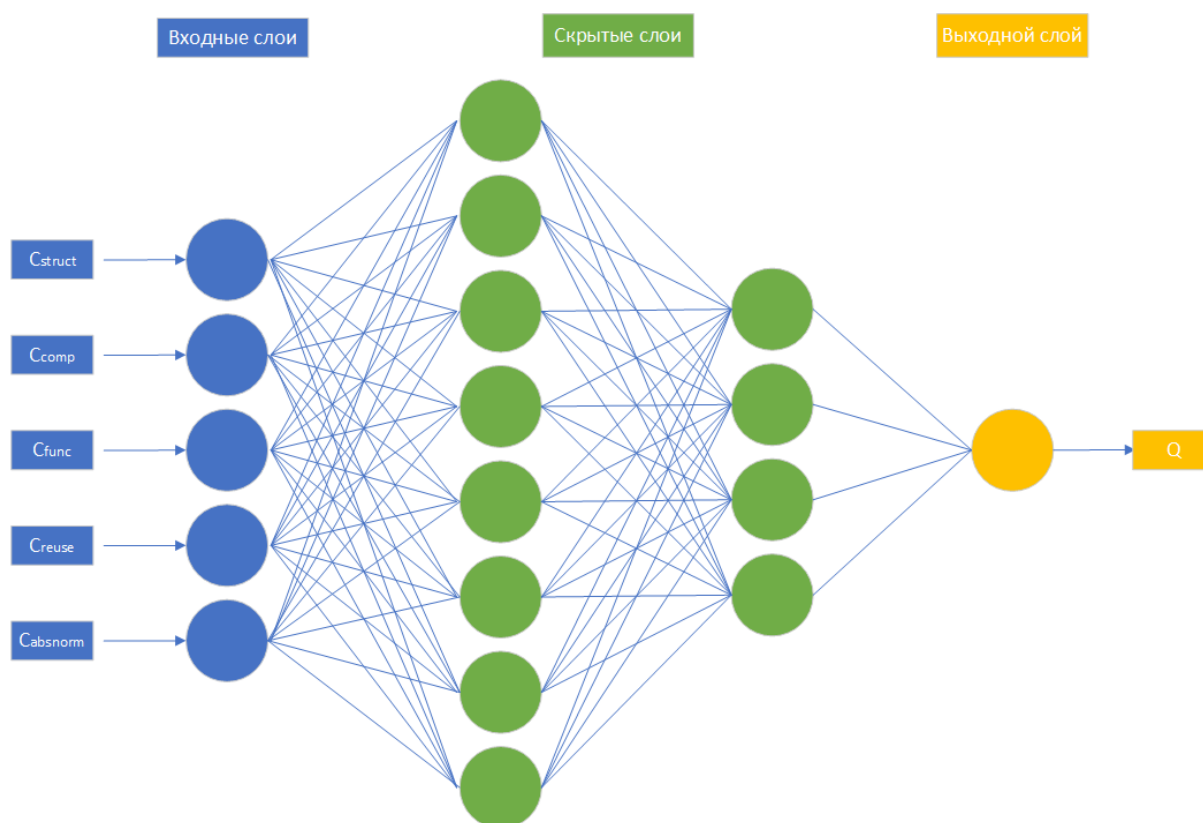


Рис. 1. Архитектура нейросети

Таким образом, схема архитектуры представляет собой входной слой, состоящий из 5 признаков, скрытого слоя №1, состоящего из 8 нейронов с функцией активации ReLU, скрытого слоя №2, состоящего из 4 нейронов, с функцией активации ReLU и выходного слоя, состоящего из 1 нейрона, с функцией активации Sigmoid.

Каждый слой реализован в виде отдельного класса `DenseLayer`, содержащего матрицу весов размером  $\text{InputSize} \times \text{OutputSize}$ . Все нейроны слоя соединены с каждым нейроном предыдущего слоя, что позволяет учитывать взаимные зависимости между входными признаками. Слои осуществляют линейное преобразование входных данных с последующим применением функции активации.

Обучение нейросети реализовано методом обратного распространения ошибки (backpropagation) с использованием стохастического градиентного спуска. На каждом обучающем примере выполняется следующий алгоритм:

- 1) Прямой проход (forward pass): данные последовательно проходят через все слои, на каждом из которых применяются линейные преобразования и функция активации.

- 2) Вычисление ошибки: используется функция потерь в виде среднеквадратичной ошибки (MSE).

3) Обратное распространение (backpropagation): происходит вычисление градиентов с помощью производных функций активации.

4) Обновление весов: осуществляется корректировка весов с использованием заданной скорости обучения (learningRate).

Модель обучается в течение заданного количества эпох. Для отслеживания качества обучения реализовано логирование средней ошибки каждые 100 эпох.

Далее рассмотрим функции активации, используемые для описанной нейросети. ReLU (Rectified Linear Unit) применяется в скрытых слоях, поскольку способствует быстрому обучению и снижает проблему затухающего градиента. Sigmoid применяется в выходном слое, обеспечивая выходное значение в диапазоне  $[0, 1]$ , что позволяет интерпретировать результат как вероятности или относительную оценку качества. Производные этих функций также реализованы для корректной работы алгоритма обратного распространения.

Весовые коэффициенты инициализируются методом Хе (He initialization), предполагающим выбор случайных значений из нормального распределения с масштабированием. Такой подход позволяет избежать проблемы «зависания» нейронов при использовании функции активации ReLU и способствует более стабильному началу обучения.

Как было упомянуто ранее, разработка выполнена средствами языка C# без использования сторонних библиотек и модулей, что делает реализацию полностью прозрачной и модифицируемой. Кроме того, среди ключевых особенностей реализации можно выделить следующие:

1) Простота структуры и возможность адаптации под различные задачи оценки программ.

2) Реализация сохранения и загрузки весов в формате CSV, упрощающая экспериментирование и повторное использование модели.

3) Возможность ручного управления скоростью обучения.

4) Поддержка вывода промежуточных результатов обучения, обеспечивающая контроль над сходимостью модели.

В условиях стремительного роста объема информации и усложнения требований к качеству программного обеспечения особую актуальность приобретает задача объективной оценки качества академических программных продуктов. Представленное исследование показало, что использование нейросетевых моделей на основе статических метрик кода является перспективным направлением в автоматизации данного процесса.

Разработанная нейросетевая модель представляет собой эффективную архитектуру, реализованную на языке программирования C# с применением классических методов машинного обучения - полносвязных слоев, функций активации ReLU и Sigmoid, метода инициализации Хе и алгоритма обратного распространения ошибки. Такой подход обеспечил полную прозрачность реализации, гибкость настройки и возможность интеграции в образовательные программные среды без зависимости от внешних библиотек.

К основным преимуществам предложенной модели можно отнести автоматизацию оценки, что снижает нагрузку на преподавателей, гибкость и масштабируемость, позволяющую адаптировать модель под разные курсы и учебные цели, объективность и воспроизводимость оценки, основанной на численных показателях и исключающей влияние субъективного фактора, возможность расширения за счёт добавления новых метрик и доработки архитектуры.

Результаты реализации подтвердили работоспособность модели и целесообразность её применения в системе высшего образования. Внедрение такой системы может повысить точность и прозрачность оценки, а также усилить мотивацию студентов за счёт более справедливой и наглядной оценки их программных решений.

В дальнейшем планируется расширить функциональность модели, включив в неё дополнительные параметры анализа качества, а также провести эмпирическую валидацию для комплексной оценки эффективности внедрения системы в реальный учебный процесс.

#### Литература

1. Никольский А.Г., Виштак О.В., Очкур Г.В., Виштак Н.М. Искусственный интеллект как инструмент изучения программирования. //Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2024. - № 2.- С. 191-197.
2. Рябенков Р.А., Михеев И.В. Глубокое обучение. // В сборнике трудов II Международной научно-практической конференции: Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании. - 2020. - С. 229-233
3. Рябенков Р.А., Михеев И.В. Искусственный интеллект и его потенциал. //В сборнике: Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий. /Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции. Балаково. - 2020.- С. 229-233.
4. Рябенков Р.А., Михеев И.В. Машинное обучение / Р.А. Рябенков Р.А., И.В. Михеев // Сборник трудов II Международной научно-практической конференции «Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании». —

М.: НИЯУ МИФИ, 2020. - С. 224-228.

5. Виштак Н.М., Михеев И.В. Особенности обучения программированию в высшей школе. /В книге: Будущее атомной энергетики - AtomFuture 2019. Тезисы докладов XV Международной научно-практической конференции. - 2020. - С. 132-134.

6. Михеев И.В., Виштак О.В. Современные подходы к реализации практико-ориентированного подхода в обучении программистов. //В сборнике научных трудов: ФИЗИК: УЧЕНЫЙ, ПЕДАГОГ, НАСТАВНИК. - Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского. – Саратов. - 2023. - С. 246-248.

7. Виштак О.В. Педагогические инструменты оценки знаний обучающихся по программированию и информационным технологиям. // В сборнике: Инновационные и традиционные технологии естественнонаучного и математического образования детей дошкольного и младшего школьного возраста. материалы исследовательских работ преподавателей и студентов педагогического вуза, учителей общеобразовательной школы. – Ульяновск. - 2022. - С. 7-8.

8. Виштак О.В., Токарев А.Н. Межпредметная интеграция при изучении специальных дисциплин подготовки бакалавров в области IT-технологий. - Научно-методический электронный журнал Концепт. - 2014. - № Т20. С. - 4836-4840.

9. Федоров, А. С. Алгоритм оценки качества решения задач по программированию / А. С. Федоров, Е. Ю. Авксентьева // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. — 2024. — № 1. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-otsenki-kachestva-resheniya-zadach-programmirovaniyu> (дата обращения: 24.04.2025).

10. Огородова, А. Fuzzy Intelligent System for Student Software Project Evaluation / А. Огородова, П. Шамои, А. Каратаев // arxiv.org. — Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2405.00453> (дата обращения: 24.04.2025).

11. Тигина, М. Analyzing the Quality of Submissions in Online Programming Courses / М. Тигина, А. Бирилло, Я. Голубев // arxiv.org. — Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2301.11158> (дата обращения: 24.04.2025).

12. Метрики программного обеспечения: часть 1 // CM Consulting. — URL: [https://web.archive.org/web/20081018181130/http://cmcons.com/articles/CC\\_CQ/dev\\_metrics/mertics\\_part\\_1/](https://web.archive.org/web/20081018181130/http://cmcons.com/articles/CC_CQ/dev_metrics/mertics_part_1/) (дата обращения: 24.04.2025).

13. Михеев И.В., Виштак О.В., Кондратов Д.В. Система количественных характеристик оценки качества программных продуктов: сб. науч. тр. // Программные системы и вычислительные методы. 2018. № 2. С. 28-35.

**Клиент-серверное приложение для построения аппроксимирующих функций  
с использованием нейронной сети**

Наранович Оксана Ивановна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент  
кафедры «Информационные технологии и физико-математические дисциплины»;

Пашкевич Михаил Юрьевич, студент;

Барановичский государственный университет, г. Барановичи, Беларусь

*Статья посвящена представлению клиент-серверного приложения, позволяющего строить аппроксимирующие функции с использованием обученной нейронной сети*

Аппроксимация — это процесс приближенного представления сложного объекта, функции или данных с использованием более простых или удобных для анализа средств, моделей или математических выражений. В научных исследованиях аппроксимация применяется для замены реальных значений или сложных математических зависимостей на более простые функции, которые позволяют описывать поведение системы с достаточной степенью точности.

Аппроксимация функций позволяет прогнозировать ранее не измеренные значения для последующего использования при статистической обработке и анализе данных. Данные, с которыми приходится работать, нередко содержат шум, пропуски или противоречивую информацию, что затрудняет их изучение вручную. Более того, без применения статистических методов практически невозможно объективно оценить силу взаимосвязей и построить точные прогнозные модели.

Для решения подобных задач активно используются корреляционный и регрессионный анализы, которые позволяют формализовать зависимости, переводя их в математическую форму. Однако их применение может быть сложным: ручные расчёты требуют значительных усилий, а стандартное программное обеспечение не всегда удобно для регулярного анализа или работы с большими массивами данных [1].

Нейронные сети играют ключевую роль в современных методах моделирования и прогнозирования сложных систем. Для достижения высокой точности моделей необходимо тщательно подбирать архитектуру сети и оптимизировать параметры обучения, что требует применения продвинутых методов и инструментов [2].

Современные нейронные сети обладают гибкостью и мощностью, позволяя эффективно решать задачи аппроксимации функций. Однако процесс обучения таких сетей может быть трудоемким и требует значительных вычислительных ресурсов, что подчеркивает необходимость разработки эффективных инструментов для

автоматизации этих процессов [3].

Одним из наиболее распространённых типов нейронных сетей является многослойный перцептрон. Эта архитектура состоит из нескольких слоёв нейронов, что позволяет моделировать сложные нелинейные зависимости и улучшать точность аппроксимации. Многослойные перцептроны эффективно обучаются на больших объёмах данных, что делает их востребованными как в научных исследованиях, так и в промышленности. Их способность выявлять скрытые закономерности и адаптироваться к различным типам данных обеспечивает высокую производительность в задачах моделирования и прогнозирования [4].

Целью данной исследовательской работы является разработка клиент-серверного приложения для построения аппроксимирующих функций с использованием нейронных сетей.

При разработке приложения решались следующие задачи: изучить основы нейронных сетей и методы их обучения на примере многослойного перцептрона, смоделировать и обучить перцептрон, создать клиент-серверное приложение для демонстрации его работы. В результате применения разработанного программного продукта пользователь получает готовый результат аппроксимации, представленный в удобной для анализа форме.

На рис. 1 представлена структура многослойного перцептрона. Входной слой принимает одномерный вход, представляющий скалярное значение  $x$ . Три скрытых слоя, реализованных в виде плотных слоев, содержат по 128 нейронов каждый и используют функцию активации ReLU (Rectified Linear Unit). Эти слои обеспечивают способность нейросети моделировать сложные нелинейные зависимости в данных. Выходной слой представлен плотным слоем с одним нейроном без функции активации. Он предназначен для формирования предсказанного значения  $y$ . Необходимо минимизировать функцию ошибки (среднеквадратичную ошибку), чтобы обучить сеть для аппроксимации заданной функции.

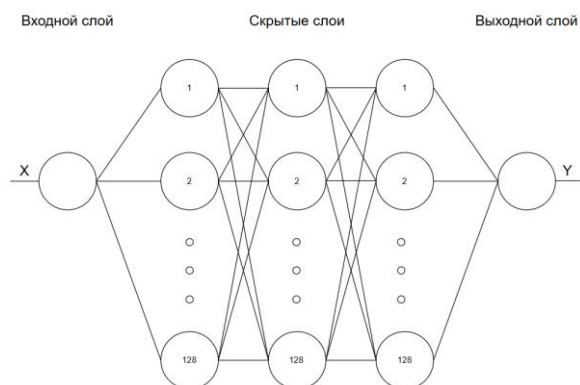


Рис. 1. Структура многослойного перцептрона

На рис. 2 показано главное окно приложения, которое позволяет вводить исходные данные для аппроксимации. Для ввода представлены: математическая модель аппроксимирующей функции, значение  $x$ , а также значения обучающего диапазона для нейронной сети (начало и конец диапазона, а также количество точек). Кнопка «Сохранить настройки» позволяет сохранить настройки диапазона для дальнейшего обучения нейронной сети. Кнопка «Рассчитать» запускает процесс аппроксимации, после которого полученные данные будут отображаться на панели «Результаты». Для повышения производительности и быстродействия программы каждая обученная модель нейронной сети сохраняется и повторно используется в случае ввода пользователем идентичной функции, без необходимости повторного обучения. Кнопка «Удалить сохраненные данные» очищает все модели нейронной сети, которые были сохранены. Кнопка «Сохранить результаты» используется для записи всех результатов аппроксимации функции, включая графики. На графике «Аппроксимации функции» можно увидеть две линии, красная линия отображает реальное значение функции, а синяя - демонстрирует результаты, предсказанные нейронной сетью.

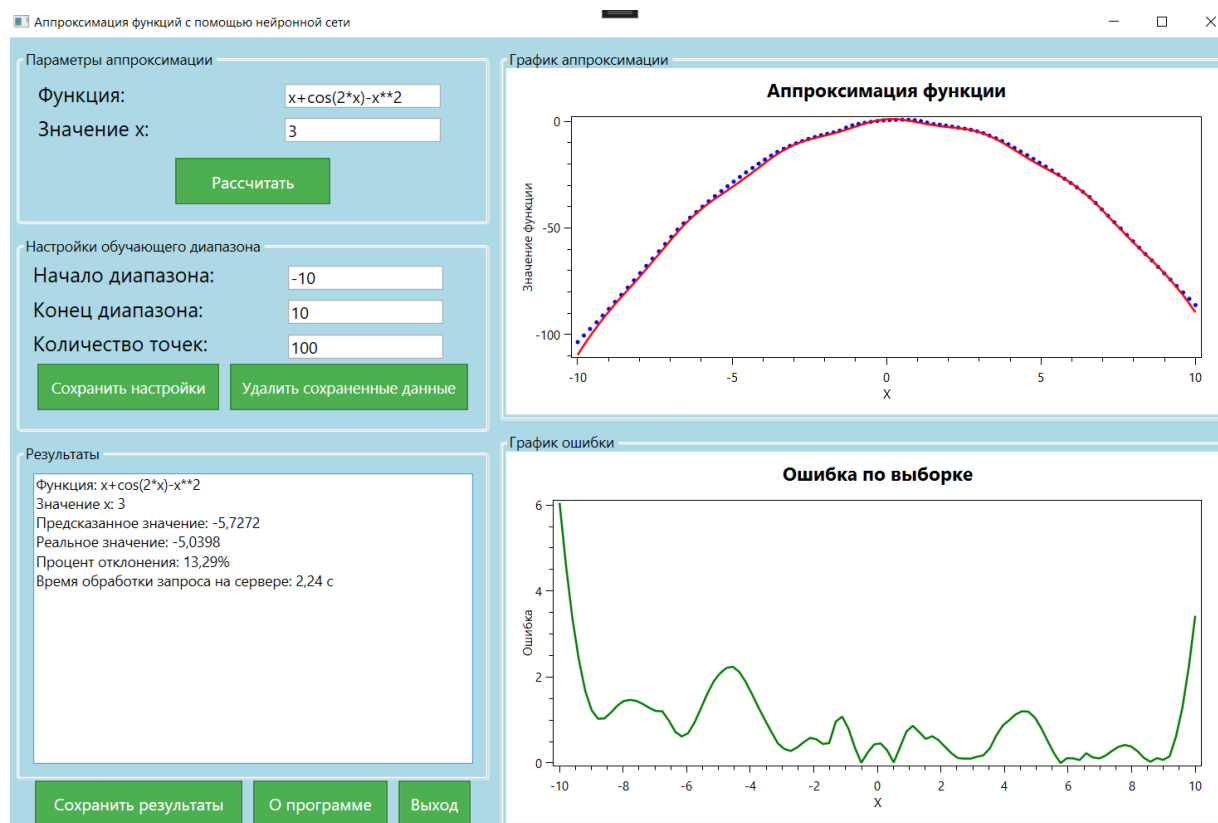


Рис. 2. Результат аппроксимации со стандартными настройками

Для тестирования модели проведем эксперименты с различными настройками обучения нейронной сети для аппроксимации функции.

В качестве примера используем стандартные параметры: исходная функция задана математическим выражением (например,  $x + \cos(2 \cdot x) - x^2$ ), необходимо

найти её аппроксимацию на основе нейронной сети. Значению  $x$  присвоим 3. Для проверки модели проведем расчет со стандартными настройками алгоритма: диапазон от -10 до 10, 100 точек. Результат работы приложения показан на рис. 2.

В результате выполнения вычислений нейронной сетью было получено предсказанное значение, равное -5.7272. Это значение демонстрирует отклонение порядка 13% от теоретически оптимального ответа, что свидетельствует о необходимости внесения корректировок в параметры алгоритма для повышения точности.

На следующем этапе предполагается проведение изменений в конфигурации применяемого алгоритма. Одним из ключевых решений в данном процессе стало увеличение числа точек, задействованных в расчетах, до значения 1000. Этот шаг направлен на улучшение качества аппроксимации и повышение точности предсказаний модели. Обновленные результаты расчетов представлены на рис. 3.

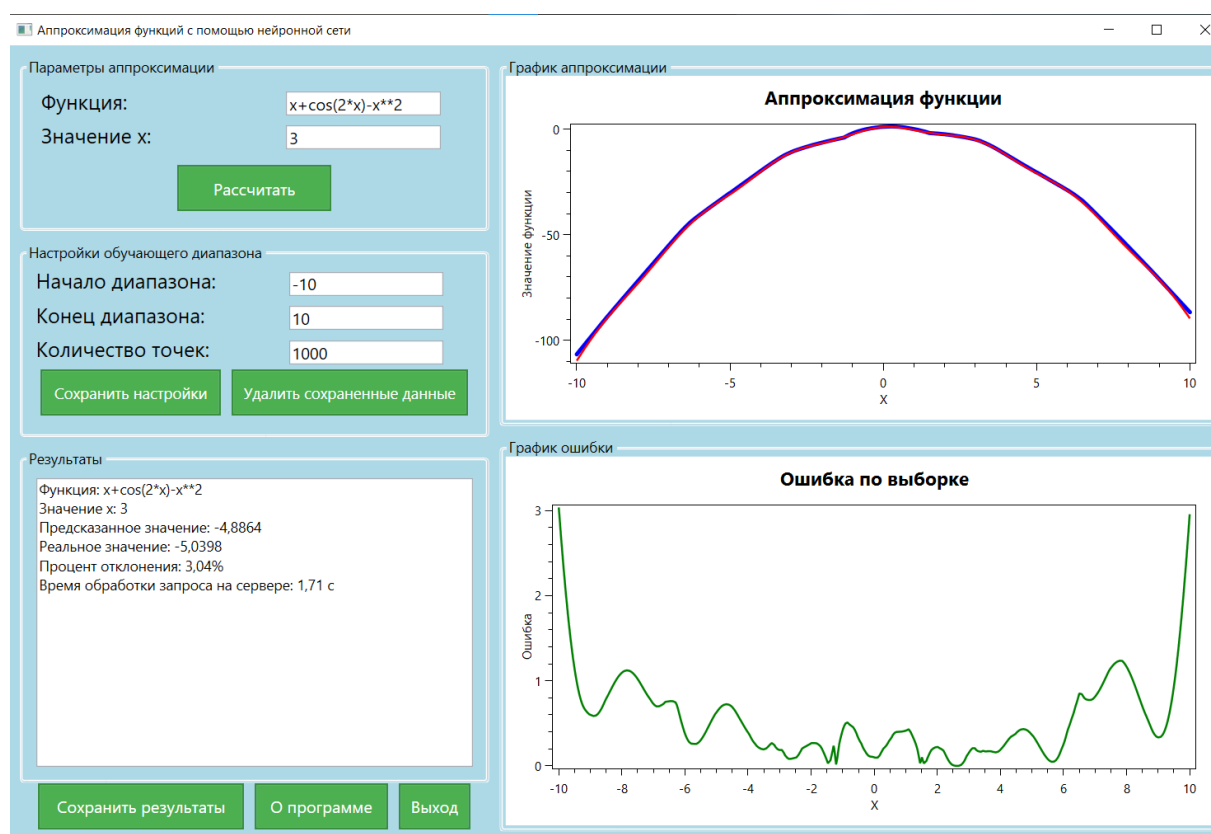


Рис. 3. Результат аппроксимации с обновленными настройками

После внесения указанных изменений нейронная сеть сформировала новое предсказанное значение, равное -4.8864. Данное значение характеризуется погрешностью, составляющей лишь 3.04% относительно оптимального результата, что может быть охарактеризовано как удовлетворительный показатель для решения поставленной задачи.

В результате выполнения работы было разработано приложение, предназначенное для построения аппроксимирующих функций, произведен сравнительный анализ

методов и параметров аппроксимации функции с использованием нейронной сети для улучшения качества модели. Для разработки клиент-серверного приложения использовалась среда Visual Studio, платформа WPF, редактор кода Visual Studio Code, языки программирования Python и C#. Использование клиент-серверной архитектуры позволило разделить задачи между клиентом и сервером, оптимизируя производительность приложения. Такой подход обеспечивает эффективное распределение вычислительных ресурсов и улучшает отзывчивость системы, что особенно важно при обработке сложных оптимизационных задач.

Таким образом, разработанное клиент-серверное приложение позволяет эффективно решать задачи аппроксимации функций с использованием нейронной сети и может быть использовано для различных прикладных целей, таких как анализ данных, оптимизация и прогнозирование.

#### Литература

1. Наранович О.И., Хартанович Д.Ю. Разработка приложения для построения многофакторных моделей / О.И. Наранович, Д.Ю. Хартанович // Эпоха науки – 2025. – № 41. – С. 38–44.
2. Машинное и глубокое обучение [Электронный ресурс]. — URL: <https://aws.amazon.com/ru/compare/the-difference-between-machine-learning-and-deep-learning> (дата обращения: 12.02.2025).
3. Глубокое обучение [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.oracle.com/cis/artificial-intelligence/machine-learning/what-is-deep-learning/> – (дата обращения: 12.02.2025).
4. Многослойные перцептроны [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.ibm.com/docs/spss-statistics/saas?topic=networks-multilayer-perceptron> – (дата обращения: 10.03.2025).

УДК 004.4

#### **Обзор программного обеспечения для чтения электронных книг**

Очкур Галина Викторовна, кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Информационные системы и технологии»;

Мащенко Петр 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 представлен анализ существующего программного обеспечения (ПО) для чтения электронных книг, предложена методология разработки инклюзивного ПО с использованием современных информационных технологий. Особое внимание уделено вопросам доступности для пользователей с ограниченными возможностями.*

Современное общество переживает этап активной цифровизации, затрагивающей все сферы человеческой деятельности, включая образование, культуру и повседневное взаимодействие с информацией. В этом контексте электронные книги становятся неотъемлемой частью цифрового ландшафта, предлагая пользователям беспрецедентные возможности: компактное хранение обширных библиотек, мгновенный доступ к контенту, а также адаптацию текстов под индивидуальные предпочтения [1, 4]. Однако эффективное использование электронных книг невозможно без специализированного программного обеспечения (ПО), которое не только обеспечивает базовые функции чтения, но и учитывает растущие требования к персонализации, удобству и доступности.

Актуальным вызовом остается обеспечение инклюзивности — создания решений, доступных для пользователей с различными физическими и когнитивными особенностями. В условиях, когда цифровые ресурсы становятся основным источником знаний, игнорирование потребностей людей с ограниченными возможностями приводит к их исключению из информационного пространства, что противоречит принципам равенства и социальной справедливости [1, 5].

Современный рынок предлагает множество приложений для чтения электронных книг, однако их функционал зачастую ограничен стандартными настройками шрифтов и цветовых схем. Такие аспекты, как поддержка экранных читалок, адаптация текста для пользователей с дислексией, реализованы лишь в единичных случаях. Это свидетельствует о необходимости системного подхода к разработке ПО, который бы сочетал инновационные технологии с глубоким пониманием потребностей разнообразной аудитории.

Кроме того, растущий спрос на персонализацию требует внедрения механизмов, способных анализировать поведение пользователя и автоматически настраивать интерфейс, например, регулировать сложность текста, предлагать аудиоверсии или адаптировать визуальное оформление под конкретные задачи. Социальная значимость таких решений заключается не только в повышении комфорта, но и в устранении барьеров, препятствующих равному доступу к образовательным и культурным ресурсам.

Таким образом, разработка программного обеспечения для чтения электронных книг представляет собой междисциплинарную задачу, находящуюся на стыке

технологических инноваций, дизайна пользовательского опыта и социальной ответственности. Её решение требует комплексного анализа существующих практик, внедрения современных инструментов и фокуса на инклюзивности как ключевом критерии качества цифровых продуктов.

Первые программы для чтения электронных книг появились в конце 1990-х — начале 2000-х годов, когда началось массовое распространение цифровых текстов. Изначально они поддерживали ограниченное количество форматов, таких как TXT и DOC, но с развитием технологий появились специализированные стандарты:

- PDF (Portable Document Format) — разработан Adobe для сохранения оригинального форматирования, но плохо адаптируется под экраны мобильных устройств;
- EPUB — открытый стандарт, оптимизированный для переформатирования текста под разные размеры экранов;
- MOBI — формат, созданный для устройств Amazon Kindle, позже заменённый на AZW3 и KFX с улучшенной типографикой и DRM-защитой;
- FB2 (FictionBook) — популярный в Рунете XML-формат с поддержкой структурированных метаданных;

Современные читалки поддерживают все эти форматы, а также предлагают конвертацию между ними, что делает цифровые библиотеки более универсальными.

Современные решения для чтения электронных книг можно систематизировать по типу платформ и устройств, для которых они разработаны. Настольные приложения для операционных систем Windows и macOS традиционно предлагают наиболее широкий функционал для работы с электронными библиотеками. Такие программы, как Adobe Digital Editions, ориентированы на работу с защищенным контентом, поддерживая форматы EPUB и PDF с сохранением оригинального форматирования документов. Более универсальные решения, например Calibre, сочетают в себе функции читалки, конвертера форматов и менеджера электронных библиотек, позволяя пользователям не только читать, но и систематизировать обширные коллекции цифровых изданий.

Мобильные приложения для iOS и Android отличаются оптимизированным под сенсорные экраны интерфейсом и повышенным вниманием к удобству чтения в дороге. Популярные читалки вроде Moon+ Reader предлагают расширенные возможности кастомизации - от регулировки яркости и цветовых температур до выбора анимации перелистывания страниц. В экосистеме Apple стандартное приложение Books обеспечивает глубокую интеграцию с другими сервисами компании, включая синхронизацию закладок и заметок между устройствами. Приложения от Amazon,

такие как Kindle, делают акцент на синхронизации с фирменными читалками, хотя и ограничивают пользователей в выборе поддерживаемых форматов.

Отдельную категорию составляют веб-платформы и онлайн-читалки [2], которые не требуют установки дополнительного программного обеспечения. Сервисы вроде Google Play Книги позволяют получить доступ к своей библиотеке через браузер любого устройства, в то время как Bookmate сочетает функции облачного хранилища с подписочной моделью доступа к контенту.

Особняком стоят специализированные устройства для чтения на основе технологии электронных чернил (E-Ink). Линейка Amazon Kindle остается наиболее узнаваемой на этом рынке, предлагая комфортное чтение при любом освещении. Альтернативные решения, такие как PocketBook и Onyx Boox, привлекают пользователей открытостью платформы и поддержкой широкого спектра форматов, включая специализированные форматы комиксов и графических романов.

Современный рынок предлагает множество решений для чтения электронных книг, каждое из которых обладает уникальным набором функций и характеристик. Для систематизации этой информации и облегчения выбора оптимального ПО был проведен детальный сравнительный анализ наиболее популярных читалок. В ходе исследования оценивались ключевые параметры, включая поддерживаемые платформы, форматы файлов, функциональные возможности и уровень инклюзивности.

Такой комплексный подход к сравнению позволяет не только выявить сильные и слабые стороны каждого решения, но и определить тенденции развития данного сегмента программного обеспечения в целом.

Полученные данные особенно ценны для пользователей, которые стоят перед выбором оптимального инструмента для работы с электронными книгами, а также для разработчиков, планирующих создание новых продуктов в этой области.

Таблица 1 содержит обобщенные данные по десяти ведущим приложениям, что позволяет наглядно сопоставить их основные характеристики. В сравнительный анализ включены как универсальные кроссплатформенные решения (Calibre, FBReader), так и специализированные продукты (Apple Books, Kindle), а также современные облачные сервисы (Google Play Книги, Bookmate). Особое внимание уделено оценке инклюзивных функций, так как доступность цифрового контента для пользователей с ограниченными возможностями становится все более актуальной темой в современном цифровом пространстве.

Таблица 1

## Сравнительный анализ программного обеспечения для чтения электронных книг

Название ПО	Платформы	Поддерживаемые форматы	Ключевые особенности	Инклюзивные функции	Недостатки
Adobe Digital Editions	Windows, macOS	EPUB, PDF	Поддержка DRM, сохранение оригинального форматирования	Минимальные настройки шрифтов	Устаревший интерфейс, нет мобильной версии
Calibre	Windows, macOS, Linux	EPUB, MOBI, PDF, FB2 и др.	Конвертер форматов, редактор метаданных, управление библиотекой	Поддержка плагинов для доступности	Сложный интерфейс для новичков
FBReader	Windows, macOS, Linux, Android, iOS	EPUB, FB2, MOBI и др.	Кроссплатформенность, облачная синхронизация	Настройка шрифтов и цветовых схем	Ограниченные функции аннотирования
Moon+ Reader	Android	EPUB, PDF, MOBI и др.	Кастомизация интерфейса, ночной режим, статистика чтения	Режим для дислексиков, TTS	Только для Android, нет десктопной версии
Apple Books	iOS, macOS	EPUB, PDF	Интеграция с экосистемой Apple, аудиокниги	VoiceOver, динамические шрифты	Закрываемая экосистема
Kindle	Windows, macOS, Android, iOS	AZW, MOBI, PDF	Синхронизация между устройствами, магазин Amazon	Упрощенный интерфейс	Ограниченная поддержка форматов
Google Play Книги	Веб, Android, iOS	EPUB, PDF	Облачное хранение, чтение в браузере	Масштабирование текста	Требует интернет для доступа к библиотеке
PocketBook Reader	Android, iOS	EPUB, FB2, MOBI и др.	Поддержка словарей, синхронизация	Настройки для слабовидящих	Менее популярен, чем аналоги
Librera Reader	Android	Все основные форматы	Поддержка DJVU, CBR/CBZ, режим программиста	Гибкие настройки доступности	Специфичный интерфейс
Bookmate	Android, iOS, Веб	EPUB, FB2	Подписка на контент, социальные функции	Ночной режим, размер шрифта	Ограниченный выбор бесплатных книг

Проведенный анализ программного обеспечения для чтения электронных книг позволяет сделать ряд важных выводов о текущем состоянии рынка подобных решений. На основании представленных данных четко прослеживается разделение читалок на несколько категорий: универсальные менеджеры библиотек (Calibre), экосистемные продукты (Apple Books, Kindle), кроссплатформенные решения (FBReader) и специализированные мобильные приложения (Moon+ Reader). Каждый тип обладает характерными преимуществами и целевой аудиторией.

Наиболее универсальными с точки зрения поддерживаемых форматов и платформ оказались Calibre и FBReader, однако они требуют определенных

технических навыков для полноценного использования. Экосистемные продукты демонстрируют превосходную интеграцию с соответствующими платформами, но ограничивают пользователей в выборе форматов и источников контента. Особого внимания заслуживает проблема инклюзивности - несмотря на наличие базовых функций доступности в большинстве приложений, полноценная поддержка пользователей с ограниченными возможностями реализована лишь в единичных случаях.

Перспективными направлениями развития можно считать:

1. Улучшение инклюзивных функций (расширение поддержки экранных дикторов, специализированных шрифтов) [2];
2. Развитие кроссплатформенности и облачной синхронизации;
3. Упрощение интерфейсов без потери функциональности.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости создания нового поколения читалок, которые сочетали бы преимущества существующих решений - универсальность Calibre, удобство Moon+ Reader и инклюзивность специализированных приложений. Особенно актуальной представляется разработка платформы с адаптивным интерфейсом, способной автоматически подстраиваться под индивидуальные потребности пользователя.

Основой нового приложения должна стать адаптивная платформа, способная автоматически подстраиваться под индивидуальные потребности каждого пользователя. Использование технологий машинного обучения позволит системе анализировать поведенческие паттерны читателя - скорость чтения, частоту использования словаря, предпочитаемые жанры - и на основе этих данных предлагать оптимальные настройки интерфейса. Особое внимание следует уделить реализации комплексных инструментов доступности, включающих не только стандартные функции увеличения шрифта и изменения контрастности, но и интеллектуальную систему преобразования текста в речь с возможностью тонкой настройки голосового сопровождения.

Ключевым конкурентным преимуществом нового продукта может стать его архитектурная гибкость. В отличие от существующих экосистемных решений, привязанных к конкретным платформам или форматам, перспективное приложение должно обеспечивать беспрепятственную работу с любыми типами электронных публикаций независимо от их источника. Технологии облачной синхронизации позволят пользователям получать доступ к своей библиотеке с любого устройства, сохраняя все сделанные пометки и текущий прогресс чтения.

Важным аспектом разработки станет создание интуитивного интерфейса, который будет одинаково удобен как для технически подкованных пользователей, так и для людей, впервые сталкивающихся с электронными читалками. Современные принципы юзабилити и геймификации могут быть использованы для превращения процесса чтения в увлекательное и комфортное занятие, лишенное технических барьеров. При этом за кажущейся простотой интерфейса должна стоять мощная функциональная база, удовлетворяющая запросы самых взыскательных пользователей.

Особую значимость приобретает вопрос интеграции нового приложения в образовательную и профессиональную среду. Возможность коллективной работы с текстами, создания аннотаций и обмена комментариями открывает перспективы использования продукта в учебных заведениях и научных учреждениях. Развитая система тегирования и поиска по содержанию библиотеки может стать незаменимым инструментом для исследователей и специалистов, работающих с большими объемами текстовой информации.

Реализация такого проекта потребует комплексного подхода, сочетающего передовые достижения в области UX-дизайна, технологий искусственного интеллекта и облачных вычислений. Однако именно такой многоаспектный подход способен привести к созданию по-настоящему инновационного продукта, который не просто дополнит существующий рынок электронных читалок, но и задаст новые стандарты удобства, доступности и функциональности в этой категории программного обеспечения.

#### Литература

1. О важном: инклюзивность интерфейсов, в которой нуждаются // Хабр: сайт URL: <https://habr.com/ru/articles/839254/> (дата обращения: 10.04.2025). – Текст: электронный.
2. Проект Gutenberg // Gutenberg: сайт. URL: <https://www.gutenberg.org/> – Текст: электронный.
3. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1// WCAG: сайт. URL: <https://www.w3.org/TR/WCAG21/> (дата обращения: 10.04.2025). – Текст: электронный.
4. Генералов М.В., Виштак О.В. Особенности разработки конструктора буктрейлеров для центра дополнительного образования. //В сборнике Международной научно-практической конференции: Web-технологии в реализации удалённого формата образования. Научный редактор С.В. Миронова, отв. редактор С.В. Напалков. – Арзамас - 2021. - С. 366-371.
5. Забродин М.Д., Виштак Н.М. Синтез речи: методы, подходы и современные

тенденции. //Информационно-ресурсное обеспечение образовательного процесса в средней и высшей школе: проблемы и перспективы: Сборник научных трудов. – Саратов: Саратовский источник. - 2025. – С.155-158.

УДК 004.04

### **Разработка backend-решений для образовательных игр на Java**

Очкур Галина Викторовна, кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Информационные системы и технологии»;

Никифоров Дмитрий Денисович, 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 представлен обзор интерактивного подхода обучения, основанный на игровых технологиях. Рассмотрен процесс разработки игр. Рассмотрена серверная часть клиент серверного приложения с бизнес-логикой.*

Игровые технологии в образовании (геймификация) — это использование игровых элементов, механик и подходов в учебном процессе для повышения мотивации, вовлеченности и эффективности обучения [1, 4, 6, 7].

- Преимущества игровых технологий в образовании:
- Повышение мотивации и вовлечённости;
- Улучшение усвоения материала;
- Развитие навыков (критическое мышление, командная работа, креативность, эмоциональный интеллект);
- Персонализация обучения;
- Снижение стресса и страха;
- Обратная связь в реальном времени;
- Доступность и гибкость (офлайн, онлайн, смешанный формат, подходит для всех возрастов).

Основные виды игровых технологий в образовании [2, 5, 9]:

- Серьёзные игры – специально созданные игры для обучения (например, симуляторы, исторические реконструкции);
- Геймификация – добавление игровых элементов (очки, уровни, бейджи, рейтинги) в неигровой контекст;
- Образовательные VR/AR-игры – виртуальная и дополненная реальность для

интерактивного обучения;

- Ролевые и деловые игры – моделирование реальных ситуаций (переговоры, экономические стратегии);
- Квесты и симуляции – решение задач в форме приключений.

Хотя игровые технологии предлагают множество преимуществ, их внедрение сопряжено с рядом существенных ограничений и потенциальных рисков:

- Подмена целей - учащиеся могут начать концентрироваться на внешних атрибутах игры (баллах, уровнях, наградах), а не на освоении учебного материала;
- Техническая зависимость и цифровое неравенство;
- Перегрузка игровыми механиками;
- Проблема долгосрочной эффективности;
- Психологические аспекты;
- Организационные сложности.

Таким образом, игровые технологии делают обучение более увлекательным и эффективным. Однако важно грамотно интегрировать их в учебный процесс, сочетая с традиционными методами.

Создание видеоигр (также известное как геймдев) представляет собой комплексный процесс производства игрового продукта [3, 8, 10]. Данная деятельность объединяет множество дисциплин, таких как:

- Программирование (разработка игровой логики и движка),
- Дизайн (концепция игры, механики, уровни),
- Художественное оформление (2D/3D-графика, анимация, визуальные эффекты),
- Звуковое сопровождение (музыка, звуковые эффекты, озвучка),
- Работа с интерфейсом (UX/UI-дизайн),
- Сценаристика (нарратив, диалоги, лор).

Разработка коммерческой игры обычно включает следующие этапы [10]:

1. Концепция и пред производство;
2. Прототипирование;
3. Основная разработка;
4. Альфа- и бета-тестирование;
6. Релиз и пост-релизная поддержка;
7. Анализ результатов.

Таким образом, разработка видеоигр представляет собой сложный, многогранный процесс, объединяющий технические, творческие и управленческие дисциплины. В отличие от традиционного ПО, игровая индустрия требует баланса

между художественным видением и точным инженерным подходом, что делает её одной из самых рискованных, но и перспективных сфер цифрового производства.

Бэкенд — это внутренняя часть системы, отвечающая за выполнение бизнес-логики, управление данными и обеспечение безопасного взаимодействия между клиентами (фронтом, мобильными приложениями) и сервером.

В отличие от фронта, который фокусируется на пользовательском интерфейсе, бэкенд обрабатывает запросы, валидирует данные, обеспечивает безопасность и масштабируемость. В данном проекте бэкенд реализован на Java с использованием Spring Boot — фреймворка, который предоставляет инструменты для быстрой разработки микросервисов и RESTful API.

Некоторые задачи бэкенда:

- Обработка бизнес-логики - реализация ключевых алгоритмов и правил работы приложения;
- Управление данными - хранение, извлечение и модификация данных;
- API и взаимодействие с клиентами - обеспечение связи между фронтом, мобильными приложениями и сторонними сервисами;
- Аутентификация и авторизация - контроль доступа пользователей и систем.

Преимущества Java + Spring Boot:

- Производительность: JVM оптимизирована для долгоживущих процессов;
- Экосистема: Spring Boot упрощает настройку безопасности, работу с БД, и документирование API;
- Масштабируемость: Поддержка реактивного программирования, для высоких нагрузок.

В данном проекте реализовано следующее API:

- Создание пользователя;
- Получение данных пользователя;
- Получение статистики;
- Получение успешности колонии;
- Получение оптимальности всех модулей в колонии;
- Удаление модуля;
- Создание модуля;
- Удаление связи между областями;
- Создание связи между областями;
- Изменения дня;
- Удаление колонии;

- Создание новой колонии;
- Проверка, можно ли поставить модуль;
- Получение информации про области.

В рамках реализации бизнес-логики системы были разработаны специализированные алгоритмы расчета рациональности для каждого модуля индивидуально.

Например, для солнечной электростанции показатель эффективности вычисляется на основе:

- Географического расположения модуля;
- Конфигурации соседних модулей.

Такой подход позволяет осуществлять точную оценку производительности каждого модуля в контексте общей инфраструктуры колонии, что обеспечивает корректное функционирование системы в целом.

В рамках разработки были реализованы комплексные расчеты ключевых производственных показателей, включая:

- баланс ресурса потребления и производства при обработке реголита, сжигание органики, освещении и терморегуляции модулей, выращивании еды и так далее;
- пространственный анализ инфраструктуры: были рассчитаны географические координаты областей и расстояния между ними, учитывая перепады высот.

Таким образом, бэкенд играет ключевую роль в проекте, обеспечивая работу бизнес-логики, управление данными и безопасное взаимодействие между клиентами и сервером.

#### Литература

1. Миронова С.В., Напалков С.В., Нестерова Л.Ю. О развивающих возможностях образовательных Web-квестов. // Сборник статей участников международной научно-практической конференции. - Арзамас. Арзамасский филиал ННГУ. – 2018. – С. 96–100.
2. Напалков С.В. О видовом многообразии Web-квестов в образовательном процессе // Культура и образование. – 2014. – № 12 – [Электронный ресурс]. URL: <http://vestnik-rzi.ru/2014/12/2740> (дата обращения: 16.04.2025).
3. Разработка видеоигр / [Электронный ресурс] // Википедия: [сайт]. — URL: [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.22dc1f18-6807d077-19ffe315-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Video\\_game\\_development](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.22dc1f18-6807d077-19ffe315-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Video_game_development) (дата обращения: 22.04.2025).
4. Игровое обучение / [Электронный ресурс] // Википедия: [сайт]. — URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B3%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0> (дата обращения: 22.04.2025).

5. Долгачев В.А., Виштак О.В. Использование игровых приложений в дополнительном образовании. //В сборнике трудов III Международной Научно-практической конференции Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании. – Балаково. – 2021. – С. 237-242.
6. Виштак О.В., Мамедов Р.Р. Компьютерные игры как эффективный инструмент обучения. // В сборнике трудов VII Международной научно-практической конференции Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий. – Балаково. – 2021. – С. 166-172.
7. Виштак Н.М., Лебедева Я.В. Геймификация дополнительного образования. //В сборнике научных трудов Актуальные тренды в современном образовании. – Саратов. – 2022. – С. 129-132.
8. Виштак Н.М., Зеленов А.А. Критерии построения компьютерных обучающих игровых систем. // В сборнике трудов IV Международной научно-практической конференции Проблемы развития регионов в условиях модернизации экономики, общества и образования. – Балаково. – 2018. – С. 43-48.
9. Геймификация / [Электронный ресурс] // Википедия: [сайт]. — URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%B9%D0%BC%D0%B8%D1%84%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86> (дата обращения: 21.04.2025)
10. Geeks for geeks / [Электронный ресурс] // Backend Development: [сайт]. — URL: [https://www.geeksforgeeks.org/backend-development/?\\_ysclid=m9u1chkal7913015631](https://www.geeksforgeeks.org/backend-development/?_ysclid=m9u1chkal7913015631) (дата обращения: 21.04.2025).

## Блокчейн-технологии в управлении данными и образовании

«Управление в технических системах»;

доцент кафедры «Атомная энергетика»

*В данной научной статье представлено исследование, посвященное изучению технологий блокчейн в управлении данными и образовании. Рассмотрены особенности и виды блокчейн-технологий.*

передавать данные в виде последовательности связанных блоков. Каждый блок содержит информацию и ссылку на предыдущий, а вместе они образуют цепочку. Так данные в блокчейне защищены от изменений и фальсификации.

Блокчейн-технологии являются децентрализованными системами хранения данных, которые обеспечивают безопасность, прозрачность и неизменность информации. Основные принципы работы блокчейна:

1) Структура блоков. Блокчейн состоит из последовательности блоков, каждый из которых содержит набор транзакций. Каждый блок включает в себя заголовок, который содержит метаданные, такие как временная метка, хэш предыдущего блока и другие параметры.

2) Децентрализация. Вместо того, чтобы хранить данные на одном сервере, информация распределяется по сети узлов (компьютеров). Каждый узел хранит копию всей цепочки блоков, что делает систему более устойчивой к сбоям и атакам.

3) Консенсусный механизм. Для добавления нового блока в цепочку необходимо согласие большинства узлов сети. Существуют разные механизмы достижения консенсуса, такие как Proof of Work (доказательство работы), Proof of Stake (доказательство доли) и другие. Эти механизмы предотвращают мошенничество и обеспечивают целостность данных.

4) Криптография. Блоки защищены с помощью криптографических методов. Каждое изменение в блоке приводит к изменению его хэша, что делает невозможным подделку данных без изменения всех последующих блоков.

5) Неизменяемость. После добавления блока в цепочку изменить его содержимое практически невозможно. Это обеспечивает высокую степень доверия к данным, хранящимся в блокчейне.

6) Прозрачность. Все участники сети могут видеть транзакции, что способствует повышению прозрачности и ответственности. Однако при этом данные могут быть анонимными или псевдонимными в зависимости от реализации.

7) Смарт-контракты. Некоторые блокчейны, такие как Ethereum, поддерживают смарт-контракты – программируемые контракты, которые автоматически выполняются при выполнении определенных условий. Это расширяет возможности использования блокчейн-технологий за пределы простых транзакций человека от выполнения рутинных и опасных операций.

Различают несколько видов блокчейнов, которые различаются по своей архитектуре, уровню доступа и целям использования. Основные типы блокчейнов:

– Публичные блокчейны. Доступны для любого пользователя, который хочет

участвовать в сети. Все транзакции и данные открыты и могут быть проверены любым человеком.

- Приватные блокчейны. Ограниченный доступ к сети, где только определенные участники могут принимать участие в подтверждении транзакций и управлении данными. Часто используются в корпоративной среде.
- Консорциумные блокчейны. Управляются группой организаций или предприятий, которые совместно контролируют сеть. Это позволяет достигать баланса между прозрачностью и контролем.
- Гибридные блокчейны. Сочетают элементы как публичных, так и приватных блокчейнов. Например, часть данных может быть общедоступной, а другая — закрытой для определенных участников.
- Сетевые блокчейны. Работают параллельно с основным блокчейном и могут взаимодействовать с ним. Они позволяют тестировать новые функции или проводить специфические транзакции без нагрузки на основной блокчейн.

Каждый из этих типов блокчейнов имеет свои преимущества и недостатки, а выбор конкретного типа зависит от целей использования и требований к безопасности и доступности данных.

Блокчейн-технологии действительно становятся важным инструментом в сфере образования, и их применение охватывает множество аспектов, которые могут значительно улучшить как процессы обучения, так и управление образовательными учреждениями. Рассмотрим, как именно блокчейн может решать существующие проблемы и улучшать процессы в образовании:

1) Хранение и верификация учебных записей. Блокчейн обеспечивает создание уникальных, неизменяемых записей о дипломах и сертификатах, которые можно легко проверить. Учебные заведения могут выпускать эти документы на основе технологии блокчейн, что делает их защищенными от фальсификации. Работодатели могут быстро и надежно проверять квалификацию кандидатов, используя специальные инструменты для доступа к блокчейн-реестрам. Также студенты могут создавать свои портфолио на блокчейне, где будут храниться их достижения, курсовые работы и проекты. Это создает надежную платформу для демонстрации навыков и знаний перед работодателями или учебными заведениями.

2) Упрощение процесса регистрации и администрирования. Блокчейн позволяет хранить данные о студентах (оценки, посещаемость, курсы) в децентрализованной и защищенной системе. Это упрощает доступ к информации и снижает вероятность ошибок или мошенничества. Смарт-контракты на базе блокчейна могут

автоматизировать такие процессы, как регистрация на курсы, выдача дипломов и управление стипендиями. Это не только сокращает время обработки запросов, но и снижает затраты на административные операции.

3) Доступ к образовательным ресурсам. Блокчейн может поддерживать децентрализованные образовательные платформы, где преподаватели могут напрямую делиться курсами и материалами со студентами. Это снижает стоимость образования и повышает доступность ресурсов, позволяя большему числу людей получать качественное образование. Учебные заведения могут предлагать микро-курсы, за которые студенты могут платить с помощью токенов. Это создает новые возможности для монетизации образовательного контента и предоставляет студентам доступ к разнообразным знаниям.

4) Повышение прозрачности и доверия. Блокчейн может использоваться для создания прозрачных систем рейтинга учебных заведений и курсов. Отзывы студентов фиксируются на блокчейне, что делает их неподдельными и достоверными. Это повышает доверие к образовательным учреждениям и помогает студентам принимать обоснованные решения.

5) Глобальное сотрудничество и обмен знаниями. Блокчейн облегчает обмен данными между различными учебными заведениями по всему миру, позволяя студентам легко переводить кредиты и получать признание своих достижений в других странах. Использование блокчейна для управления международными программами обмена и стипендиями повышает прозрачность распределения средств и улучшает учет участников.

6) Защита интеллектуальной собственности. Блокчейн позволяет преподавателям фиксировать авторские права на свои учебные материалы, создавая надежный способ контроля за использованием их работ. Это защищает интеллектуальную собственность и обеспечивает справедливое вознаграждение за использование материалов.

Таким образом, блокчейн-технологии предлагают множество решений для повышения эффективности, прозрачности и доступности образования. Несмотря на то, что многие из этих решений находятся на стадии разработки или тестирования, их внедрение может привести к более эффективным образовательным процессам, а также создать новые возможности для студентов и преподавателей по всему миру.

Блокчейн становится важным инструментом для решения многих проблем в образовательной сфере, открывая новые горизонты для будущего обучения.

#### Литература

1. Технологии блокчейн в образовании: сайт /ЛаЛаЛань. – URL:

<https://lala.lanbook.com/tekhnologiya-blokchejn-v-obrazovanii> (дата обращения: 10.04.2025).

2. Обещания и вызовы блокчейна в образовании / Springer Open. – URL: <https://slejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40561-021-00179-2> (дата обращения: 10.04.2025).

3. Связанные одной цепью: как блокчейн защищает данные / Блог Практикума. – URL: <https://practicum.yandex.ru/blog/chto-takoe-blokchain-i-kak-eto-rabotaet/> (дата обращения: 11.04.2025).

УДК 004.4

### **Применение принципов когнитивной психологии при разработке интерфейсов**

Виштак Ольга Васильевна, доктор педагогических наук, профессор кафедры

«Информационные системы и технологии»;

Рыбалко Тимофей Евгеньевич, 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 научной статье рассмотрен интерфейс как базовый компонент информационного ресурса. Проанализированы основные принципы когнитивной психологии, применяемые при проектировании интерфейсов. Рассмотрено применение принципов когнитивной психологии на примере образовательного веб-ресурса*

В современном мире человек ежедневно взаимодействует с компьютерами через пользовательские интерфейсы, поэтому для каждого квалифицированного графического дизайнера крайне важно создавать интуитивно понятные и удобные интерфейсы — это повышает конверсию и лояльность пользователей к информационному ресурсу [1, 6]. Для достижения этой цели существует множество методов, однако в данной статье рассматривается применение принципов когнитивной психологии при разработке пользовательского интерфейса.

Прежде всего необходимо определить, что понимается под термином «пользовательский интерфейс». Согласно стандарту ISO/IEC/IEEE 24765:2017, пользовательский интерфейс (UI, от англ. user interface) представляет собой систему взаимодействия, обеспечивающую обмен информацией между пользователем и программно-аппаратными компонентами компьютерной системы [2].

Существует несколько основных типов пользовательских интерфейсов: текстовый пользовательский интерфейс (ТПИ), графический пользовательский

интерфейс (ГПИ), сенсорный интерфейс, жестовый интерфейс, голосовой интерфейс, нейроинтерфейс. В рамках данного исследования рассматривается исключительно ГПИ. Соответственно, все анализируемые принципы когнитивной психологии применимы только к этим типам интерфейсов и не могут быть распространены на другие виды, либо могут быть распространены частично (например, на ТПИ).

При разработке пользовательского интерфейса крайне важно понимать, как пользователь воспринимает, анализирует, запоминает и взаимодействует с поступающей информацией [3, 4, 5, 6]. В решении этой задачи дизайнеру могут помочь принципы когнитивной психологии — относительно нового раздела психологии, который изучает познавательные процессы (восприятие, внимание, память), процессы обучения, вербальную и невербальную коммуникацию, мышление и воображение, а также эмоциональные и мотивационные аспекты деятельности [7, 8, 9, 13].

Существует множество приёмов, разработанных с применением знаний когнитивной психологии. В данной статье рассматриваются наиболее значимые и интересные из них:

1) Снижение когнитивной нагрузки. Когнитивная нагрузка представляет собой объем информации, который рабочая память способна обрабатывать одновременно. Согласно закону Миллера, емкость кратковременной памяти человека в среднем составляет  $7 \pm 2$  элемента. Следовательно, для эффективного взаимодействия необходимо минимизировать нагрузку на пользователя за счет сокращения количества элементов интерфейса и уменьшения их детализации. Однако, применение данного приёма не должно идти во вред информативности и понятности.

2) Использование гештальт-принципов организации восприятия. Поскольку когнитивная психология развилась из гештальтпсихологии, многие её принципы сохраняют актуальность при проектировании интерфейсов. Наиболее значимыми для разработки пользовательских интерфейсов являются следующие принципы восприятия:

- Принцип близости: элементы, расположенные близко в пространстве или времени, воспринимаются как связанные и объединённые в группы;
- Принцип схожести: визуально похожие элементы (по форме, цвету, размеру) автоматически группируются в сознании пользователя;
- Принцип замкнутости: человеческое восприятие стремится к завершённости, автоматически «дистраивая» недостающие элементы и заполняя пробелы.

Хотя существует множество других принципов восприятия, в данном исследовании рассматриваются только те, которые имеют практическое применение в проектировании пользовательских интерфейсов.

3) Закон Хика. Закон Хика (известный также как закон Хика-Хаймана) устанавливает, что время принятия решения возрастает логарифмически при увеличении количества доступных вариантов выбора. Следовательно, при проектировании пользовательских интерфейсов необходимо минимизировать количество вариантов выбора и группировать опции в логические категории, применяя принципы гештальтпсихологии, разобранные в прошлом пункте.

4) Эффект края. Эффект края (или серийный эффект позиции, англ. Serial position effect) — психологический феномен, демонстрирующий, что элементы, расположенные в начале (эффект первенства) и конце (эффект новизны) последовательности воспринимаются и запоминаются лучше, чем элементы в середине ряда. При проектировании пользовательских интерфейсов этот психологический принцип находит важное практическое применение. Разработчикам следует учитывать, что наиболее значимую информацию или ключевые элементы управления целесообразно размещать либо в начале, либо в конце списков, форм или других последовательностей элементов интерфейса.

5) Эффект фон Ресторффа. Эффект фон Ресторффа (или эффект изоляции) — психологический феномен, согласно которому объект, отличающийся от остальных в группе (формой, цветом, размером или другим визуальным признаком), запоминается значительно лучше, чем однородные элементы. Этот принцип имеет прямое применение в дизайне интерфейсов: если необходимо привлечь внимание пользователя к конкретному элементу (кнопке, предупреждению, важной информации), его следует визуально выделить на фоне остальных. Таким образом, эффект фон Ресторффа позволяет управлять вниманием пользователя.

6) Эффект эстетики и юзабилити. Эффект эстетики и юзабилити (англ. Aesthetic-Usability Effect) представляет собой психологический феномен, при котором пользователи склонны воспринимать визуально привлекательные интерфейсы как более удобные и функциональные, даже если их объективная эффективность не отличается от менее эстетичных аналогов. Этот парадоксальный эффект был неоднократно подтвержден в UX-исследованиях, но при этом важно понимать, что данный эффект не отменяет необходимости качественной UX-проработки, а лишь подчеркивает важность баланса между формой и функцией в дизайне интерфейсов.

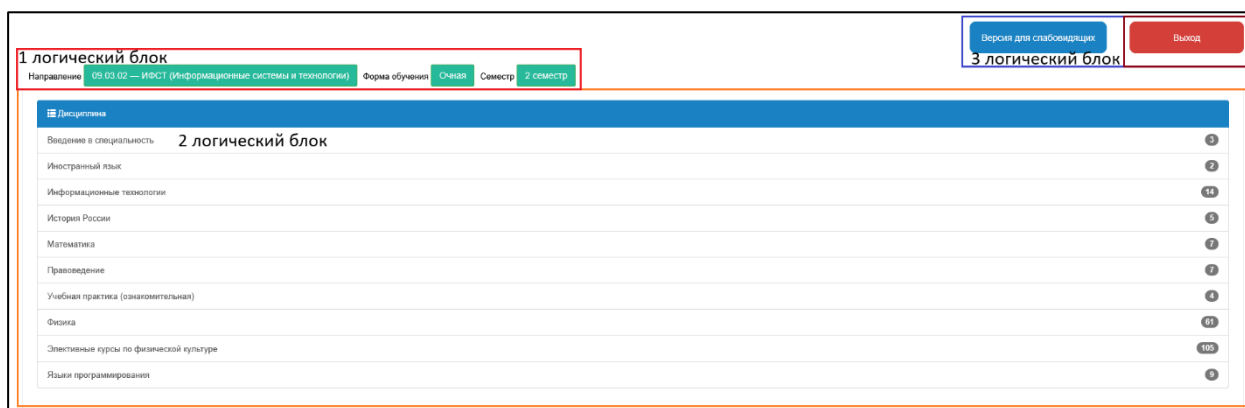
Приведенные выше принципы когнитивной психологии были отобраны для данного исследования по ключевому критерию — частоте и распространенности их применения в практике проектирования пользовательских интерфейсов. Соответственно, эти принципы составляют основу большинства современных UX-

методик и регулярно используются профессионалами отрасли. Остальные принципы когнитивной психологии используются реже или крайне специфичны.

Для анализа соблюдения рассмотренных принципов когнитивной психологии был выбран образовательный веб-ресурс — информационно-образовательная среда Балаковского инженерно-технологического института Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (БИТИ НИЯУ МИФИ), доступная по адресу: <https://ios.bitl.mephi.ru>.

Применение принципов когнитивной психологии приобретает особую значимость при разработке образовательных платформ, поскольку такие ресурсы должны соответствовать следующим ключевым требованиям [6, 10, 11, 12]:

- Обеспечение интуитивной понятности интерфейса;
- Максимальная информативность;
- Удобство навигации для всех категорий пользователей (как студентов, так и преподавательского состава).



*Рис. 1. Пользовательский интерфейс ИОС БИТИ НИЯУ МИФИ с выделенными логическими блоками*

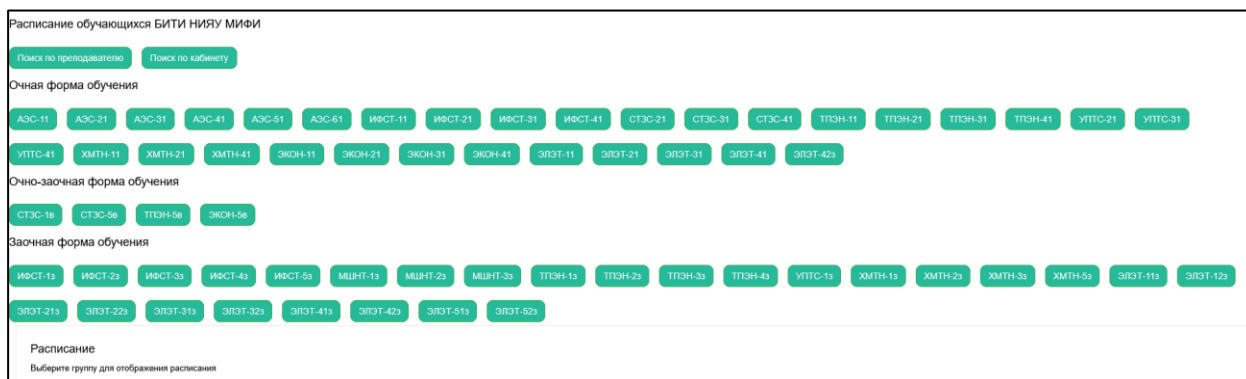
Примеры корректного применения принципов когнитивной психологии в пользовательском интерфейсе ИОС БИТИ НИЯУ МИФИ:

1) Применение гештальт-принципов (рис. 1). Наблюдается эффективное группирование информации посредством визуального разделения логических блоков (рамки), пространственной близости связанных элементов и цветового разделения. Данное решение соответствует базовым принципам гештальтпсихологии (близость, сходство, замкнутость).

2) Применение эффекта фон Ресторффа (рис. 1). Кнопка «Выход» сознательно выделена посредством контрастного красного цвета текста и пространственной обособленности от остальных элементов. Это обеспечивает её мгновенное визуальное обнаружение, что соответствует принципу изоляции.

3) Реализация эффекта эстетика и юзабилити. Интерфейс характеризуется

минималистичным дизайном, сбалансированной цветовой гаммой (приглушенные тона), отсутствием когнитивной перегрузки и оптимальными параметрами (размер шрифта, межстрочные интервалы, отступы между блоками и т. д.). Указанные характеристики создают положительное впечатление у пользователя, усиливая положительное восприятие удобства использования, что соответствует принципу эстетики и юзабилити.



*Рис. 2. Пользовательский интерфейс страницы с расписанием ИОС БИТИ НИЯУ МИФИ*

Однако, существует один существенный недостаток пользовательского интерфейса ИОС с точки зрения когнитивной психологии, которая находится на странице расписания (рис. 2). Основной проблемой интерфейса модуля расписания является отсутствие четкого визуального разделения между академическими группами. Сплошной массив данных без логических разделителей существенно увеличивает время поиска нужной информации, что прямо противоречит закону Хика.

Оптимальным решением стало бы визуальное обособление каждой учебной группы с помощью:

- контрастных разделителей или фоновых подложек;
- цветового разделения групп;
- чётких пространственных интервалов между различными группами (например, между группами разных направлений подготовки).

Такие изменения не только сократили бы время поиска информации, но и снизили бы когнитивную нагрузку на пользователей, что особенно важно в информационной образовательной среде.

В заключение следует подчеркнуть, что принципы когнитивной психологии играют фундаментальную роль в создании эффективных пользовательских интерфейсов, особенно когда речь идет об образовательных платформах. Грамотное применение этих принципов позволяет значительно улучшить взаимодействие пользователя с системой, снижая когнитивную нагрузку и ускоряя процесс поиска

необходимой информации.

Для образовательных ресурсов это имеет особое значение, поскольку качество интерфейса напрямую влияет на учебный процесс. Удобная и продуманная система навигации не только экономит время студентов и преподавателей, но и создает положительное впечатление от работы с платформой, что в конечном итоге может повлиять на мотивацию к обучению. Когда информация легко находится и воспринимается, сам процесс обучения становится более комфортным и продуктивным.

#### Литература

1. Hicks Law: Why Does It Matter In UX? — Текст: электронный // Octet Design Journal: [сайт]. — URL: <https://octet.design/journal/hicks-law/> (дата обращения: 28.04.2025).
2. ISO/IEC/IEEE 24765:2017 Systems and software engineering — Vocabulary. — Текст: электронный // Michigan State University: [сайт]. — URL: <https://www.cse.msu.edu/~cse435/Handouts/Standards/IEEE24765.pdf> (дата обращения: 28.04.2025).
3. The Psychology of Design. — Текст: электронный // Growth.Design: [сайт]. — URL: <https://growth.design/psychology> (дата обращения: 28.04.2025).
4. Aesthetic-usability effect. — Текст: электронный // Wikipedia: [сайт]. — URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Aesthetic-usability\\_effect](https://en.wikipedia.org/wiki/Aesthetic-usability_effect) (дата обращения: 28.04.2025).
5. Интерфейс пользователя. — Текст: электронный // Википедия: [сайт]. — URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Интерфейс\\_пользователя](https://ru.wikipedia.org/wiki/Интерфейс_пользователя) (дата обращения: 28.04.2025).
6. Виштак О.В., Петченко В.П. интерфейс пользователя информационной обучающей системы. //В сборнике трудов IV Международной научно-практической конференции: Проблемы развития регионов в условиях модернизации экономики, общества и образования. - 2018. - С. 51-54.
7. Виштак Н.М. Возможности визуализации в представлении учебной информации / Н.М. Виштак, Ю.А. Кох // Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Проблемы развития предприятий энергетической отрасли в условиях модернизации российской экономики и общества». - 2017. - С. 64-69.
8. Виштак Н.М. Применение мультимедийных средств обучения в вузовской практике реализации программ дополнительного образования. - Научно-методический электронный журнал Концепт. - 2014. - № Т20.- С. 4826-4830.
9. Виштак Н.М. Мультимедийный лекционный комплекс информационной поддержки процесса изучения информатики. - Педагогическая информатика. - 2007. -

№ 4. - С. 84-87.

10. Гештальтпсихология: основные идеи, принципы, законы. — Текст: электронный // Studfile: [сайт]. — URL: <https://studfile.net/preview/10604264/page:58/> (дата обращения: 28.04.2025).

11. The Serial Position Effect: Psychology And Examples. — Текст: электронный // Octet Design Journal: [сайт]. — URL: <https://octet.design/journal/serial-position-effect/> (дата обращения: 28.04.2025).

12. The Von Restorff Effect (Definition + Examples) — Текст: электронный // Practical Psychology: [сайт]. — URL: <https://practicalpie.com/von-restorff-effect/> (дата обращения: 28.04.2025).

13. Когнитивная перегрузка. — Текст: электронный // Википедия: [сайт]. — URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Когнитивная\\_перегрузка](https://ru.wikipedia.org/wiki/Когнитивная_перегрузка) (дата обращения: 28.04.2025).

УДК 372.8

### **Применение игровых технологий при обучении робототехнике**

Штыров Геннадий Сергеевич, педагог дополнительного образования

МАОУ ООШ с. Быков Отрог Балаковского района Саратовской области

*В статье рассматриваются возможности игровых технологий в обучении школьников робототехнике. Исследуются методы геймификации, использование симуляторов и соревновательных форматов для повышения мотивации и эффективности усвоения знаний.*

В настоящее время робототехника является одной из передовых областей науки и техники. Обучение робототехнике в школе позволяет не только познакомить учащихся с современными технологиями программирования и конструирования, но и сформировать у них критическое и творческое мышление. Однако, существует ряд проблем, которые снижают эффективность преподавания курса робототехники в общем образовании [1]. В первую очередь, это сложность освоения школьниками программирования и конструирования, так как необходимы знания по многим предметам – математика, физика и т.д. Кроме того, создание робота зачастую является длительным рутинным процессом, от которого школьники быстро устают. Поэтому традиционные методы обучения не всегда способны в полной мере раскрыть потенциал обучающихся и заинтересовать их робототехникой. Применение игровых технологий может значительно повысить вовлеченности обучающихся и эффективность обучения робототехнике.

Игровые технологии в образовании – это интеграция элементов игры, таких как

соревнования, достижения, вознаграждения, сюжетные линии и интерактивные сценарии, в образовательную среду для повышения мотивации обучающихся.

Использование игровых технологий в обучении робототехнике предоставляет множество преимуществ [2, 3]:

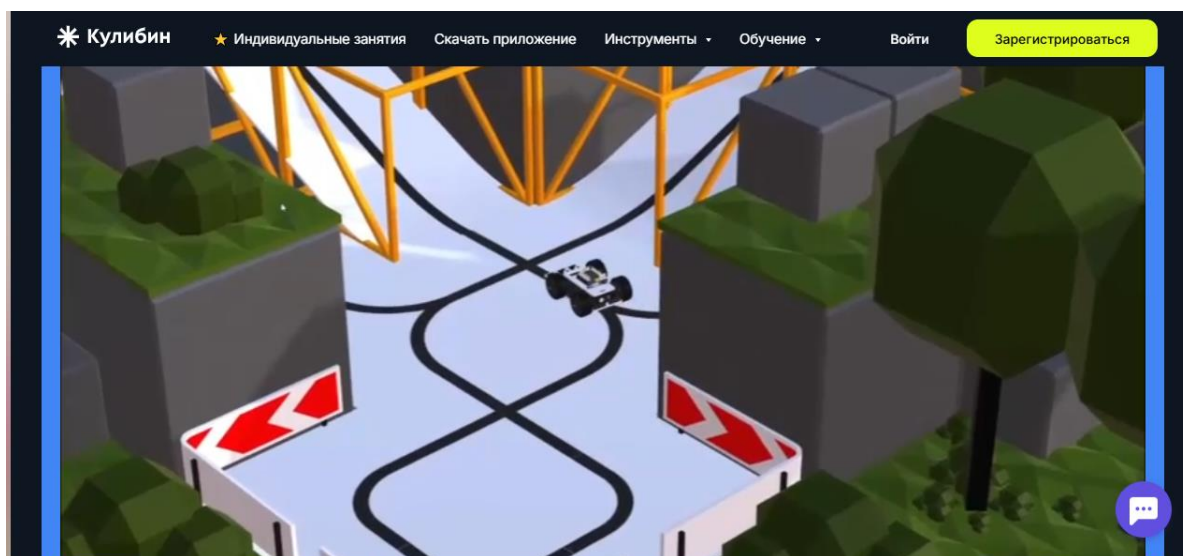
- Повышение мотивации и вовлеченности обучающихся: Игры естественным образом привлекают внимание и вызывают интерес. Соревновательный элемент, возможность получать награды и достигать цели стимулируют учащихся к активному участию в процессе обучения.
- Развитие критического мышления и навыков решения проблем: Многие игры требуют от участников стратегического мышления, анализа ситуаций и поиска решений. Это особенно важно в робототехнике, где требуется разрабатывать алгоритмы, оптимизировать конструкции и находить решения для сложных технических задач.
- Улучшение понимания сложных концепций: Игры позволяют представить сложные концепции робототехники в более доступной и наглядной форме. Интерактивные симуляции и виртуальные эксперименты позволяют учащимся на практике увидеть, как работают различные компоненты и системы роботов.
- Развитие командной работы и коммуникации: Игровые технологии могут быть использованы для создания командных соревнований и задач, которые требуют от участников сотрудничества, обмена идеями и эффективной коммуникации.
- Обучение на ошибках без страха: В игровой среде ошибки воспринимаются как часть процесса обучения. Учащиеся могут экспериментировать, ошибаться и учиться на своих ошибках, не боясь негативных последствий.
- Персонализированное обучение: Игровые технологии позволяют адаптировать сложность задач и темп обучения под индивидуальные потребности каждого учащегося.
- Подготовка к реальным задачам: Многие игровые симуляции позволяют создавать реалистичные сценарии, имитирующие реальные задачи, с которыми сталкиваются инженеры-робототехники.

Примером применения игровых технологий в обучении робототехнике является использование образовательных робототехнических наборов с игровыми элементами. Многие производители предлагают наборы, которые позволяют собирать и программировать роботов для выполнения различных заданий в игровой форме. Например, роботы могут участвовать в гонках, преодолевать препятствия, выполнять различные манипуляции с предметами и так далее.

На основе использования таких наборов может быть разработана учебная игра – определенный вид деятельности способной воссоздавать другие виды деятельности, целью которых в учебном процессе является имитационное моделирование реально протекающих процессов. Учебные игры отличаются четко поставленной целью, педагогический сценарий проведения игры, наличие системы оценивания результатов и деятельности участников игры [4].

Кроме того, существуют различные платформы, которые позволяют создавать собственные игры для обучения программированию роботов. Эти игры могут включать различные уровни сложности, задания на логику и пространственное мышление [5, 6].

Также возможно использование симуляторов робототехники. Симуляторы позволяют моделировать работу роботов в виртуальной среде. Учащиеся могут экспериментировать с различными настройками и алгоритмами, не рискуя повредить реальное оборудование. Так, например, цифровая образовательная среда «Кулибин», внесенная в Единый реестр российских программ, позволяет обучаться алгоритмам управления роботом и предоставляет трехмерные цифровые окружения, где учащиеся могут моделировать различные системы и тестировать их в виртуальной среде [7] (рис. 1).



*Рис. 1. Цифровая образовательная среда «Кулибин»*

Популярным способом внедрения игровых технологий является организация соревнований по робототехнике в формате игр: участники должны разработать и запрограммировать роботов для выполнения определенных задач, соревнуясь с другими командами. Основные виды соревнований по робототехнике:

- Игровые турниры (футбол роботов, гонки);
- Творческие конкурсы (проектирование роботов для решения социальных задач);
- Хакатоны – командные соревнования по быстрой разработке.

В традиционных курсах робототехники могут быть добавлены элементы игры:

система баллов и рейтингов за выполнение заданий; разблокирование новых уровней сложности по мере освоения материала; использовании виртуальных наград (таблицы лидеров, значки, сертификаты). Так, например, в образовательной среде «Кулибин» учащиеся могут проходить задания, зарабатывать баллы и открывать новые уровни, что способствует развитию навыков программирования и решению задач.

Современный учебный процесс, в том числе и обучение робототехнике, все активнее использует технологию веб-квестов, которая способствует развитию критического и творческого мышления, а также навыков анализа, сравнения и абстрактного мышления. Поскольку задания в веб-квестах воспринимаются учащимися как практически значимые, это повышает их мотивацию и интерес к предмету [8]. Онлайн-формат веб-квестов дает возможность обучаться в удобное время и в любом месте при наличии компьютера и доступа в Интернет. Еще одним преимуществом этой технологии является возможность группового выполнения заданий, что способствует развитию коммуникативных навыков у учащихся.

Таким образом, игры повышают мотивацию, вовлеченность и помогают лучше понять сложные концепции. Интеграция игровых элементов в учебный процесс стимулирует развитие критического мышления, навыков решения проблем, командной работы и коммуникации, способности самостоятельно приобретать знания и умело использовать их в практической деятельности, что благоприятно сказывается на качестве получаемых знаний.

#### Литература

1. Якушева, Т. Г. Использование игровых технологий на занятиях по робототехнике / Т. Г. Якушева, Т. И. Барина // Интеграция науки, технологии и образования: ИНТО-2021: Материалы VI межрегиональной конференции молодых исследователей с международным участием, Москва, 14 апреля 2021 года. – Москва: Московский педагогический государственный университет, 2021. – С. 64-69.
2. Виштак, Н.М. Геймификация дополнительного образования. / Н.М. Виштак, Я.В. Лебедева //Актуальные тренды в современном образовании: сборник трудов научных трудов. – Саратов. 2022. – С. 129-132.
3. Панина, О. И. Особенности использования игровых технологий при обучении информатике / О.И. Панина, И. А. Штырова // Формирование профессиональной направленности личности специалистов - путь к инновационному развития России. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – 2019. – С. 157-161.
4. Виштак Н.М. Геймификация как средство формирования цифровых компетенций студентов / Н.М. Виштак, А.В. Карпова // Вестник Сибирского института бизнеса и

информационных технологий. 2023. –Т. 12. № 2. – С. 32-37.

5. Долгачев В.А. Использование игровых приложений в дополнительном образовании. / В.А. Долгачев, О.В. Виштак // Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании: сборник трудов III Международной научно-практической конференции. – Балаково, 2021. – С. 237-242

6. Виштак, О.В. Компьютерные игры как эффективный инструмент обучения. / О.В. Виштак, Р.Р. Мамедов // Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий: сборник трудов VII Международной научно-практической конференции. – Балаково. 2021. – С. 166-172.

7. Образовательная среда для обучения программированию и робототехнике «Кулибин»: сайт – URL: <https://kulibin.app/>

8. Жуматий, Е.В. Веб-квест как педагогическая технология в дополнительном образовании школьников / Е.В. Жуматий, Г.В. Очкур // Web-технологии в образовании: традиции, инновации, опыт. Сборник статей участников X Международной научно-практической конференции. – Арзамас, 2024. – С. 146-149.

УДК 371.31

### **Реализация функциональных возможностей web-приложения для синтеза речи**

Штырова Ирина Анатольевна, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Информационные системы и технологии»;  
Забродин Максим Дмитриевич, студент направления  
«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 реализация основных компонентов и функций web-приложения для синтеза речи. Приведено описание работы алгоритмов системы и рассмотрены внедренные службы и модули способствующие работоспособности системы.*

Веб-приложение для синтеза речи представляет собой сложную систему, разделённую на клиентскую и серверную части. Клиентская сторона отвечает за взаимодействие с пользователем, предоставляя интуитивно понятный интерфейс для ввода текста и управления процессом синтеза. Она обеспечивает визуализацию результатов и обработку действий пользователя, отправляя запросы на сервер [6].

Серверная часть приложения выполняет основную вычислительную работу,

включая обработку текста, генерацию аудио и управление моделями синтеза речи. Она принимает запросы от клиента, обрабатывает их с использованием специализированных алгоритмов и возвращает готовый аудиофайл или потоковое аудио. Такое разделение позволяет оптимизировать нагрузку и обеспечивает стабильную работу системы.

Разделение на клиентскую и серверную части не только повышает безопасность, но и обеспечивает контроль над критически важными процессами. Все алгоритмы синтеза речи, ключевые вычисления и конфиденциальные данные остаются на сервере, что исключает возможность их несанкционированного доступа или модификации со стороны пользователя. Это особенно важно в коммерческих и корпоративных решениях, где требуется защита интеллектуальной собственности и личных данных.

В свою очередь это несет за собой дополнительные трудности для разработки, так как обе части приходится разрабатывать отдельно друг от друга, используя разный инструментарий. Так для разработки клиентской части была выбрана JavaScript библиотека – React с дополнением в виде препроцессора – TailwindCSS и других сторонних модулей. Для разработки серверной части была выбрана платформа Node.js и база данных PostgreSQL. Ключевые особенности выбора данных инструментов описаны в предыдущей главе.

Остановившись на разработке клиента приложения необходимо отметить, что данная часть так же разбита на составные компоненты, такие как:

- 1) Компонент входа;
- 2) Компонент чата;
- 3) Компонент профиля.

Каждый компонент имеет свою реализацию, отличную в рядах моментов от других компонентов.

Первым компонентом клиентской части приложения является компонент входа. Данный компонент содержит в себе форму с рядом текстовых полей и кнопок предназначенных для реализации различных функций. Основные функции данной формы – вход, регистрация и сброс пароля.

Функция «Вход» получает логин и пароль пользователя из состояния, которые связаны с формой, далее передает её на серверную часть, где данные обрабатываются и сравниваются с базой данных. После этого сервер возвращает ответ на клиентскую часть, где он обрабатывается и либо пользователь успешно входит в систему, либо ему выводится ошибка в виде уведомления в форме, благодаря чему он может приступить к дальнейшим действиям.

Функция «Регистрация» состоит из двух этапов. Первый этап заключается в отправке запроса на код на почту пользователя, которую он ввел в форму. Этот запрос обрабатывается на серверной части, в рамках которой происходит создание кода и отправка письма на почту. Этот процесс происходит благодаря модулю Nodemailer существующему для отправки электронных писем [1]. Само письмо также усложнено структурно и представляет собой форму, реализованную с помощью верстки HTML. Сам код резервируется в коллекции Мар и существует некоторое время, после которого удаляется [2]. Каждая новая отправка кода по одной и той же электронной почте заменяет предыдущий код и задает новое время существования. После отправки кода, сервер возвращает ответ клиенту об успешности или ошибке процесса. Далее пользователю необходимо ввести полученный по почте код в систему, после чего он снова отправляется на сервер, где проверяется и если все данные совпали, создается учетная запись пользователя, которая записывается в базу данных. Далее пользователь может войти в систему под своими данными с помощью функции «Вход».

Функция «Сброс пароля» задействует аналогичные механизмы верификации через e-mail. При запросе сброса система проверяет наличие учётной записи с указанным e-mail, генерирует новый пароль и отправляет его пользователю, одновременно обновляя данные в базе. Это обеспечивает безопасное восстановление доступа без необходимости хранения паролей в открытом виде.

Компонент «Чат» реализует интерактивное взаимодействие с пользователем через систему обмена сообщениями. Когда пользователь вводит текст и отправляет его, запрос передаётся на сервер для обработки. Серверная часть использует API синтеза речи для преобразования текста в аудио, после чего генерирует файл в формате .OGG и сохраняет его в файловой системе.

После успешного создания аудиофайла система формирует уникальную ссылку на него и записывает её в базу данных. Эта ссылка отправляется обратно клиенту в качестве ответа, что приводит к отображению в чате нового сообщения. Ответ выводится в виде встроенного аудиоплеера, позволяющего пользователю прослушать синтезированную речь.

Такой подход обеспечивает удобное взаимодействие, сохраняя историю сообщений и позволяя повторно воспроизводить аудиоответы. Вся цепочка — от отправки текста до получения звукового файла — выполняется автоматически, обеспечивая пользователю плавный и интуитивно понятный опыт общения с системой.

Процесс с обработкой пользовательских файлов обстоит разительно сложнее. Процесс загрузки и обработки текстового документа начинается с клиентской части, где

пользователь выбирает файл через интерфейс. Система сразу проверяет его тип и размер. Если проверки пройдены, файл и настройки преобразования текста в речь упаковываются в FormData и отправляются на сервер с авторизационными куками.

На сервере файл сначала проходит повторную валидацию, который сохраняет его во временную папку. После извлечения данных система проверяет авторизацию пользователя через сессию. Далее содержимое файла извлекается в текстовый формат, а временный файл удаляется. Текст передается в API, который генерирует аудиофайл с заданными параметрами.

Результат сохраняется в базу данных и отправляется обратно клиенту, где добавляется в историю чата как сообщение от бота. На всех этапах ошибки обрабатываются: пользователь получает уведомления, а сервер логирует детали для диагностики. Временные файлы гарантированно удаляются, даже если процесс прерывается ошибкой, что обеспечивает безопасность и экономию дискового пространства.

Также обработку запросов можно настраивать с помощью выпадающего бокового меню. Можно изменить голос озвучки с помощью списка с выбором и настроить скорость чтения с помощью ползунка. Помимо настроек в боковом меню располагается навигация по компонентам сайта. Здесь можно перейти в профиль или обратно в чат.

Хеддер экрана остается неизменным, каким-бы компонентом в данный момент не пользовался пользователь. Помимо кнопки отвечающей за выпадающее меню, здесь также расположена кнопка отвечающая за смену темы с светлой на темную.

Компонент «Профиль» состоит из двух основных разделов, каждый из которых выполняет важную функцию в управлении учетной записью пользователя. Первый раздел содержит ключевую информацию об учетной записи, включая имя пользователя, уникальный идентификационный номер и привязанную электронную почту. Эти данные автоматически подгружаются с сервера при открытии страницы, используя информацию из текущей пользовательской сессии, которая хранится в браузерных куках. Рядом с данными размещена кнопка выхода из системы, которая завершает текущую сессию и перенаправляет пользователя на страницу авторизации, обеспечивая безопасное завершение работы с аккаунтом.

Второй раздел представляет собой форму для смены пароля, которая включает три обязательных поля для ввода: текущий пароль, новый пароль и подтверждение нового пароля. Особенностью этой формы является строгая валидация вводимых данных, которая проверяет соответствие нового пароля требованиям безопасности

системы. Пароль должен содержать не менее восьми символов, включать заглавные и строчные буквы, а также цифры или специальные символы. Если пользователь вводит данные, не соответствующие этим требованиям, система блокирует отправку формы и выводит соответствующее сообщение об ошибке.

При успешной смене пароля система выполняет дополнительные меры безопасности, автоматически завершая все активные сессии пользователя. Это означает, что после смены пароля пользователь будет осуществлен автоматический выход со всех устройств и ему потребуется повторно авторизоваться с новыми учетными данными. Такая мера предосторожности исключает возможность несанкционированного доступа к аккаунту, даже если злоумышленник успел получить доступ к старому паролю. Весь процесс изменения пароля происходит через защищенное соединение, что гарантирует конфиденциальность передаваемых данных.

Серверная часть приложения построена на платформе Node.js с использованием фреймворка Express, обеспечивающего базовую функциональность веб-сервера [3]. Для хранения данных применяется реляционная база данных PostgreSQL, где организовано структурированное хранение информации о пользователях, истории сообщений и результатах обработки запросов. Взаимодействие с базой данных осуществляется через библиотеку pg, которая предоставляет удобный интерфейс для выполнения SQL-запросов и обработки результатов.

Аутентификация пользователей реализована с использованием механизма сессий, где данные о текущих сеансах работы хранятся непосредственно в базе данных через адаптер connect-pg-simple [4]. Каждая сессия защищается уникальным идентификатором и имеет ограниченный срок действия, что повышает безопасность системы. Пароли пользователей хранятся в зашифрованном виде с применением алгоритма bcrypt, который использует генерируемую «соль» для дополнительной защиты от подбора [5].

Для обработки загружаемых документов различных форматов сервер использует специализированные библиотеки. Текстовые файлы обрабатываются стандартными средствами Node.js, DOCX-документы – библиотекой mammoth, а PDF-файлы - модулем pdfjs-dist. Это позволяет извлекать текстовое содержимое из документов любого поддерживаемого формата для последующей обработки.

Интеграция с сервисом синтеза речи Yandex SpeechKit реализована через HTTP-запросы с использованием библиотеки axios. Сервер формирует запрос с указанными параметрами (голос, эмоция, скорость), получает аудиопоток в ответ и сохраняет его на диск в виде звукового файла. Полученные аудиофайлы регистрируются в базе данных и

становятся доступными для пользователя через веб-интерфейс.

Система восстановления пароля включает генерацию временного кода, его сохранение в зашифрованном виде в базе данных и отправку пользователю по электронной почте. Для работы с электронной почтой используется модуль nodemailer, который поддерживает отправку писем с HTML-разметкой через SMTP-сервер. Шаблоны писем хранятся в отдельных файлах и могут быть легко изменены без модификации основного кода [1].

Особое внимание уделено безопасности и надежности работы сервера. Реализована защита от различных типов атак, включая HTTP Parameter Pollution через модуль hpp. Система автоматически удаляет временные файлы после их обработки и регулярно очищает базу данных от устаревших сообщений с помощью планировщика задач node-cron. Все действия сервера логируются с использованием библиотеки winston, что позволяет отслеживать работу системы и оперативно выявлять возможные проблемы.

#### Литература

1. Отправляем магические ссылки с помощью Node.js — Текст: электронный // Хабр: [сайт]. — 2020. — URL: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/507148/> (дата обращения: 06.01.2025).
2. Map и Set — Текст: электронный // Современный учебник JavaScript: [сайт]. — 2024. — URL: <https://learn.javascript.ru/map-set> (дата обращения: 06.01.2025).
3. Express — Текст: электронный // Node.js: [сайт]. — 2024. — URL: <https://nodejsdev.ru/guides/webdraftt/express/> (дата обращения: 07.01.2025).
4. Внутренности PostgreSQL: сетевой протокол. — Текст: электронный // Записки программиста: [сайт]. — 2024. — URL: <https://eax.me/postgresql-protocol/> (дата обращения: 07.01.2025).
5. Методы хэширования паролей. Долгий путь после bcrypt. — Текст: электронный // Хабр: [сайт]. — 2023. — URL: <https://habr.com/ru/companies/globalsign/articles/764492/> (дата обращения: 07.01.2025).
6. Забродин М.Д., Виштак Н.М. Синтез речи: методы, подходы и современные тенденции. // Информационно-ресурсное обеспечение образовательного процесса в средней и высшей школе: проблемы и перспективы: Сборник научных трудов. — Саратов: Саратовский источник. - 2025. — С.155-158.

### СЕКЦИЯ 3

#### «ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

УДК 621.311.22/25: 621.384: 658

##### **Инновационные методы строительства Балаковской АЭС и особенности возведения фундаментной плиты РО на слабых водонасыщенных грунтах**

<sup>1</sup>Землянский Анатолий Андреевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство»;

<sup>2</sup>Землянский Константин Анатольевич, ведущий инженер цеха ТАИ;

<sup>1</sup>Дробахин Николай Александрович, студент направления «Строительство»

<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>Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Балаковская атомная станция»

*В работе представлены инновационные методы строительства Балаковской АЭС и особенности возведения фундаментной плиты реакторного отделения всех энергоблоков на слабых, водонасыщенных и региональных грунтах. Представлены варианты выбора и технико-экономического обоснования базовой площадки для строительства рассматриваемой АЭС, а также новые принципы организации строительства всех энергоблоков. Особое внимание уделено модернизации козлового крана и разработке принципиально новых методов устройства нулевого цикла и фундаментов нового поколения с активным преднапряжением системы кольцевого армирования слабого грунта позволяющего на порядок снизить ожидаемые осадки возводимых энергетических объектов, что в целом повышает общую эксплуатационную надежность технически сложных и уникальных объектов.*

Начиная с XVIII века, после того как итальянский ученый А. Вольт в 1799 г. изобрел первый источник электрической энергии, во всем мире считается, что уровень цивилизации любого государства и степень приближения последнего к статусу «Супердержавы» напрямую зависит от количества кВт/час электроэнергии, приходящейся на одного жителя страны. Учитывая отмеченное и привлекая маленькую историческую хронику, следует отметить, что в 1957 году в городе Балаково началось грандиозное строительство Саратовской ГЭС суммарной мощностью всех энергоблоков 1200 МВт. В это время в городе насчитывалось всего около 20 тыс. жителей (и в это время необходимо было продолжение развития в стране плана ГОЭЛРО).

Стране катастрофически не хватало инженерных кадров, именно тогда в городе

Балаково был открыт вечерний филиал Саратовского автодорожного института, и началась активная подготовка инженеров: строителей, механиков, химиков и энергетиков. Наши студенты после 3 курса переводились для завершения учебы и защиты дипломных проектов в г. Саратов, где они всегда показывали только отличные знания по всем изучаемым предметам.

Строительство ГЭС велось инновационно-блочным методом с использованием так называемых объемно-монтажных фрагментов (ОМФ) весом более 100-160 тонн с несъемной опалубкой из армоцементных плит толщиной от 10 до 15 см, внутри которых размещался арматурный блок, который в процесс укрупнения и монтажа в проектное положение на сварке сопрягался с уже смонтированными блоками в пределах всего рабочего пояса и только после этого заполнялся бетоном.

Строительство Саратовской ГЭС было завершено в 1968 году с затоплением водохранилища и первым физическим и энергетическим пуском всего оборудования на 23 энергоблоках с синхронизацией подачи электроэнергии в единую энергосистему.

Учитывая огромный опыт строительного управления (СУ) «Саратовгэсстрой», накопленный в ходе строительства Саратовской ГЭС, наличие созданной и эффективно работающей базы стройиндустрии (3 завода железобетонных конструкций, ТЭЦ-4, комбинат специальных строительных конструкций, ремонтно-электромеханический завод, учебный комбинат и т.д.), а также нехватку электроэнергии для работы предприятий (заводов резинотехнических изделий, химического волокна, минеральных удобрений, самоходных строительных машин), было принято решение о строительстве в городе Балаково атомной электростанции. Уже в августе 1977 года проектный институт УралТЭП приступил к проектированию и разработке рабочих чертежей для подготовительного этапа строительства Балаковской АЭС (Распоряжение Минэнерго СССР от 1 августа 1977 г. № Ф-9520).

В проектных документах института УралТЭП наша АЭС именовалась сначала – Приволжская АЭС, затем Саратовская АЭС и только после окончательного выбора стройплощадки в районе села Натальино стала называться Балаковской АЭС.

Начиная с 1975 года, изыскательские работы по данной АЭС велись одновременно в Чувашской АССР, в Куйбышевской области, и в Ульяновской области.

Но к концу 1976 года с легкой руки Максакова А. И., энергичного и заслуженного руководителя СУ «Саратовгэсстрой», приоритет в выборе площадки сместился в Саратовскую область. При этом в ходе изыскательских работ рассматривались три площадки строительства АЭС: около села Натальино, в районе села Николаевки и у села Малого Перекопного. При строительстве у села Николаевки

необходимо было тянуть 35 километровую железнодорожную ветку, а при строительстве у села Малого Перекопного необходимо было возвести несколько градирен для охлаждения воды, все это существенно повышало стоимость возведения и эксплуатации АЭС.

В результате технико-экономического обоснования (ТЭО) строительной площадки на основе многофакторного обоснования и учета таких доминирующих факторов как:

- приемлемость инженерно-гидрогеологических условий площадки;
- сейсмическая безопасность региона;
- малая вероятность смерчей;
- устойчивость площадки при наводнениях, в том числе при прорыве Куйбышевского водохранилища;
- изъятие из оборота минимального количества пахотных земель;
- наименее затратная возможность создания эффективной системы технического водоснабжения и водоохлаждения;
- близость существующих и перспективных энергопотребителей, включая и систему искусственного орошения Саратовских полей;
- развитая транспортная инфраструктура;
- наличие мощной базы строительной индустрии;
- минимальный объем планировочных работ.

Главный выбор пал на строительство Балаковской АЭС на промплощадке у села Натальино. При этом данная площадка расположена на берегу Саратовского водохранилища в 3 км от села Натальино на малоценных солончаковых выпасах колхоза им. Карла Маркса.

Балаковская АЭС расположена на левом берегу Саратовского водохранилища реки Волги. Расстояние до города Балаково 8 км, до Саратова 150 км. Станция имеет четыре действующих энергоблока ВВЭР мощностью по 1000 МВт каждый. Вторая очередь Балаковской АЭС должна была включать в себя еще два энергоблока №5 и №6 с установленной мощностью по 1000 МВт, строительство второй очереди Балаковской АЭС было приостановлено в 1992 году.

В настоящее время БалАЭС ежегодно вырабатывает свыше 30 млрд. кВт часов электроэнергии – это больше, чем любая другая электростанция России, и в целом составляет пятую часть выработки электроэнергии на всех атомных станциях страны.

Выработанная электроэнергия поступает – потребителям Поволжья (76%), Центральной России (13%), Урала (8%), и Сибири (3%).

По линии МАГАТЭ Балаковская АЭС входит в пятерку лучших атомных электростанций в мире по своей безопасности и энергоэффективности.

Каждый энергоблок БалАЭС представлен комплексом сооружений состоящих из: реакторного отделения, машинного зала, деаэрационной этажерки, помещений электро-технических устройств, береговой насосной станции охлаждения и резервных дизельных электростанций. Кроме того, станция имеет спецкорпус с системой спецводоочистки и хранилищами твердых и жидких радиоактивных отходов, который объединяет работу всех энергоблоков.

Все, что относится к первому радиоактивному контуру каждого энергоблока, располагается вместе с реактором, главными циркуляционными насосами, парогенератором и бассейном выдержки и перегрузки – в специальной герметичной железобетонной оболочке облицованной изнутри стальным листом толщиной от 6 до 8 мм, которая называется контайнментом.

Общая площадь, занимаемая Балаковской АЭС, составляет 487 гектара. Площадь водоема-охладителя станции составляет 25 квадратных километров. Тепловая схема каждого энергоблока Балаковской АЭС – двухконтурная.

Температура воды на входе первого контура равна 280 °С, на выходе 320 °С. При этом вода не кипит, так как давление в первом контуре составляет 16 МПа. Циркуляционный расход воды в первом контуре достигает 84000 т/час. При этом вода в первом контуре радиоактивная.

Теплоноситель первого контура с помощью главных циркуляционных насосов поступает в парогенераторы. Полученный в них насыщенный пар с температурой 274 °С под давлением 6 МПа подается по второму контуру на цилиндры низкого, среднего и высокого давления турбины. Марка турбины К-1000-60/1500-2, частота вращения 1500 об/мин. Все цилиндры турбины находятся на одном валу и предназначены для передачи вращения на базовый генератор переменного тока марки ТВВ-1000-4 мощностью 1000 МВт с выходным напряжением 24000 вольт. При этом шесть цилиндров турбины, генератор и возбудитель генератора находятся на одном валу.

Началом подготовительного периода строительства БалАЭС можно считать 28 октября 1977 года. На строительной площадке БалАЭС, кроме СУ «Саратовгэсстрой» и «Промстрой», начали работать СУ «Гидроэлектромонтаж», «Волгоэнергомонтаж», «Спецгидроэлектромонтаж», «Гидромонтаж», «Волгопромвентиляция» и ряд других строительных организаций.

Оборудование для БалАЭС поставлялось из разных регионов страны.

Ядерные реакторы поставлялись Волгодонским «Атоммашем» и

производственным объединением «Ижорский завод», турбоустановки - ПО «Харьковский турбинный завод», генераторы – Ленинградским ПО «Электросила».

Вся проектная документация на БалАЭС была разработана и утверждена специалистами – УралТЭП 14 июля 1979 года, а до этого срока вся работа по строительству и проектированию объекта шла параллельно с использованием передового опыта, накопленного за рубежом.

Первый кубометр грунта из котлована под реакторное отделение был вынут 21 апреля 1980 года, после создания эффективной системы водопонижения УГВ на промплощадке. Полностью котлован под первый энергоблок был отрыт только к началу августа 1980 года. Через неделю началась отсыпка 4-метровой щебеночной подушки с послойным уплотнением. Затем начался монтаж армокаркаса фундаментной плиты с устройством щитовой опалубки с использованием поточного метода производства работ.

Беспрерывная и поточная укладка большого бетона в железобетонную фундаментную плиту под РО первого энергоблока началась 2 декабря 1980 года.

В результате пуск первого энергоблока был осуществлен 28 декабря 1985 года, практически через 60 месяцев после начала строительства.

В начале сентября 1985 года с помощью пускорезервной котельной были проведены гидравлические испытания всех трубопроводов. А 20 сентября 1985 года была проведена горячая обкатка и холостой пуск турбины от пускорезервной котельной. 12 декабря 1985 года состоялся физический пуск реактора. 24 декабря состоялся энергетический пуск энергоблока с синхронизацией электроэнергии со всей энергосистемой СССР.

На строительство всех четырех блоков было потрачено 132 месяца с учетом поточного метода производства строительно-монтажных работ, что соответствует лучшему опыту строительства АЭС, полученному за рубежом.

Пуск второго блока был произведен 10 декабря 1988 года.

Пуск третьего блока был осуществлен 28 декабря 1990 года.

Пуск четвертого блока состоялся 12 мая 1993 года.

В ходе строительства Балаковской АЭС был широко использован блочный и блочно-модульный метод строительства. Данный метод в мировой практике строительства различных уникальных, ядерных и экологически опасных объектов используется уже более 60 лет, в частности, в США, Европе, Корее, Китае и Японии.

При строительстве Балаковской АЭС был использован уникальный козловой кран марки K2x190 максимальной грузоподъемностью 380 тонн, который был построен

на Запорожском электромеханическом заводе и был введен в работу в декабре 1983 года. Практическое использование козлового крана позволило монтировать несущие конструкции РО из отдельных крупногабаритных монтажных блоков (ОМФ), в частности:

- модули оборудования,
- модули технологических трубопроводов с использованием рабочего несущего каркаса,
- модули покрытия и перекрытия РО и МЗ, деаэрационного отделения и эл. этажерки МЗ,
- модули армокаркаса фундаментной плиты,
- модули обстройки РО,
- модули защитной оболочки,
- модули купола защитной оболочки и т.д.,
- модули строительных элементов гермозоны,
- модули Бассейна выдержки и перегрузки.

С учетом блочно-модульного строительства АЭС на территории СССР с реакторами ВВЭР-1000 выбор площадки строительства АЭС планировалось с обязательным наличием крупных водных артерий необходимых для охлаждения реакторов и созданием условий для транспортировки крупных модулей оборудования, строительных полуфабрикатов и строительных блоков к месту возведения станции непосредственно по воде.

При этом организационно-технологическая схема возведения БалаАЭС блочно-модульным методом состояла из следующих этапов:

- транспортировка авто, ж/д или водным путем материалов, полуфабрикатов укрупненных конструкций или оборудования до места строительства;
- сборка и доукрупнение рабочих элементов и оборудования в более крупные блоки или модули на плазах;
- установка укрупненного блока в проектное положение;
- сопряжение блока с другими уже установленными блоками;
- заливка строительных ОМФ (объемно-монтажных фрагментов) бетоном в пределах рабочего пояса.

В ходе строительства Балаковской АЭС были использованы три главных принципа.

Первый принцип связан с комплексной индустриализацией монтажа армометаллических конструкций, их скоростного монтажа сверхгабаритными объемно-монтажными фрагментами (ОМФ) с помощью модернизированного сотрудниками БИТТУ козлового крана грузоподъемностью 380 тонн. Последний факт позволил

обеспечить резкое расширение фронта монтажных работ за счет создания единого промышленно-монтажного конвейера с организацией на стройплощадке зоны укрупнительного монтажа на специальном плазе с условиями, близкими к заводским, что в свою очередь ощутимо повысило качества сборки и монтажа несущих строительных конструкций.

Второй принцип характеризовался разработкой и внедрением новой технологии возведения АЭС предусматривающей совмещение крупнообъемного монтажа строительных конструкций с одновременной установкой основного технологического оборудования, также укрупненными блоками на базе широкого использования козлового крана г/п 380 тонн. Рассматриваемый принцип позволил начать монтаж сверхтяжелого оборудования (более 300 тонн) в РО за 5-6 месяцев до установки штатного крана кругового действия.

Третий принцип состоял из параллельного и независимого выполнения строительно-монтажных работ по всем конструктивным частям РО, в частности: по гермозоне; защитной оболочке; укрупнению на плазе всего купола защитной оболочки и элементам обстройки, что позволило добиться максимальной индустриализации СМР.

Кроме отмеченного для организации поточного строительства главных корпусов, на промплощадке Балаковской АЭС было предусмотрено создание трех технологических циклов, в частности:

- Первый – технологический цикл монтажа гермозоны совмещенной с параллельной установкой теплотехнического оборудования;
- Второй – технологический цикл монтажа обстройки, также совмещенный с монтажом оборудования;
- Третий – технологический цикл связан с последовательно раздельным монтажом строительных конструкций машинного зала и блочной насосной станции. С использованием укрупнительной сборки элементов покрытия машинного зала.

При этом первый и второй цикл по возведению реакторного отделения следует организовывать только параллельно.

#### 1. Подготовительный период при строительстве Балаковской АЭС

В ходе подготовительного периода на промплощадке Балаковской АЭС были произведены следующие работы:

- Выполнена сейсмологическая разведка и сейсмологическое обоснование зоны строительства;
- Выполнена топографическая съемка промплощадки геодезистами;

- Выполнены инженерно-геологические изыскания;
- Выполнены инженерно-гидрологические изыскания;
- Выполнено морфологическое выделение несущих слоев грунтового основания (грунты четвертичного происхождения), выявлены лессовидные и набухающие грунты;
- Выполнена оценка физико-механических свойств грунта;
- Выполнена оценка химического состава подземных вод и колебания УГВ;
- Выполнена метеорологическая оценка природных условий в зоне строительства;
- Выполнено понижение уровня грунтовых вод в пределах каждого энергоблока;
- В зону строительства подведено энергообеспечение, водообеспечение и канализационные системы;
- В зону строительства были подведены автодороги, железные дороги и организованы водные причалы для доставки специализированного оборудования.

Кроме того, в 1977 году с началом строительства Балаковской АЭС возникла необходимость увеличения мощности ТЭЦ-4, для этого были введены в строй еще два котлоагрегата №7 и №8, и была возведена 200 метровая вытяжная труба. При этом общая мощность ТЭЦ-4 составила на 465 МВт электрической мощности и 1452 Гкал/час тепловой мощности.

Одновременно был построен комбинат специальных строительных конструкций (КССК), мощность которого позволяла выпускать 30 тыс. квадратных метров высококачественного сборного бетона и 20 тыс. тонн спецконструкций. Начало работы КССК было осуществлено в 1982 году.

## 2. Состав технологической документации при строительстве БалАЭС

В состав технологической документации при строительстве БалАЭС входят: - карты технологического процесса; технологические карты; ППР и ПОС.

При этом карты технологического процесса разрабатываются на отдельные строительные процессы, имеющие отдельные сложности при выполнении, например, гидроизоляционных работ или защитных покрытий из эпоксидных красок.

В состав карт технологических процессов входит схема производства работ и график производства работ с детализацией до минуты, а также специализированный инструмент и специальная оснастка и технико-экономические показатели эффективности работ.

Технологические карты разрабатываются на отдельные работы, требующие детализации, например, земляные работы, работы по укрупнению строительных конструкций.

Проект производства работ (ППР) разрабатывается на строительство отдельного

здания или сооружения. При этом в состав ППР входит стройгенплан на определенный период, календарный план, сетевой график, указания по производству работ, подбор машин и механизмов, состав специального оборудования и специальной оснастки. Обоснование поточного метода производства СМР.

Проект организации строительства разрабатывается на сооружение целого комплекса зданий и сооружений, входящих например в АЭС. При этом разрабатывается базовый стройгенплан, комплексный календарный план и комплексный сетевой график с технико-экономическим обоснованием всех методов производства СМР и монтажа оборудования.

### 3. Особенности возведения фундаментной плиты БалАЭС

Строительство Балаковской АЭС происходило в сложных инженерно-геологических условиях, при высоком уровне грунтовых вод. В состав грунтового основания входили грунты четвертичного периода, уровень надежности которых вызывал много вопросов. Именно поэтому до начала производства земляных работ на строительной площадке БалАЭС в зоне возведения энергоблоков была создана система водопонижения из вертикальных иглофильтров, работающих за счет применения инжекторов вакуумного типа. В результате, сначала было произведено водопонижение, и только после снижения уровня грунтовых вод на 10 метров от дневной поверхности были начаты земляные работы по отрыву котлованов. Первый кубометр грунта из котлована первого энергоблока был вынут 21 апреля 1980 года, а большой бетон в фундаментную плиту первого энергоблока пошел 2 декабря 1980 года. В состав работ нулевого цикла вошли следующие работы:

- подготовительные работы (геодезия, топография, планировочные работы, устройство реперной сети и пьезометрических скважин);
- водопонижение УГВ;
- земляные работы;
- устройство щебенно-гравийной подушки;
- устройство фундаментной плиты РО;
- гидроизоляция фундаментной плиты;
- обратная засыпка пазух котлована.

Все указанные работы выполнялись только поточным методом с максимальной индустриализацией и механизацией строительно-монтажных работ.

Начиная с нулевого цикла, при возведении БалАЭС использовалась самая современная строительная техника. В частности, для подачи бетонной смеси в фундаментную плиту и на высотные отметки РО использовались бетоноукладочные

комплексы «Суперсвингер», «Критеркран» и система бетононасосов «Свингер-65». Для очистки арматурного каркаса и опалубки фундаментной плиты от строительного мусора и наледи в декабре 1980 года были использованы списанные турбореактивные двигатели от боевых истребителей.

Для формирования объемно-монтажных фрагментов и армокаркасов с несъемной опалубкой использовали плазы-кондукторы и передвижные сборочные укрупнительные площадки, а также специализированное крановое оборудование большой грузоподъемности: башенные краны БК-1000 и козловой кран грузоподъемностью 380 тонн.

#### 4. Особенности геологического строения промлощадки БалАЭС

На глубине 3-4 метра от поверхности в грунтовом основании БалАЭС выявлены лессовидные грунты и хвалынские набухающие глины, которые создавали очень много проблем своими региональными свойствами.

На первом этапе изыскания грунтовых условий производились на глубину до 60 метров, а после детализации результатов инженерно-геологических исследований, глубина изысканий была увеличена сначала до 80 метров, а затем до 120 метров, что позволило увеличить надежность работ по проектированию и прогнозированию деформационного поведения БалАЭС.

#### 5. Прогноз ожидаемых осадок РО Балаковской АЭС

В ходе проектирования БалАЭС для расчета осадок фундамента энергоблоков были привлечены УралТЭП, Московский АЭП, Питерский АЭП и сотрудники БИТТУ проф. Копейкин В.С., Землянский А.А. и доц. Болдырев Г.Г.. В результате выполненных расчетов сотрудники УралТЭП и АЭП Москвы и Питера ошиблись более, чем на 200 % в меньшую сторону, а прогнозные расчеты деформационного поведения плиты, выполненные сотрудниками БИТТУ, полностью подтвердились в дальнейшем. Так осадка всех энергоблоков составила более 55 см при возведении РО на щебенно-гравийной подушке высотой 4,8 метра.

Прогноз Московского АЭП и Питерского АЭП составил соответственно 25 и 28 см, что не соответствовало действительности.

#### 6. Конструктивные особенности фундаментной плиты по первому варианту

По проектному варианту фундаментную плиту РО планировалось опереть на систему забивных свай. Длина 1100 свай составляла 20 метров, а поперечное сечение - 40х40 см. При этом осадку комплексного свайно-плитного фундамента планировалось считать с использованием приведенной жесткости плитной и свайной части рассматриваемого фундамента.

Однако с учетом слабых грунтов залегающих под РО, было принято мнение, что сваи не смогут воспринять 85 % от всей нагрузки от РО, а плитный фундамент 15 % от всей нагрузки от РО. Кроме того, СУ «Саратовгэсстрой» не было способно в короткое время оперативно изготовить 1100 свай на каждый энергоблок. Поэтому было принято нестандартное решение по отказу от свайного поля, а вместо свайного поля было решено использовать щебеночно-гравийную подушку мощностью более 4,8 метров.

#### 7. Конструктивные особенности фундаментной плиты по второму варианту

По второму варианту СУ «Саратовгэсстрой» отказывалось от свайного поля из 1100 свай, а свайное поле заменялось на щебенно-гравийную подушку мощностью около 4,8 метров. При этом планировалось создать подушку из местного щебня и гравия, добываемого в Березовском карьере на территории Балаковского района. При этом щебень был испытан на истираемость и размокание в грунтовой воде с химическим составом, имеющимся на Балаковской промплощадке, и с учетом динамической нагрузки, которая будет присутствовать при эксплуатации всех энергоблоков Балаковской АЭС.

Подушку планировалось создавать путем послойного устройства и послойного уплотнения виброкатками и груженными КАМАЗами по всей площади подушки.

При этом модуль общей деформации подушки принимался в предварительных расчетах более 40 МПа.

#### 8. Конструктивные особенности фундаментной плиты по третьему варианту

В конце двадцатого века в стенах БИТТУ на кафедре ПГС проф. Землянским А.А. была предложена, экспериментально апробирована и защищена патентом на изобретение уникальная система активного армирования слабого грунта нового поколения. Данная система могла бы без устройства щебеночно-гравийной подушки резко уменьшить осадки слабого грунта под плитным фундаментом РО Балаковской АЭС от 10 до 40 раз, в зависимости от рабочей высоты системы активного кольцевого армирования слабого грунта и уровня его преднапряжения. При этом планировалось в несколько раз снизить общую материалоемкость плитного фундамента, трудоемкость его возведения и стоимость затрат на возведение последнего. Кроме того, создание системы активного кольцевого преднапряжения слабого грунта могла бы создать условия для активного управления прочностью, устойчивостью и несущей способностью указанного фундамента с созданием практической возможности активного управления возникающего вертикального крена РО Балаковской АЭС или любого другого уникального, высотного, ядерного и экологически опасного объекта.

Общий анализ представленного материала свидетельствует об огромном опыте, накопленном строителями и проектировщиками в ходе строительства Балаковской АЭС, который был успешно применен на строительстве аналогичных станций в нашей стране и за рубежом, что позволило Балаковской АЭС войти в пятерку лучших атомных станций по линии МАГАТЭ как по безопасности, так и по надежности работы в течение вот уже более тридцати лет.

#### Литература

1. Турчин, Н.Я. Строительство тепловых и атомных станций (справочник строителя) том 1. – под редакцией чл.-корр. П.С. Непорожного / Н.Я. Турчин, Г.С. Агеев, Г.А. Ершова, И.А. Алексеев и др. – М.: Стройиздат, 1979. - 572 с.
2. Турчин, Н.Я. Строительство тепловых и атомных станций (справочник строителя) том 2. – под редакцией чл.-корр. П.С. Непорожного / Н.Я. Турчин, Г.С. Агеев, Г.А. Ершова, И.А. Алексеев и др. – М.: Стройиздат, 1979. - 640 с.
3. Пергаменщик, Б.К. Возведение специальных защитных конструкций АЭС / под редакцией В.И. Теличенко / Б.К. Пергаменщик, В.И. Теличенко, Р.Р. Темишев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011.- 240 с.
4. Дикман, Л.Г. Организация строительного производства. / Л.Г. Дикман. – М.: Издательство АСВ, 2012.- 586 с.
5. Кирнев, А.Д. Строительные краны, грузоподъемные механизмы. (Справочник) / А.Д. Кирнев, Г.В. Несветаев. – Ростов н / Д.: Издательство «Феникс», 2013. - 669 с.

УДК 624.0; 539.3

#### **Инновационные системы мониторинга технического состояния уникальных зданий и сооружений и методы активного управления уровнем их эксплуатационной надежности**

<sup>1</sup>Землянский Анатолий Андреевич, доктор технических наук, профессор кафедры  
«Промышленное и гражданское строительство»;

<sup>2</sup>Землянский Константин Анатольевич, ведущий инженер ТАИ;

<sup>1</sup>Дробахин Николай Александрович, студент направления «Строительство»

<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>Балаковская атомная станция

*В работе представлены результаты широкомасштабных исследований  
существующих и принципиально новых систем мониторинга технического состояния*

*уникальных, высотных ядерных и экологически опасных объектов. Кроме того, в работе представлены принципиально новые системы активного мониторинга НДС в ферромагнитных материалах несущего каркаса высотных объектов, а также инновационные фундаменты нового поколения с преднапряжением и возможностью управления их несущей способностью и уровнем ожидаемой деформативности, позволяющим активно управлять уровнем эксплуатационной надежности рассматриваемых технически сложных строительных объектов.*

В последние годы развития человеческой цивилизации во всем мире нарастает поток грозных сообщений о серьезных авариях и катастрофах, произошедших якобы внезапно на различных сложных, уникальных, экологически опасных и высокоответственных инженерных объектах, включая гидротехнические сооружения, ядерные объекты, объекты гражданского и промышленного назначения, а также общественного и жилого сектора. При этом по жесткой и абсолютно объективной статистике указанные катастрофические аварии год от года растут практически по экспоненциальной зависимости, как по количеству, так и по тяжести и трагичности самих последствий. Так, только по предварительным сведениям они несут за собой не только огромные материальные и экологические потери, но и, как правило, серьезные человеческие жертвы [1, 2].

Все это требует, по нашему мнению, принятия незамедлительного решения на государственном уровне о необходимости создания и практического использования эффективной системы активного мониторинга фактического уровня эксплуатационной надежности сложных и ответственных инженерных объектов для неукоснительного предупреждения и оперативного предотвращения подобных аварийных ситуаций.

В Российской Федерации Главгосэкспертиза России ежегодно проводит очень серьезную работу по экспертизе проектной документации по особо опасным и технически сложным инженерным объектам, в состав которых входят объекты энергетики, металлургии, нефтегазовой промышленности, а также объекты горной и горнодобывающей промышленности.

В результате в последние годы установлена и еще одна очень серьезная проблема, связанная с проектированием новых объектов, обусловленная тем, что только в 2015 году в более, чем 50% случаев, представленные проектные решения были признаны экспертами Главгосэкспертизы аварийными. И только благодаря тщательной и принципиальной работе экспертов Главгосэкспертизы России все аварийные решения были устранены, а проектная документация в результате проведения дополнительных инженерных изысканий была приведена в полное соответствие с требованиями технических регламентов.

Однако сам факт наличия огромного количества ошибочных и аварийных

технических решений в новой проектной документации свидетельствует о серьезных кадровых проблемах, как по уровню профессиональной квалификации проектировщиков, так и по общей компетенции инженерно-технических работников нового поколения.

Если посмотреть глобально на нашу планету, то только за последние 20 лет в мире жертвами техногенных и природных катастроф стали более 3 млн. человек, а число прямо и косвенно пострадавших достигло более 800 млн. человек, что свидетельствует о серьезности и доминировании данной проблемы для жителей нашей планеты.

В целом причины всех аварий рассматриваемых объектов в большинстве случаев связаны с человеческим фактором, с ошибками в проектировании, нарушениями при возведении, реконструкции и эксплуатации технически сложных объектов, отсутствием должного контроля со стороны проверяющих органов, недопустимой халатности, как строителей, так и эксплуатирующих организаций. Но самой главной причиной большинства аварий и катастроф строительных объектов по мнению международных экспертов является практически полное отсутствие эффективного мониторинга НДС активно эксплуатируемых объектов, а также необходимость создания в настоящее время системы активного управления уровнем эксплуатационной надежности возведенных объектов с использованием несущих и ограждающих конструкций нового поколения, разработанных авторами настоящей работы и способных предотвращать возникновение любых предаварийных или аварийных ситуаций с технически сложными и уникальными объектами

Высокая актуальность рассматриваемой проблемы определила в свою очередь и необходимость обеспечения конструктивной и эксплуатационной безопасности возводимых уникальных и технически сложных зданий и сооружений. Глубоко осознавая отмеченное, Правительство РФ инициировало принятие Федерального закона от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», в котором одним из ключевых элементов надежности и обеспечения конструкционной безопасности являются автоматизированные системы мониторинга напряженно-деформированного состояния конструкций зданий и сооружений. Необходимость создания подобных систем определена и в существующей нормативно-методической базе, в частности ГОСТ 32019-2012, ГОСТ Р 53778-2010, ГОСТ 22.1.12-2005, МГСН 4.19-2005, МРДС 02-08, ТР 182-06, что требует соответствующего учета и при разработке новых нормативных документов и технических регламентов в области обязательного обеспечения безопасности указанных зданий и сооружений.

Традиционно используемые геодезические методы наблюдений напряженно-

деформированного состояния конструкций зданий и сооружений не могут обеспечить необходимую оперативность и точность проводимых измерений. Они позволяют установить лишь факт возникновения и развития деформаций в конструкциях зданий и сооружений, без возможности их оперативного наблюдения, прогнозирования и предупреждения возможных аварийных ситуаций. Кроме того, геодезические методы наблюдений требуют больших затрат и длительного времени наблюдений.

Представленные недостатки геодезических методов наблюдений приводят к необходимости создания новых средств мониторинга с целью оперативного мониторинга технического состояния несущих строительных конструкций зданий и сооружений с целью предупреждения их возможного повреждения или разрушения.

Исходя из формулировок Федерального закона от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ, под мониторингом технического состояния зданий и сооружений понимается выявление критически важных элементов конструкции, которые подверглись значительным изменениям их напряженно-деформированного состояния или крена (изменение напряженно-деформированного состояния, часто приводит к возникновению новых деградиационных повреждений). Такое определение мониторинга технического состояния зданий и сооружений однозначно определяет и главные задачи мониторинга, в частности:

1) выявление зданий и сооружений, конструкции которых изменили свое напряженно-деформированное состояние;

2) наблюдение за техническим состоянием зданий и сооружений, находящихся в ограниченно работоспособном или аварийном состоянии, для оценки их текущего технического состояния и проведения мероприятий по устранению аварийного состояния;

3) наблюдение за техническим состоянием зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строек и природно-техногенных воздействий, для обеспечения их безопасной эксплуатации;

4) наблюдение за техническим состоянием уникальных, в том числе высотных и большепролетных, зданий и сооружений для контроля состояния их несущих конструкций и предотвращения катастроф, связанных с их обрушением.

Для решения поставленных перед системой мониторинга деформаций (СМД) строительных конструкций зданий и сооружений задач необходимо:

1) провести расчетный анализ допустимых напряжений элементов конструкции строительного объекта, и выявить характер их распределения в зависимости от действия нагрузки (например, с помощью программного пакета ANSYS,

www.ansys.com);

2) определить в зависимости от характера распределения деформаций под действием нагрузки, а также на основании эмпирических данных, критически напряженные участки конструкции с целью установки на них датчиков изменения активного напряжения, деформации и углов наклона;

3) исходя из п.2, построить схему размещения датчиков в привязке к схеме объекта в зависимости от расположения и характера критически напряженных участков конструкции;

4) выбрать, исходя из схемы размещения датчиков, топологию и технологию построения сенсорной сети строительного объекта с целью построения системы мониторинга деформаций;

5) спроектировать моты и координатор сенсорной сети в зависимости от выбранной топологии и технологии построения сенсорной сети для системы мониторинга деформаций здания или сооружения;

6) построить систему активного мониторинга напряженно-деформированного состояния несущих конструкций обследуемого здания или сооружения в соответствии с выбранной архитектурой системы;

7) запроектировать автоматизированную информационную систему (АИС) системы мониторинга деформаций здания или сооружения, исходя из выбранной архитектуры.

На основе многолетнего опыта научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области создания систем безопасности, специалистами ОАО «Авангард» была разработана беспроводная система мониторинга деформаций (СМД) на основе средств микросистемотехники с учетом рекомендаций ОАО «ЦНИИС» НИЦ «Тоннели и метрополитены» и измерительные устройства – первичные преобразователи (ПП) и датчики на их основе [1]. Разработанное оборудование предназначено для оперативного контроля напряженно-деформированного состояния конструкций зданий и сооружений. Используя специальные алгоритмы работы СМД и схемотехнические решения элементов СМД, специалистам ОАО «Авангард» удалось решить задачу снижения энергопотребления датчиками и обеспечить высокую надежность изделий СМД. С марта 2008 года координатор и датчики выпускаются серийно и применяются для контроля напряженно-деформированного состояния как вновь возводимых, так и реконструируемых зданий и сооружений. В 2011 году ОАО «Авангард» на рынок была выведена система мониторинга деформаций (СМД) [4, 5, 6]. Система основана на беспроводной технологии передачи данных ZigBee по стандарту

IEEE 802.15.4-2006. Она осуществляет непрерывный оперативный контроль напряженно-деформированного состояния элементов строительных конструкций зданий и сооружений (жилые дома, здания общественного назначения, мосты, тоннели, метрополитен, трубопроводы). Общая структурная схема СМД представлена на рис. 1.



Рис. 1. Общая структурная схема СМД

Внешний вид СМД представлен на рис. 2.

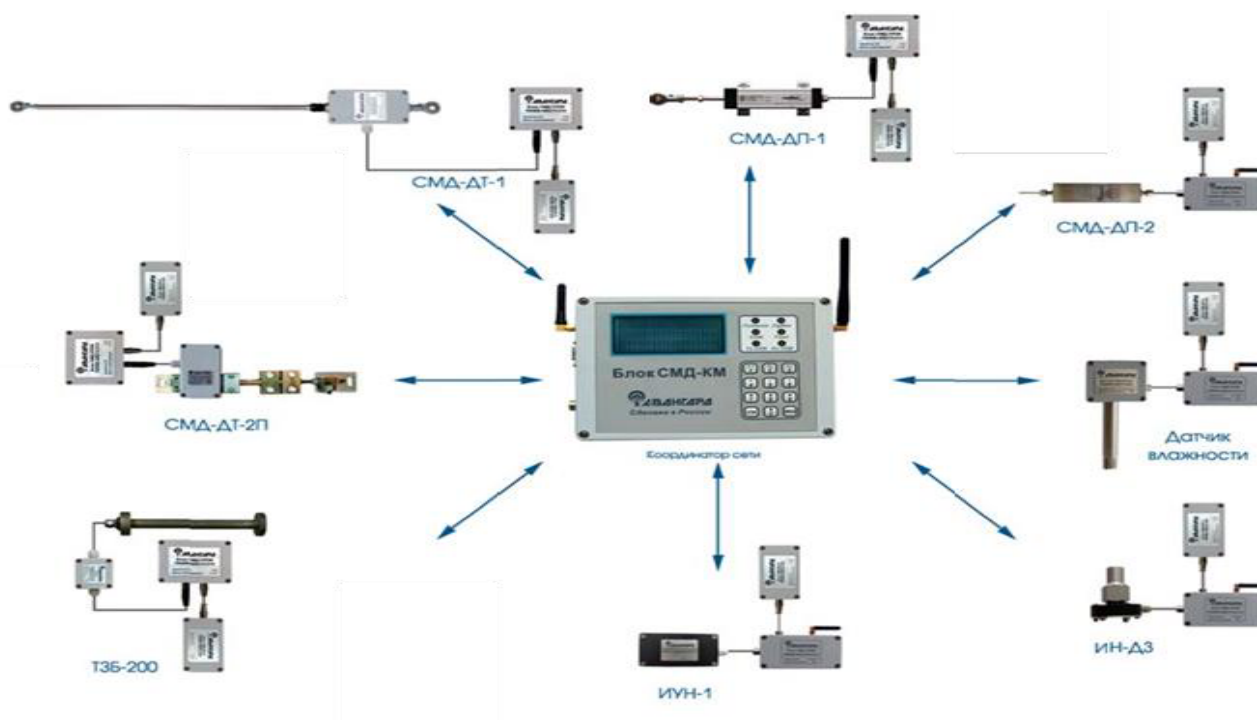


Рис. 2. Система мониторинга деформаций

В состав системы мониторинга деформаций входит:

- ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина (ПЭВМ) с установленным программным обеспечением (ПО) автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора;
- координатор беспроводной сети датчиков;
- датчики:

- 1) датчик деформации тензометрический полумостовой СМД-ДТ-1;
- 2) датчик деформации тензометрический полномостовой СМД- ДТ-2П;
- 3) датчик деформации потенциометрический СМД-ДП-1;
- 4) датчик деформации индукционный СМД-ДП-2;
- 5) измеритель угла наклона двухкоординатный ИН-ДЗц;
- 6) измеритель угла наклона двухкоординатный ИУН2-1;
- 7) тензометр закладной ТЗБ-200 и т.д., образующие вместе с устройством преобразования и передачи информации (УППИ) и блоком аккумуляторов (БА) моты беспроводной сенсорной сети.

СМД предназначена для контроля текущего напряженно-деформированного состояния несущих конструкций зданий и сооружений в процессе их эксплуатации при возникновении аварийных ситуаций и обеспечивает выполнение следующих функций:

- 1) периодический контроль напряженно-деформированного состояния конструкций зданий и сооружений с выдачей информации о месте приближения измеренных значений к критическим значениям;
- 2) гибкость конфигурации при установке датчиков и сенсорных узлов;
- 3) при превышении измеренных значений критических напряжений и деформаций, формирование сигналов опасности, выдача информации о месте превышения проектных значений прочности и деформации;
- 4) автоматическая регистрация событий в ПО АРМ, выдача отчетов о событиях в соответствии с запросом оператора;
- 5) возможность просмотра состояния объекта через веб-браузер;
- 6) автоматическое оповещение в виде sms-сообщений ответственным лицам при недопустимых значениях напряжений и деформаций в элементах конструкции зданий и сооружений.

Отличительной особенностью СМД является простота и большая скорость развертывания, высокая надежность и удобство пользования – датчики всех типов объединены в единую беспроводную сеть и позволяют контролировать строительные объекты весьма большой протяженности за счет ретрансляции показаний одного датчика через другие (выполняющие при этом функции маршрутизаторов). Выход из строя одного из датчиков не приводит к прекращению передачи и накоплению информации, так как сеть автоматически переконфигурируется, и для прохождения информации от датчика выбираются другие маршруты передачи информации.

Построение системы мониторинга деформаций зданий и сооружений на основе проводной сенсорной сети требует проведения дорогостоящих кабельных работ,

наличия специально подготовленного персонала для монтажа и технического обслуживания сети. При этом отсутствует возможность компактного размещения датчиков на объекте, надежность сети на 100 % зависит от функционирования ее отдельных элементов. Исходя из этих соображений, для построения системы мониторинга деформаций конструкций зданий и сооружений и была выбрана сетевая технология ZigBee.

Для организации беспроводной сети используются маломощные радиочастотные трансиверы второго поколения стандарта IEEE 802.15.4 компании Texas Instruments (TI), работающий на нелицензируемой частоте 2,4 ГГц. Радиотрансивер имеет хорошую избирательность и совместимость с другими устройствами, а также высокий энергетический потенциал.

Радиотрансивер применяется совместно с микроконтроллером семейства MSP-430, производства компании TI. Микроконтроллер обладает сверхнизким энергопотреблением, а радиотрансивер уменьшает нагрузку на него, обеспечивая расширенную аппаратную поддержку для обработки пакетов, буферизации данных, передачи информации со сжатием во времени, шифрования данных, аутентификации данных, оценки состояния канала, индикации качества линии связи и информации хронометрирования пакетов. Дальность связи между соседними датчиками определяется условиями распространения сигналов и может достигать расстояния до 500 метров. Благодаря такому решению достигается более высокая степень надежности по сравнению с проводными системами передачи данных, так как при проведении строительных работ крайне высока вероятность механических повреждений кабельных линий связи. В целом применение СМД позволяет обеспечить следующие преимущества подсистемы сбора данных:

- 1) гибкость конфигурации при установке мотов;
- 2) снижение трудозатрат на монтаж, пуско-наладку и сопровождение;
- 3) простота наращивания системы;
- 4) высокая отказоустойчивость в условиях возможного выхода из строя датчика.

Поскольку процесс деформации зданий и сооружений очень медленный, и только в экстренных ситуациях требуется непрерывный поток информации, то алгоритм работы СМД позволяет задавать интервалы опроса датчиков от 5 секунд до 1 месяца. В большинстве случаев для мониторинга объекта достаточно 1-2 измерений в сутки. При таком интервале опроса СМД (при использовании штатных блоков аккумуляторов) обеспечивает получение информации о состоянии объекта в течение одного года, а при непрерывном опросе датчиков от 7 до 15 дней.

На рис. 3 представлена структурная схема мота беспроводной сенсорной сети Zig-Bee, который является идентичным по отношению к каждому из типов применяемых датчиков: ПП - первичный преобразователь; F - физическое или силовое воздействие на ПП; УППИ - устройство преобразования и передачи информации (рис. 4) состоящее из: НУ – нормирующий усилитель, RTC – часы реального времени, МК – микроконтроллер; РТ – радиотрансивер; УМП – управляемый модуль питания; и блок аккумуляторов (БА), обеспечивающий электропитание УППИ и первичного преобразователя. Применяемые типы первичных преобразователей (ПП), в составе мота беспроводной сенсорной сети ZigBee системы мониторинга деформаций, представлены на рис. 5.

Датчики наклона (инклинометры) используются для контроля величины наклона объектов относительно гравитационного поля Земли.

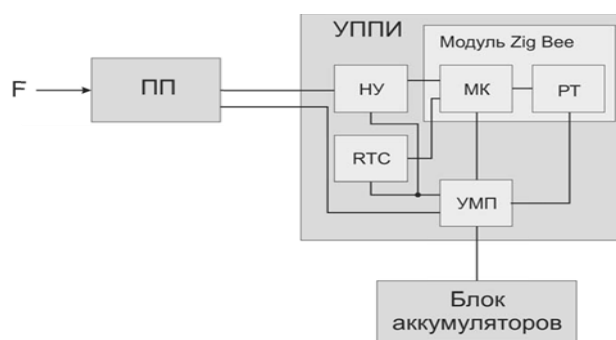


Рис. 3. Структурная схема мота беспроводной сенсорной сети ZigBee СМД

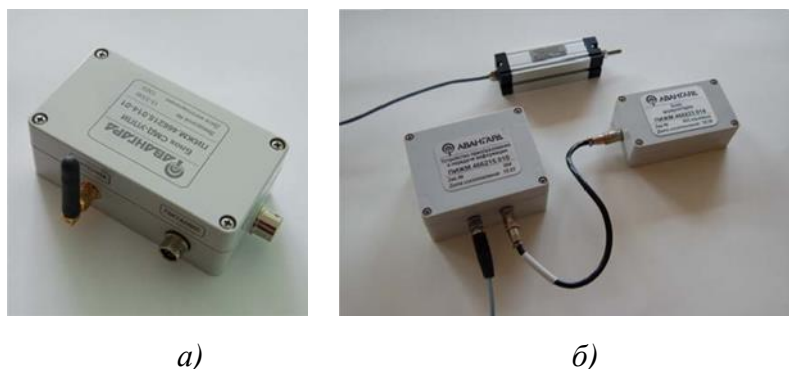


Рис. 4. Устройство преобразования и передачи информации (УППИ) по сетевой технологии ZigBee (а) и мот системы мониторинга деформаций (б)

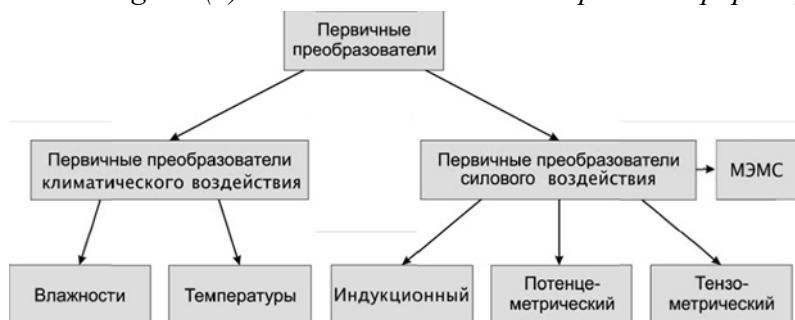


Рис. 5. Типы первичных преобразователей для мотов СМД

Датчики ИН-ДЗц производства ЗАО «НТП Горизонт» (рис. 6, а), как и датчик ИУН2-1 производства ОАО «Авангард» (рис. 6 б) созданы на основе технологии МЭМС. ИУН2-1 и имеют следующие характеристики:

- потребляемый ток – 15мА;
- время включения и измерения – 4с;
- диапазон измерения  $\pm 15$ , угловые градусы;
- абсолютная погрешность измерения – 30 угловые секунды;
- диапазон рабочих температур  $-40 \dots +85 < C$ .



а)

б)

Рис. 6. Датчики угла наклона (инклинометры): а) ИН-ДЗц; б) ИУН2-1

Для измерения линейных перемещений элементов конструкций зданий и сооружений в СМД используются тензометрические датчики деформации СМД-ДТ-1 (полумостовой) и СМД-ДТ-2П (мостовой) производства ОАО «Авангард». Принцип действия тензометрических датчиков деформации основан на изменении сопротивления тензочувствительного резистивного элемента при его сжатии или растяжении. СМД-ДТ-1 и СМД-ДТ-2П обеспечивают: диапазон измеряемых линейных перемещений  $\pm 2,0$  мм, точность 1 % и потребляемую мощность от 400 до 500 мВт.

Внешний вид тензометрических датчиков показан на рис. 7.



а)

б)

Рис. 7. Общий вид тензометрических датчиков деформации:

а) полумостовой СМД-ДТ-1; б) мостовой СМД-ДТ-2П

Потенциометрический датчик СМД-ДП-1 используется для измерения больших линейных перемещений элементов конструкций промышленных объектов в СМД (рис. 8).



*Рис. 8. Потенциометрический датчик деформации СМД-ДП-1*

Он представляет собой питаемую временным напряжением катушку индуктивности, выполненную в виде неподвижного элемента конструкции, и скользящей по ней подвижной щётки, с которой снимается выходной сигнал. СМД-ДП-1 обеспечивает довольно большой диапазон измеряемых линейных перемещений ( $\pm 20$  мм) и в достаточной мере удовлетворяет требованиям по точности (1 %) и потребляемой мощности (800 мВт). Именно он в основном используется в мотах СМД в настоящее время.

В ОАО «Авангард» разработан датчик индукционного типа СМД-ДП-2 (патент РФ № 2454625) для СМД [3]. Принцип действия индукционного датчика основан на том, что перемещение, которое предполагается измерять, передаётся на катушку типового трансформатора, которая излучает электромагнитное поле синусоидальной формы с частотой до единиц мегагерц соответственно на две приёмные катушки. Величина наводимой в катушках ЭДС прямо пропорционально перемещению. На рис. 9 показан индукционный датчик деформации СМД-ДП-2.



*Рис. 9. Индукционный датчик деформации СМД-ДП-2*

СМД-ДП-2 обеспечивает большой диапазон измеряемых линейных перемещений ( $\pm 20$  мм или от 0 до 40 мм) и высокую точность (0,5 %) при потребляемой мощности в 1 Вт.

Датчик влажности и температуры представленный на рис.10 используется для измерения параметров окружающей среды в СМД, оказывающих существенное влияние на напряжённо-деформированное состояние элементов строительных конструкций зданий и сооружений. Для контроля состояния окружающей среды на

строительных объектах в ОАО «Авангард» производится датчик влажности и температуры, полностью совместимый с СМД. В качестве чувствительных элементов использованы емкостные сенсоры. Датчик передаёт цифровую информацию по протоколу I2C через стандартный интерфейс типа RS-485 со скоростью до 96 кбит/с.

Основные технические характеристики датчика влажности:

- погрешность измерения влажности, 7...24%;
- погрешность измерения температуры, 2%;
- диапазон измерения, 2 угловые градусы;
- диапазон рабочих температур, -40...+85°C



*Рис. 10. Датчик влажности и температуры*

Связь сети мотов между собой и с координаторами осуществляется согласно стандарту IEEE 802.15.4 с использованием высокочастотного беспроводного канала связи с параметрами несущей частоты и модуляции, удовлетворяющими требованиям указанного стандарта. Определённые моты беспроводной сенсорной сети СМД выполняют роль маршрутизаторов



*Рис. 11. Координатор беспроводной сенсорной сети СМД-КМ*

Координатор беспроводной сети СМД-КМ (рис. 11) осуществляет опрос мотов короткими сенсорами связи (остальное время моты и координатор находятся в «спящем режиме» с малым энергопотреблением) по программе, заложенной в координаторе, сохранение информации в своей памяти и обмен информацией по интерфейсу USB или через встроенный GSM (GRPS) модем с ПЭВМ (ноутбуком), на которой установлено специальное программное обеспечение (ПО). Имеются возможность передачи данных с координатора на ПЭВМ (ноутбук) с помощью флэш-накопителя, отправки тревожных

сообщений по SMS и электронной почте.

Рассматриваемое решение позволяет объединять в беспроводную сенсорную сеть ZigBee до 10000 датчиков и построить территориально распределенные системы мониторинга напряженно-деформированного состояния строительных конструкций зданий и сооружений. Для включения мотов с датчиками в системе выделены специальные кластеры, построенные на базе координаторов. В свою очередь, координаторы сети могут подключаться к сети Интернет через сетевой кабель Ethernet, по технологии Wi-Fi, через внешний GSM-модем (по каналу GPRS) или LTE-модем.

Широкое применение представленной в настоящей работе абсолютно инновационной и беспроводной системы мониторинга напряженно-деформированного состояния на уникальных, высотных, ядерных, экологически опасных и социально значимых объектах, в состав которых внесены уникальные разработки авторов настоящей статьи, позволяющие использовать в рассматриваемой системе мониторинга фундаменты нового поколения с управляемой несущей способностью и принципиально новую систему измерения НДС ферромагнитных и железобетонных несущих конструкций которые позволят на практике резко повысить общую эксплуатационную надежность и безопасность работы указанных объектов с полным предотвращением формирования каких либо предаварийных, либо аварийных ситуаций во времени и пространстве при эксплуатации рассматриваемых технически сложных объектов.

#### Литература

1. Еремин, К.И. Реестр аварий зданий и сооружений 2001-2010 годов / К.И. Еремин, Н.А. Махмутов, Г.А. Павлов, Н.А. Шишкина. — М.: изд. «ВЕЛД» 2011. — 318 с.
2. Аварии зданий и сооружений на территории Российской Федерации в 1993-2002 годах // Бюллетень главной инспекции Госархстройнадзора России. — М.: изд. Стройиздат. 2003. — 280 с.
3. Федеральный закон от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» — М.: 2009.
4. Землянский, А.А. Авторское свидетельство на изобретение № 1673895 Мессдоза для измерения давления в грунте// А.А. Землянский — зарегистрировано в Госреестре СССР — М.: ВНИИГПЭ 30.08.92 г.
5. Землянский, А.А. Эффективное повышение уровня надежности АЭС за счет введения системы активного мониторинга напряженно деформированного состояния строительных конструкций энергоблока // А.А. Землянский, В.П. Григоренко, К.А. Землянский, С.А. Дубнов // Глобальная ядерная безопасность. — М.: Изд. НИЯУ

МИФИ. 2020. – С. 38-47.

6. Михайлов, А.Н. Интегрированные системы безопасности строительных объектов и сооружений // Электроника: НТБ, Спецвыпуск, 2008 г. С. 92–94.

7. Землянский, А.А. Инновационная система НДС несущих конструкций и силового оборудования гидротехнических сооружений / К.А. Землянский А.А. Землянский // Сборник статей II Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологии». БИТИ НИЯУ МИФИ – Балаково, 2016. – С. 81-90.

8. Патент 32295118 Российской федерации. МПК G01B 7/24 Магнитоупругий датчик. БИ №1 М.: ВНИИГПЭ. 2007.

УДК 69.032.22

### **Особенности проектирования высотных зданий в условиях Краснодарского края**

Иванова Татьяна Александровна, кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры «Архитектура»;

Буряк Андрей Алексеевич, студент Архитектурно-строительного факультета  
Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина,  
г. Краснодар

*В статье представлены главные проблемы, связанные с возведением высотных зданий на территории Краснодарского края, представлены методы их выявления и комплекс мер по их устранению, начиная с этапа проектирования. Также продемонстрированы инновационные архитектурные решения, которые могут получить широкое распространение в будущем.*

Краснодарский край является одним из крупнейших районов России. Край переживает период интенсивной урбанизации, причём главной массой являются приезжие, которые предпочитают городской образ жизни [1]. Вследствие этого наблюдается выборочный рост городов, чьё развитие дошло до определённого уровня: Краснодар, Сочи, Новороссийск и т.д. Градостроительные аспекты строительства таких городов приводит к особым архитектурным и проекторочным решениям, которые позволяют решить проблемы перенаселения и комфортной городской жизни. Строительство высотных зданий является хорошим решением в условиях ограниченной территории. Однако само проектирование зданий данного типа в условиях края является непростой задачей сразу в нескольких категориях: климатические условия, геологические условия, инфраструктура и социальные факторы с учетом требований нормативной документации. Особенности проектирования высотных зданий на той или

иной местности включает в себя оценку этих условий строительства и последующей эксплуатации.

Климатические параметры: важнейшим аспектом в исследовании проектирования высотных зданий с точки зрения архитектурных решений являются климатические условия. В отличие от малоэтажного строительства, высотные здания в большей мере ощущают на себе действия климата, даже если показатели входят в нормативные стандарты. К данным параметрам относятся скорость и повторяемость ветра, влажность воздуха и его температура.

Для минимизации потерь тепла зимой и перегрева летом требуется хорошая теплоизоляция, являющаяся важнейшим аспектом строительства высотных зданий, причём для эффективного проектирования учитываются все слои конструкции. Для выбора подходящего изолятора необходимо следовать следующим стандартам [2]:

$$R_0 \geq R_{reg} \quad (1)$$

где  $R_0$  - фактическое сопротивление теплопередаче фрагмента оболочки рассматриваемого варианта ограждения конструкции,  $\text{м}^2\text{°C} / \text{Вт}$ ;  $R_{reg}$  - нормируемое значение сопротивления теплопередаче, определяемое по таблице, в зависимости от величины градус-суток района строительства,  $\text{м}^2\text{°C} / \text{Вт}$ .

В свою очередь, гражданское строительство высотных зданий учитывает весь конструктив, поэтому рассматривается не один усреднённый слой, а термические сопротивления отдельно взятых слоёв:

$$R_n = \frac{\delta_n}{\lambda_n} \quad (2)$$

где  $R_n$  - термическое сопротивление одного однородного слоя,  $\text{м}^2\text{°C} / \text{Вт}$ ;  $\delta_n$  - толщина слоя;  $\lambda_n$  - расчётный коэффициент теплопередачи материала слоя,  $\text{Вт}/\text{м}^0\text{C}$

Соответственно для многослойной конструкции:

$$R_0 \geq \frac{1}{\alpha_{int}} + R_k + \frac{1}{\alpha_{ext}} \quad (3)$$

где  $\alpha_{int}$  - коэффициент теплопередачи для зимних условий во внутренней поверхности ограждения,  $\text{Вт}/\text{м}^{20}\text{C}$ ;  $\alpha_{ext}$  - коэффициент теплопередачи для зимних условий во внешней поверхности ограждения,  $\text{Вт}/\text{м}^2\text{°C}$ ;  $R_k$  - термическое сопротивление многослойной конструкции с последовательно расположенными слоями,  $\text{м}^2\text{°C} / \text{Вт}$ ;

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (4)$$

где  $R_1 + R_2 + \dots + R_n$  - сумма термических сопротивление отдельных слоёв,  $\text{м}^2\text{°C} / \text{Вт}$ .

Благодаря этим данным возможно регламентировать и обосновать использование тех или иных решений, связанных с теплоизоляцией. По рассмотренным данным виден

разрыв между оптимальными значениями тепло- и влагоизоляции, поэтому необходим общий материал, соблюдающий требования по всему Краснодарскому краю. Наиболее часто применимыми в строительстве в Краснодарском крае являются такие утеплители как минеральная вата, ISOVER «Фасад», пеноплекс «Фасад» и т.д. Данные материалы или структурные единицы отличаются лёгкостью, низкой теплопроводностью, хорошей звукоизоляцией и устойчивостью к влаге. Главное различие в использовании каждого из материалов в том или ином городе заключается в толщине слоёв, значения которых выводят из формул, представленных выше. Особенно выделяется минеральная вата из-за лёгкости установки, монтажа и пожароустойчивости, так необходимой в условиях эксплуатации высотных зданий (рис. 1)

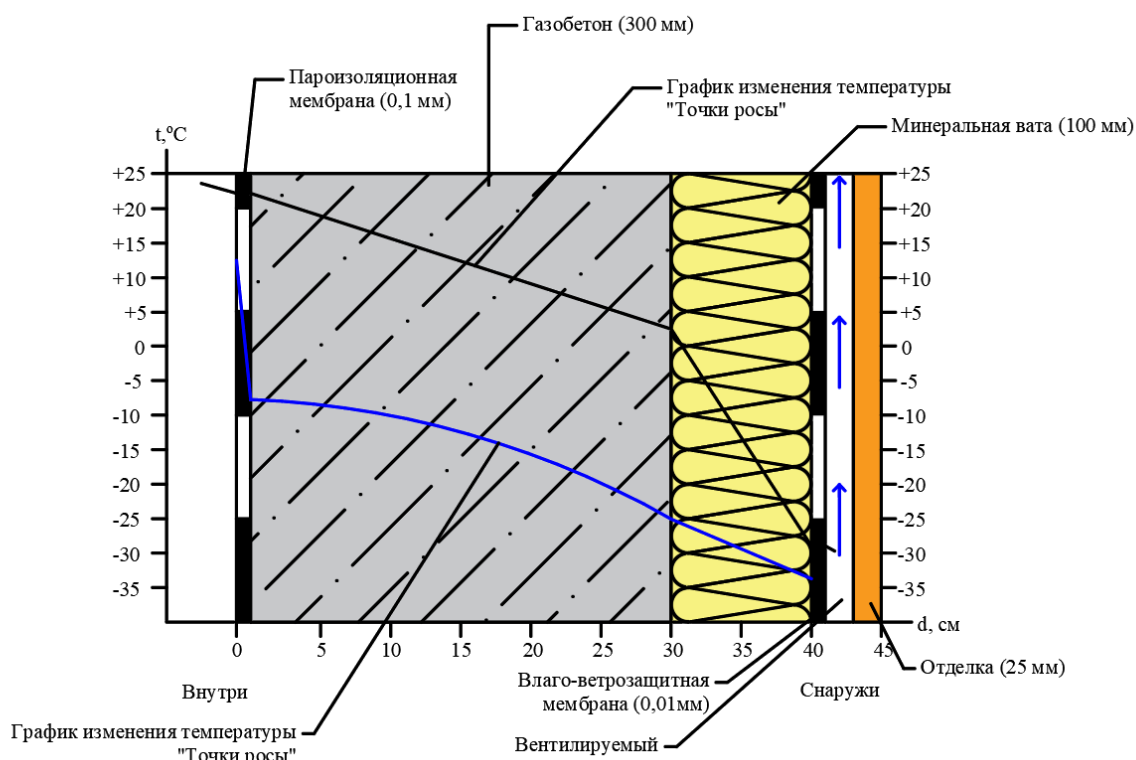


Рис. 1. Графическое представление изменения температуры в условиях использования в качестве изоляционного покрытия минеральной ваты

Показатели паропроницаемости и воздухопроницаемости также играют ключевую роль в проектировании комфортного микроклимата для жизни и рабочей деятельности человека. Данные факторы напрямую связаны друг с другом. Насыщение влагой утеплителя в процессе эксплуатации напрямую ведет к понижению его теплотехнических качеств.

Ещё одним важным климатическим параметром является скорость и повторяемость ветра. Они обязательно учитываются при проектировании, так как высотные здания подвержены значительным нагрузкам со стороны ветра, это вызывает колебания конструкции, из-за чего она испытывает как постоянные, так и временные

воздействия, что впоследствии приводит к деформациям (рис.2).

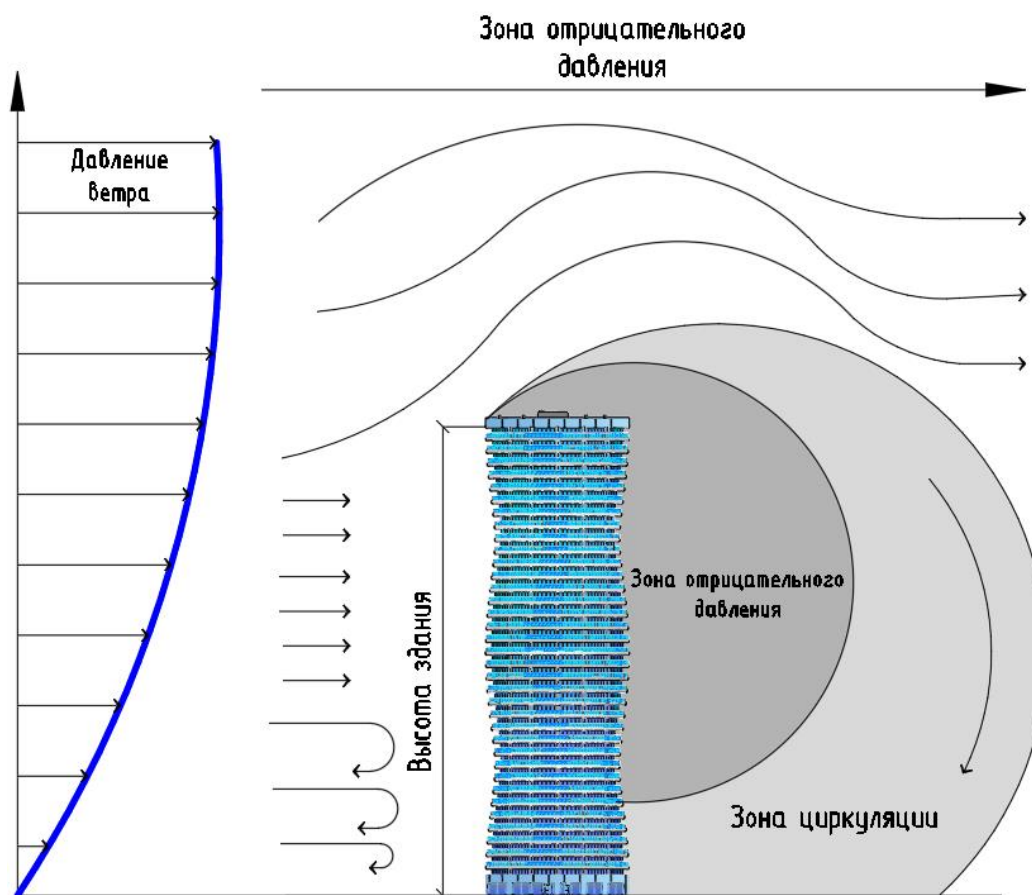


Рис. 2. Графическое изображение ветряных потоков вблизи высотного здания

Для решения этих проблем необходимо моделирование вихревых потоков, огибающих здания, для выявления существенных нагрузок на конструкции (рис. 3).

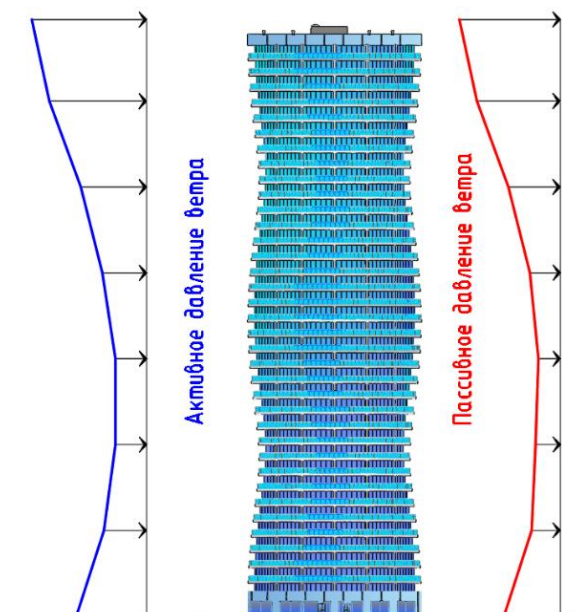


Рис. 3. Графическое изображение воздействия давления ветряных потоков на высотное здание

Для элементов ограждения и узлов их креплений высотных зданий применяют следующую формулу вычисления пиковых ветряных нагрузок для выявления способности здания сопротивляться им [3]:

$$w_{+(-)} = w_0 k(z_e) [1 + \xi(z_e)] c_{p_0+(-)} v_{+(-)}, \quad (6)$$

где  $w_0$  - нормативное значение давления ветра,  $z_e$  - эквивалентная высота,  $k(z_e)$  и  $\xi$  - коэффициенты, учитывающие, соответственно, изменение давления и пульсаций давления ветра на высоте  $z_e$ ,  $c_{p_0+(-)}$  - пиковые значения аэродинамических коэффициентов положительного давления (+) или отсоса (-),  $v_{+(-)}$  - коэффициенты корреляции ветровой нагрузки, соответствующие положительному давлению.

Подобный расчёт является алгебраической суммой воздействия на единицу высотного здания, и чем она меньше, тем точнее вычисления. Это приводит к тому, что для человека определение ветряных нагрузок на такое огромное сооружение практически невозможно. Для решения этой проблемы были созданы программы, учитывающие множество факторов для быстрого расчёта и перерасчёта воздействий на высотные здания (ENVI-met, SimScale, Eddy3D и др.). Данное программное обеспечение позволяет не только продемонстрировать ход ветряных потоков, но и также пронаблюдать их действия на здание в динамике годового хода, что существенно облегчает вынесение решения для проектировщиков. По этим изысканиям выстраиваются конструкционные и архитектурные решения, такие как аэродинамическая форма здания, планировка окон, амортизаторы и демпферы, ограничение на высоту и т.д. [4]. Для Краснодарского края это имеет особое значение из-за непосредственной близости сильных морских ветров, поэтому расчет ведется с учетом дополнительных данных, предоставленных метеослужбами.

Геологические параметры: говоря о безопасном строительстве и последующей эксплуатации нельзя не упомянуть особенности типа грунта, работа которого совместно с фундаментом будет проходить весь жизненный цикл здания, начиная с заложения фундамента и заканчивая демонтажем здания. Краснодарский край относят к 8-бальной зоне при максимальном значении 12 с мягким почвенным покровом. Это означает, что всегда существует риск разрушительных подземных толчков. Особенно это касается городов, расположенных в зонах тектонической напряжённости Средиземноморско-Кавказских районов, таких как Анапа или Сочи и т.д. Для решения этих проблем в Краснодарском крае проводят специальный расчёт конструкций и фундамента основания, выявляя области повышенных нагрузок, за счёт чего определяются архитектурные особенности, выбор материала несущих конструкций, использование демпферов для поглощения колебаний и т.д.

Все расчеты оснований следует выполнять с использованием расчетных значений характеристик грунтов  $X$ , вычисляемых по формуле [5]:

$$X = X_n / \gamma_g \quad (7)$$

где  $X_n$  - нормативное значение данной характеристики,  $\gamma_g$  - коэффициент надежности по грунту.

Краснодарский край является территорией с мягким и плодородным слоем грунта, что усложняет строительство сразу в нескольких категориях: сохранение чернозёма, необходимость крепкого фундамента и разработка строительной зоны с учётом экологических норм. Так как строительство высотных зданий для Краснодарского края является сложным производством на всех уровнях организации, то вопрос о сохранении плодородного слоя земли, являющегося стратегическим ресурсом края, стоит особенно остро. Для этого предпринимается комплекс мер по защите и охране чернозёма, включающий в себя особую планировку с минимизацией земельных работ, транспортировки грунта, контроль за эрозией, основанной на временной защите при строительстве и т.д. [6].

Социальные факторы и инфраструктура: первые вопросы в проектировании высотных зданий начинаются с инфраструктурной компоновки города, в котором планируется строительство, и учетом его культурных особенностей. Нужно понимать, что Краснодарский край является территорией Федерального значения и имеет свой уникальный облик и градостроительную планировку, что вводит определённые «рамки» в возведение высотных зданий и требует эффективного использования местности с учётом потребностей общества. При этом внешняя оболочка зданий должна иметь эстетическую целостность. Учёт всех этих условий в проектировании высотных сооружений является основой квалификационного архитектурного труда, и только после согласования на всех уровнях возможно проводить моделирование и расчет. В рамках повышения экологичности таких зданий хорошо реализуется использование технологий «зелёные кровли».

Озеленение инфраструктуры городов является основой благоприятного микроклимата всего края в целом и для создания гармоничного облика городов. В случае Краснодарского края озеленение имеет особую ценность, так как данная территория славится своей плодородностью почв, природой и тёплым климатом, благоприятным для развития этого направления. «Зелёные кровли» представляют собой крыши с полным или частичным заполнением растительностью [7]. В условиях края выделяются стационарный вид данного решения, который представляет собой создание

специальной среды и внутреннего микроклимата на большой высоте. Данная территория обладает всеми ресурсами именно для данного типа кровли: благоприятный климат, почвенный состав, растительное разнообразие и т.д. «Зелёные кровли» остаются для данной территории возможным решением, и вскоре могут стать архитектурным ориентиром и получить большое развитие в будущем, при дальнейшем развитии инфраструктуры, которая потребует сохранения изначального микроклимата.

Таким образом, на проектирование высотных зданий в Краснодарском крае в большей мере влияют условия климата, геологические особенности и сейсмика. Поэтому основой проектировочных решений, наряду с конструктивными, является особенности несущих конструкций, выбранных за счёт формы, состава и положения здания в градостроительной схеме. При этом важно само решение архитектурно-композиционного объема, которое позволяет сопротивляться неблагоприятным климатическим и геологическим условиям. Краснодарский край обладает благоприятной средой для проживания людей, поэтому уровень урбанизации с каждым годом будет только расти, а строительство высотных зданий может привести к созданию уникального облика в его городах.

#### Литература

1. Терская И.А., Терский А.В., Терский Д.А. География Краснодарского края. Краснодар: Перспективы образования, 2003. С. 208.
2. Бареев, В.И. Теплотехнические расчеты ограждающих конструкций зданий и сооружений: Учебное пособие. / КубГАУ, – 3-е изд., перераб. и доп. – Краснодар, 2012. С. 186.
3. Воронцов, И.К. Климат Краснодарского края. – М.: Наука, 1999. 178 с.
4. Учет ветровой аэродинамики при проектировании высотных зданий Братошевская В.В. В сборнике: Современные векторы развития науки. Сборник статей по материалам ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2023 год. Краснодар, 2024. С. 110-111.
5. СП 22.13330.2016. Свод правил. Основания зданий и сооружений [Электронный ресурс] – URL: <https://agentstvotek.ru/razvitie-tek/normativnaya-dokumentatsiya/СП%2022.13330.2016.%20Свод%20правил.%20Основания%20зданий%20и%20сооружений.pdf> / (дата обращения 21.01.2025).
6. Гиясов А., Тускаева З.Р., Гиясова И.В. Использование особенностей сложного рельефа для устойчивого развития горных территорий // Устойчивое развитие горных территорий. 2018. Т. 10. № 4 (38). С. 558-565.
7. Устройство эксплуатируемых крыш в условиях теплого и жаркого климата

Тарасова О.Г. В сборнике: Современные векторы развития науки. Сборник статей по материалам ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2023 год. Краснодар, 2024. С. 141-143.

УДК 711.424

### **Возрождение храма Святой Троицы в Балаково**

Попова Надежда Александровна, доктор архитектуры,

профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство»

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

*Приведен анализ исторических сведений и редких фотоматериалов восстановления архитектуры церкви Святой Троицы по проекту Ф. О. Шехтеля после его разрушения в советский период.*

Расцвет архитектуры стиля модерн в России связан с именем Федора Осиповича Шехтеля (1859–1926 гг.). Работы признанного мастера и сегодня во многом определяют специфику исторической архитектуры города Балаково. Знаменитый московский мастер модерна Ф.О. Шехтель построил на средства купцов Мальцевых в 1909-1914 гг. церковь Святой Троицы в неорусской стилизации модерна, который является памятником федерального значения РФ, шедевром российской архитектуры, техники и художественного дизайна (рис. 1).



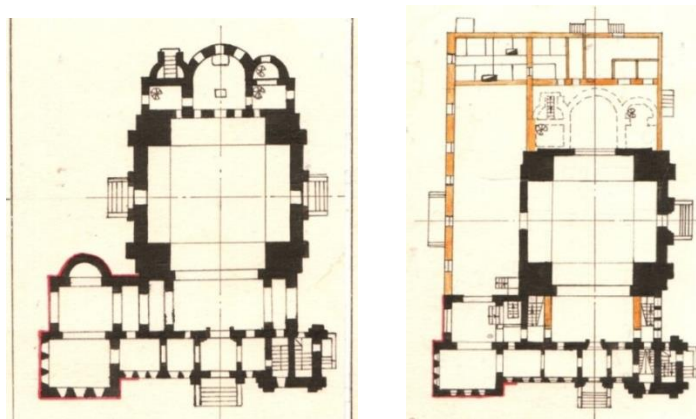
*Рис. 1. Проект церкви Святой Троицы в Балаково (арх. Ф.О. Шехтель) и фото южного фасада здания, 1912 г.*

За столетилетнюю историю существования в период Октябрьской революции и религиозных депрессий храм претерпел множественные разрушения. В советское время церковь трижды подвергалась реконструкции. В 30-е годы XX века, периода

разрушения российских церквей были снесены алтарь и шатры, но в связи с постановкой мозаичных панно на учет Главнаукой, само здание храма было сохранено.

Историко-архивные исследования Свято-Троицкого храма выявили четыре основных этапа, его архитектурно-планировочных перестроек с нарушением или изменением архитектурной и функционально-планировочной структуры здания:

1. 1914-1916 гг. – перестройка крестильни храма под зимнюю церковь,
2. 1931 год – первая реконструкция храма под драматический театр.,
3. 1964 год – вторая реконструкция здания под клуб завода им. Ф.Э. Дзержинского.



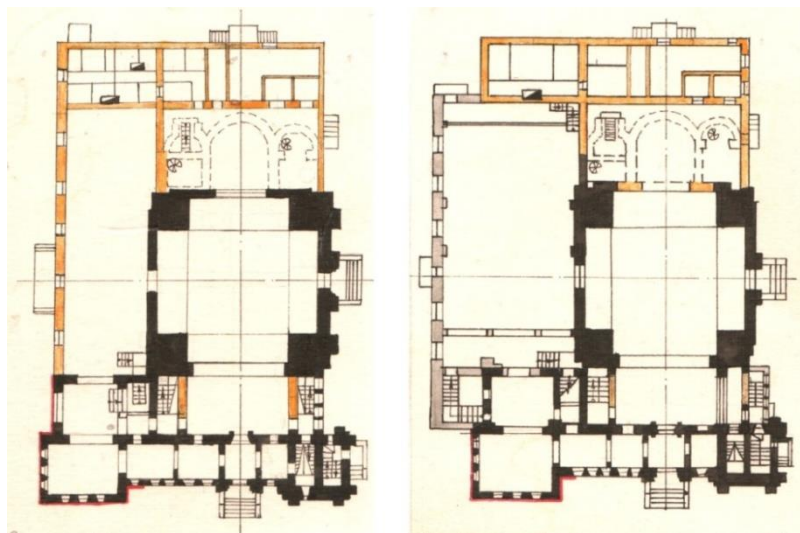
*Рис. 2. Сравнение планов.  
1915 г. (слева) и плана первой реконструкция под театр 1931 г.*

Строители снесли алтарную часть, пристроив сценическую коробку с поворотным кругом сцены, пробив при этом алтарную стену для сценического портала. После чего здание раскололось до фундамента. Также были снесены шатровые завершения главного зала и колокольни, килеобразный фронтон над главным входом с мозаикой, изображающей Святую Троицу, алтарная часть зимней церкви, контрфорсы и порталы двух боковых входов. Над крытой папертью надстроили третий ярус – кинопроекторную. От блестящей красоты архитектуры и планировки храма Шехтеля не сохранилось ничего.

Открытый «Чапаевский» театр ввиду низкой посещаемости и невостребованности перед войной был закрыт. Во время войны здание использовалось эвакуированным Полтавским драматическим театром. Затем церковь была передана «Заготзерну» и использовалась под зерносклад. Здание пустовало и разрушалось. Искалеченный храм узнать было невозможно.

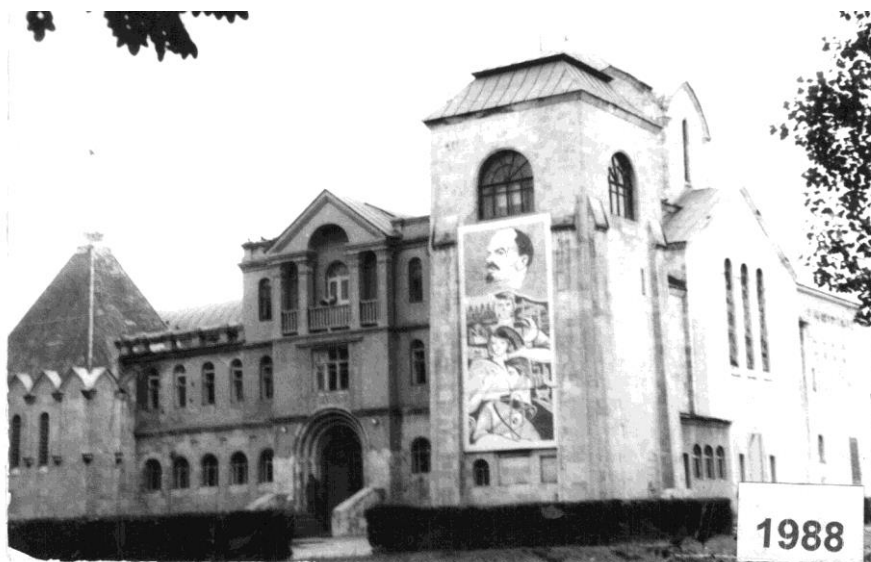
В 1964 году проведена вторая реконструкция здания под клуб завода им. Ф.Э. Дзержинского. Дополнительно изменяется главный западный фасад, одноэтажная галерея приобретает второй этаж, а над порталной частью надстраивается третий этаж. Над крытой папертью надстроили кинопроекторную,

соорудили третий ярус с советским портиком-балконом, традиционно украшавшим советские клубы. В подвале устраиваются раздевалки, бильярд, туалетные и курительные. В плане расширен танцевальный зал с северной стороны. Внутренние его стены приобрели пилястры. Добавлен ярус балкона для оркестра и лестница к нему, а также кинопроекторная с восточной стороны. Ниже приводятся чертежи сравнения планов 1931 и 1964 годов (рис. 3).



*Рис. 3. Сравнение планов 1931 г. (слева) с планом 1964 г. (вторая реконструкция)*

В 1987-1988 годах завод построил собственное здание дворца культуры. Памятник должен был приобрести нового пользователя. Комитет по охране памятников истории и культуре в договоре о передаче здания выдвинул условие – восстановление первоначального облика храма строго по проекту Шехтеля.

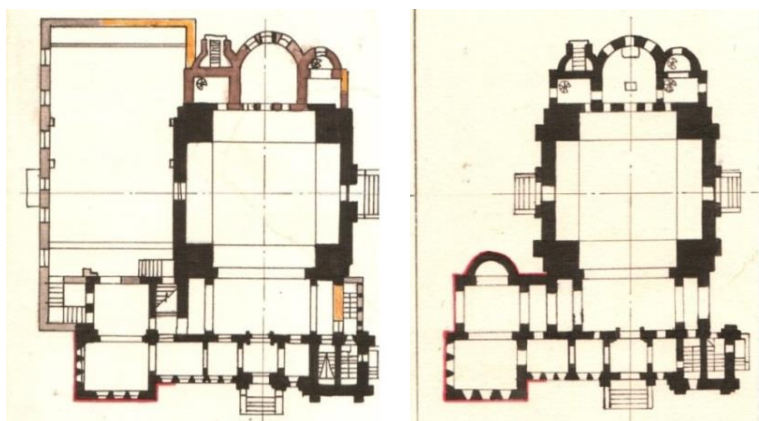


*Рис.4. Общий вид здания. 1988 г.*

В 1989 году здание было официально передано Русской Православной Церкви, и с первых дней началось активное восстановление храма под руководством отца Анатолия Шумова. Имеется снимок общего вида здания перед передачей его РПЦ

(рис. 4).

Основной целью восстановления в конце 1990-х годов храма являлось воссоздание подлинной архитектуры, заложенной великим зодчим Ф. О. Шехтелем. Важнейшей задачей этой работы становится анализ и сравнение первоначального проекта и накопившихся исторических изменений здания, с определением объемов утрат разрушений, деформаций, в каждый из периодов. Исследованием исторических документов и состояния церкви занималась кафедра «Архитектуры» БИТТиУ филиала СГТУ и непосредственно профессор Н.А. Попова. Был выполнен сбор материалов и обследование памятника. Подготовлен паспорт на постановку храма на государственный учет и охрану. Выполнены архитектурные обмеры, фотофиксация, анализ состояния несущих конструкций, которые буквально трещали от варварского использования. Собран архивный материал. В государственном архиве Самары удалось найти выполненный в 1909 году проект (чертежи в синьках с автографами Шехтеля) с пояснительной запиской.



*Рис. 5. Сравнение планов 1991 г. (дворец культуры)  
и плана 2002 года после восстановительных работ 1999 г.*

В 1991 году по контракту с комитетом по охране памятников истории и культуры ООО «АРТ – Дмитрий Плюс» выполнило проект восстановления Свято-Троицкого храма в Балаково под руководством архитектора Д.В. Голубинова. В своей статье [1] автор подчеркивает, что храм является шедевром архитектуры и строительного искусства: «Главный объем церкви перекрыт монолитным тонкостенным железобетонным сводом переменного сечения и утеплен пробкой. Шатровое покрытие также монолитное с облицовкой известняковыми плитами. Металлическая кровля и все отливы, выполненные из «бельгийского железа», дожили до наших дней. Новым в архитектуре являлось наличие теплого подвала с гардеробными и санузлами для посетителей. Особо интересной является авторская система воздушного отопления. В центре подвала размещался паровой котел и

центральная камера с калорифером, как в современных системах. Из неё нагретый воздух поднимается через каналы внутри угловых пилонов в верхнюю зону церкви и через решетки в боковых стенах в уровне пола возвращался обратно. В стены порталов были встроены воздухозаборные решетки» [1].



Рис. 6. Слева снимок 1991 г. Справа фото западного фасада. 1997 г.



Рис. 7. Современный облик храма Святой Троицы: Вид колокольни. Троичная композиция – символ Святой Троицы. Реставрация 2001-2004 гг. [2]

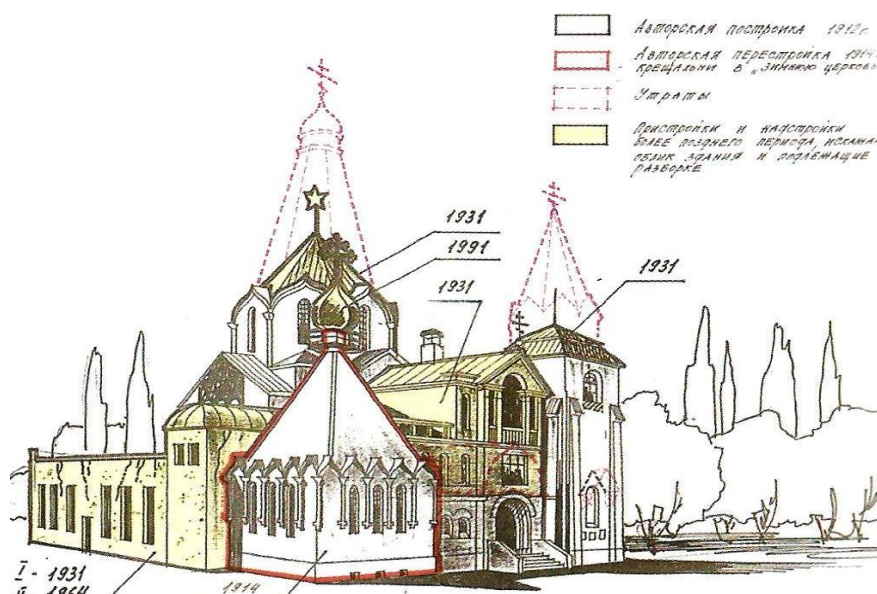


Рис. 8. Общий вид здания храма до восстановления. Арх. Д. В. Голубинов



Рис. 9. Общий вид Свято-Троицкой церкви с программой частей здания в желтом цвете. Арх. Д. В. Голубинов

Приводим рисунки автора с проектными предложениями по восстановлению первоначального облика храма на период 1915 года [3].

В 1993 году Свято-Троицкий храм Ф.О. Шехтеля поставлен на государственный учет и охрану кандидатом архитектуры Поповой Н.А. в Министерстве культуры РФ и получил статус федерального памятника РФ.

В восстановлении церкви участвовало много людей: администрация города, специалисты и руководители многих организаций и предприятий, архитекторы, строители, художники, и, конечно, православные прихожане. Восстановление оказалось многотрудным делом, оно было связано с бесчисленными проблемами. Каждое помещение, конструкция, узел, материал требовало единственно достоверного решения. Когда освободили северную сторону от танцевального зала, взору балаковцев открылась закрытая ранее сияющая золотом в утренние часы яркая мозаика «Знамение».

В 1995 году неожиданно умер почитаемый балаковцами отец Анатолий, первый настоятель и воссоздатель Свято-Троицкой церкви. В 1996 году восстановили шатер с главкой и крестом, затем звонницу колокольни. Было выполнено инженерное обследование несущих конструкций центрального шатра и выявлен разрыв стяжки основания барабана. Вес шатра с внутренним куполом составлял 220 тонн, что усложнило работу по его монтажу.

К началу 1997 года была восстановлена звонница, повешены колокола, и на Рождество 1997 года впервые после десятилетий молчания над Балаковом зазвучал колокольный звон. Был восстановлен алтарь и первоначальный облик западного фасада и главного портала входа, выполнена роспись на фронтоне.

В 1999 году металлический каркас огромного центрального шатра был установлен на 8 башмаков барабана. Шатер увенчан позолоченной шлемообразной главой с крестом, приобретенной на средства, выделенные администрацией города. К сожалению, при выполнении металлического каркаса шатра уменьшили его высоту в сравнении с проектом, что облегчило конструкцию, но затруднило монтаж и исказило объемное соотношение масс храма. Нельзя не отметить активную помощь в деле восстановления храма мэра города Балаково А.И. Саурина. Его заслугой являлось выполнения для храма шлемообразных позолоченных глав в Волгодонске.

В 1999 году в восстановленном приделе был освящен престол во имя святого благоверного великого князя Александра Невского, но богослужения в приделе начались только с июля 2003 года.

Восстановительные работы памятника ведутся до настоящего времени, с участием автора по возвращению исторических форм экстерьера и интерьера:

- Выполнено восстановление архитектуры утраченных южного и северного порталов;
- Проведена реставрация смальтовой мозаики южного фасада «Спас Нерукотворный»;
- Восстановлена мозаика из смальты на фронте паперти западного входа «Троица Живоначальная».

Мозаичные работы осуществляли мастера Фроловской мастерской из Санкт-Петербурга.

В настоящее время начинается процесс внутренней росписи храма с участием художников артели «Радость». Во всех работах консультативное участие осуществляет институт БИТИ НИЯУ МИФИ и профессор Попова Н.А.

Учитывая уникальность воссоздания утраченного шедевра, а ныне памятника архитектуры федерального значения, сохранившего шехтелевское архитектурное наследие, индивидуальные конструкции, высокие образцы дизайна и строительного искусства, церковь Святой Троицы должна является постоянным объектом для научного исследования и проведения его охраны.

#### Литература

1. Голубинов, Д.В. Восстановление Свято-Троицкого храма в Балаково. Журнал Тектоника, № 07-08. Саратов. 2009 г., С. 104-105.
2. Попова, Н.А. Шехтелевские мотивы в купеческой архитектуре Балаково. LAMBERT Academic Publishing / Германия. 2017. С. 26-30.
3. Попова, Н.А. Белокаменный ФЕНИКС архитектора Ф. Шехтеля. Саратов СГТУ. 2016. С. 178-185.

## Шехтелевское наследие в интерьере храма Святой Троицы в Балаково

Попова Надежда Александровна, доктор архитектуры,

профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство»

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

*В статье приведены результаты архитектурного и сравнительного анализа исторических материалов 1909 г., с современными восстановленными формами церкви Святой Троицы в Балаково. Представлены сохраненные знаменитые шехтелевские формы и мотивы архитектуры и дизайна в современном интерьере храма.*

Храм Святой Троицы является жемчужиной исторического наследия зодчества, который сейчас после второго рождения покоряет необыкновенной русской мощью и красотой, благодаря тщанию славного балаковского купца-старообрядца Анисима Мальцева. Главным творцом этого чуда является знаменитый московский зодчий Федор Осипович Шехтель [1].

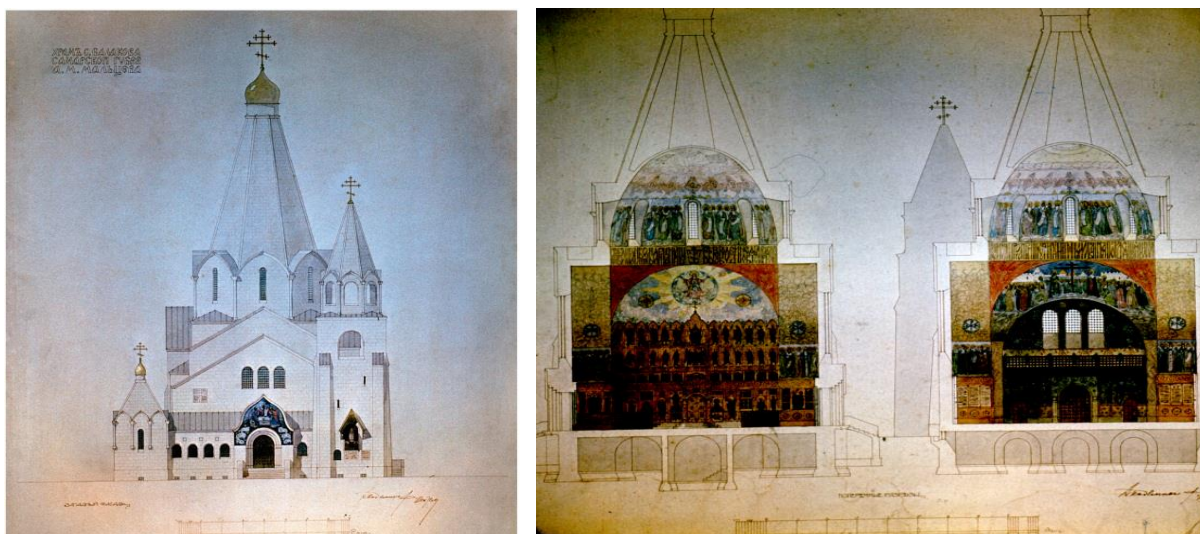


Рис. 1. Проект Шехтеля 1909: 1 – главный фасад церкви; 2 – интерьеры церкви.

Как и все памятники Ф.О. Шехтеля, Свято-Троицкий храм обладает незаурядными чертами интерьера, достойными его автора. Планировочная организация зодчим выполнена традиционно с обеспечением наикратчайших связей помещений между собой и самостоятельной жизни его главных составляющих: молитвенного зала главного Свято-Троицкого придела, придела Александра Невского, колокольни и подвального этажа, выполняющего функции инженерного и хозяйственного обслуживания храма. Все помещения имеют самостоятельное объемное решение.

Процесс восстановления и реставрации шехтелевских интерьеров происходит

постепенно. Наибольшее преобразование произошло в период последнего десятилетия под деятельным руководством настоятеля игумена отца Амвросия (Александра Волкова). В 2005-2006 годах была разобрана и описана «народная» коллекция исторических икон, принесенных в церковь прихожанами. В 2007 году были обновлены конструкции полов и создан новый интерьер зала придела Александра Невского. В 2008 году реставрировались внутренние архитектурные элементы: порталы, дверные и оконные детали, приборы освещения, отопления, обновлялась церковная утварь. В 2010 годы воссозданы деревянные резные хоры, а в 2011 году сооружен по эскизу Шехтеля главный Свято-Троицкий иконостас (исполнитель В.М. Колтовой, Тверская мастерская).



*Рис. 2. Интерьер молитвенного зала*

Ядром композиции является обширное пространство молитвенного зала (рис. 2). Самобытность русского церковного творчества Шехтеля связана с духовной символикой православной веры. Зодчий опирается на каноны и символику церковного зодчества древнерусского православия. «Христианское искусство с первых веков было глубоко символично, а символика эта не была явлением, свойственным этому периоду христианской жизни. Она неотделима от церковного искусства потому, что та духовная действительность, которую оно выражает, не может быть передана иначе, чем символами» [3]. Согласно которым, представлению о Вселенной соответствует архитектурный тип средней части храма с её четырьмя стенами, четырьмя парусами и купольным покрытием – так называемый кубический тип [2].



*Рис 3. Парящий купол, византийского типа. Фото. А. Мосиной. 2014 г.*

В общее пространство храма перетекает уменьшенное по высоте пространство притвора, причем для этой цели Шехтель применяет излюбленный им прием при оформлении светских интерьеров – устройство сквозных, раскрытых на всю высоту храма арок, которые организуют центральное подкупольное пространство, с эффектом прорыва последнего вверх, по вертикали. Огромный шатер, перекрывающий собственно храм, поставлен на подпружные арки, пяты которых опираются на усиленные, решенные в виде квадратных столбов углы здания в православных традициях византийских храмов. Снаружи распор шатра гасится поясом конструктивных, вытянутых вертикально закомар, которые одновременно являются и декоративным поясом, своеобразным барабаном - основанием шатра. Плоскость барабана оснащена восьмью оконными проемами. Лучи света, проникающие в проемы, пересекаются и создают внутри интерьера эффект парения купола, его невесомости, по византийскому принципу.

Самобытность русского церковного творчества Шехтеля связана с духовной символикой православной веры, поэтому православная крестовокупольная византийская базилика становится прообразом.

На рис. 2 и 3 ярко представлена шехтелевская гениальная композиция организации кубического пространства зала высотой 18 метров с опиранием внутренней сферы купола на опорное кольцо барабана, которое в свою очередь передает свою нагрузку на подпружные огромные арки, пяты которых опираются на четыре угловых пилон, выделяя четыре паруса. Сфера купола имеет 8 вытянутых оконных проемов, соответственно граням шатра. Лучи света, проникающие в проемы, пересекаются и создают внутри интерьера эффект парения купола, его невесомости по византийскому принципу. Реставрация хоров учитывала все особенности резных

элементов старинной мебели церкви и воспоминания старожилов о бывшем внешнем их виде, так как на имеющихся хорах были утрачены исторические ограждения. Сохранились очень изношенные деревянные балки и настил, которые имели дефекты, деформации, подпалы и разрушения. Восстановленные элементы хоров представлены на рис. 5. Восстановлены архитектурные детали ограждения и креплений с резным арнаментом.



*Рис. 4. Входная антресоль*



*Рис. 5. Резное ограждение хоров над антресолью*

Интерьер дополняют резные деревянные хоры, устроенные по антресоли. Характерная шехтелевская антресоль (рис.4) зрительно при входе закрывает устремленное ввысь пространство зала, обеспечивая входящему в церковь границу перехода из «грешного» мира к божественному [1].

В настоящее время Балаковская епархия приступила к росписи внутреннего пространства. Вынесен на обсуждение эскиз росписи северного портала, разработанного артелью «Радость». Автор данной статьи выполнил сравнительный анализ данного проекта с эскизом Шехтеля, где имеются ряд существенных замечаний, которые приводятся ниже.

Замечания и предложения по эскизу росписи храма Святой Троицы профессора Поповой Н.А. от 7 февраля 2025 г.

Основной благородной задачей росписи храма являлась полная реализация проектных эскизов росписи архитектора Ф.О. Шехтеля, знаменитого мастера русского модерна. Очень важно отметить, что само начинание этого дела радует, дело сдвинулось с мертвой точки. Но мы должны требовательно относиться к любым работам в здании с тем, чтобы не нанести вред, так как храм является федеральным памятником. Эскиз интерьерной росписи северной стены храма Святой Троицы выполнен артелью «Радость». После сравнительного анализа эскиза необходимо

отметить следующее:

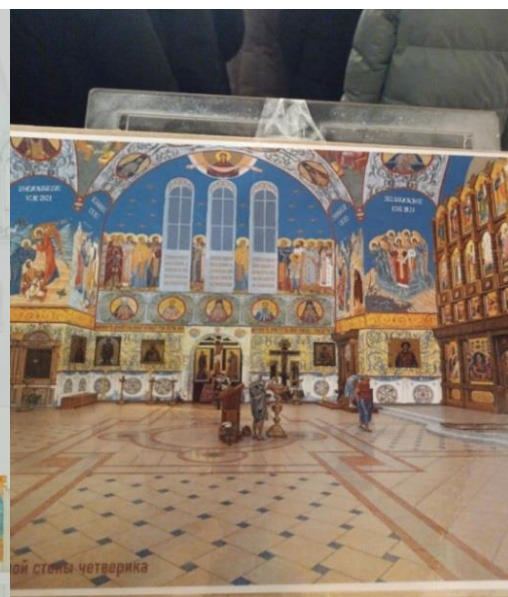
- отсутствует общий архитектурно-художественный эскиз интерьера храма в виде круговой развертки плоскостей стен и купола, где были представлены композиционные размещения и распределения горизонтальных и вертикальных полей росписей и их цветовое решение;
- представленный эскиз северной стены не соответствует эскизам Шехтеля;
- два ряда горизонтальных полос росписи дополнены третьим рядом, уменьшено пространство окон, разделительные полосы не совпадают;
- вводятся свои заготовки росписей, которых нет у Шехтеля;
- не соблюдена цветовая палитра Шехтеля (основные теплые лимонно-желто-оранжевые до коричневых оттенки; нюансные пастельные нежные голубые до белых и другие). Применен губительный насыщенный синий цвет.

Предлагаю отвлечься от привязки к современному интерьеру и внимательно изучить первоисточник. Это первая роспись и исторических фресок не было, а современное оборудование храма подвижно.

Ниже даны иллюстрации (рис.6, 7) сравниваемых эскизов.



*Рис. 6. Эскиз росписи интерьеров  
авторства Шехтеля 1909г.  
Северный портал*



*Рис. 7. Эскиз росписи интерьеров  
артели «Радость»  
от 7 февраля 2025 г.*

В результате проведения восстановительных работ на памятнике федерального значения в общих архитектурных массах удалось сохранить шехтелевскую стилевую и композиционную специфику организации внутреннего интерьера объёма храма с неординарным стремлением вверх. В практике церковного восстановления подобного архитектурного интерьера православного храма нет. Необходимо и при выполнении росписи сохранить шехтелевские традиции в интерьере.

## Литература

1. Попова, Н.А. Шехтелевские мотивы в купеческой архитектуре Балаково. LAMBERT Academic Publishing / Германия. 2017. С. 11.
2. Попова, Н.А. Белокаменный ФЕНИКС архитектора Ф.О. Шехтеля. Саратов, СГТУ, 2014.
3. Успенский, Л.А. Богословие образа. // Москва 850 лет. Том 1., – М.: Изд. АО. 1996, С.19.

УДК 624.014

### **Краткий обзор и особенности проектирования купольных покрытий зданий и сооружений**

Ращепкина Светлана Алексеевна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство»;

Попова Виктория Николаевна, студент направления «Строительство»;

Пузикова Алина Андреевна, студент направления «Строительство»

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

*Рассматриваются различные типы купольных покрытий, анализируется  
каждое конструктивное решение куполов, указываются их достоинства, недостатки  
и возможное применение.*

Купольные покрытия нашли широкое применение в практике строительства  
большепролетных покрытий. Из металлических пространственных элементов в виде  
куполов создано большое множество красивых современных сооружений. Купола по  
расходу материала являются одними из экономичных покрытий. С увеличением  
диаметра пролета эффективность таких форм существенно повышается.

Купольные конструкции известны с древних времен. Их применяли в  
Месопотамии, Сирии, Иране, Древнем Риме. Ранее основным материалом при  
возведении был камень и кирпич. Наиболее известные древние купола имели пролет до  
30...40 м. С внедрением в строительство металла и бетона существенно увеличились  
диаметры куполов, и уменьшилась толщина оболочки [1, 2]. Большепролетные  
конструкции, и в том числе купола, во все времена привлекали внимание  
исследователей и проектировщиков. Разработано множество конструктивных форм  
куполов для гражданских и промышленных объектов с применением современных

материалов.

Цель работы – исследовать и систематизировать основные типы куполов, составить их классификацию, выявить достоинства, недостатки и применение.

#### Основные типы купольных покрытий

Купольные конструкции обладают большим разнообразием объемно-пространственных форм, конструктивных решений и технологий возведения. Это позволяет возводить их в качестве покрытий зданий или отдельного сооружения как на объектах гражданского, так и промышленного назначения. Купола хорошо зарекомендовали себя в различных климатических зонах, в том числе и в условиях сурового климата. Купола можно разделить по различным признакам [1-6]: по стреле подъема, условиям работы, материалам и технологии возведения (рис.1); по форме (рис.2); по конструкции (табл.1).

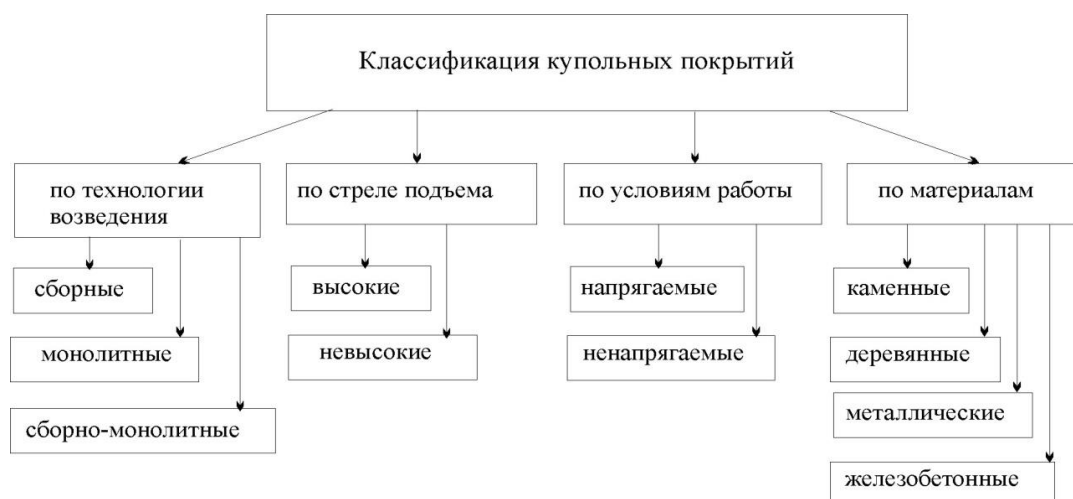


Рис. 1. Классификация куполов (составлено авторами)

#### Анализ различных типов купольных покрытий по их конструкции

Купола в большинстве случаев завершают все сооружение, придают ему высотность и создают красивый вид, архитектурную выразительность. Во многих случаях купол может стать и самостоятельным сооружением – это уникальные общественные и промышленные сооружения. В таких зданиях, как театры, цирки, стадионы, манежи, планетарии купола являются основной конструкцией, с центральной архитектурно-конструктивной схемой всего необычного красивого здания или промышленного сооружения.

В зависимости от меридиональной образующей купола могут иметь форму:

- сферическую (рис.2, а);
- коноидную (рис.2, б);
- параболическую (рис.2, в);
- эллиптическую (рис.1, г).

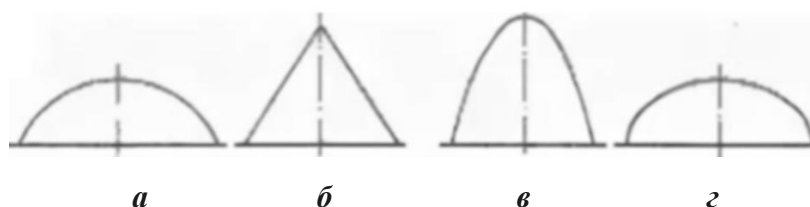


Рис. 2. Очертания купольных покрытий [1]

В конструкции куполов, как и в арочных сводах, усилия и напряжения воспринимается нижним опорным кольцом. Это кольцо принимает на себя растягивающую нагрузку. Верхнее опорное кольцо работает на усилие сжатия. Купольные покрытия могут быть гладкими, ребристыми, ребристо-кольцевыми, сетчатыми, геодезическими, волнистыми и складчатыми (таб. 1).

Рассмотрим некоторые типы куполов подробнее.

Гладкие купола применяются в монолитном строительстве для покрытий диаметром до 150 метров (таб. 1). Такие купола возводят из монолитного железобетона. Здесь внутренняя и внешняя поверхности гладкие. Особенности гладких куполов следующие:

- имеют гладкую внутреннюю и внешнюю поверхности;
- выполняются из железобетона;
- применяются для большепролётных покрытий общественных зданий;
- обеспечивают равномерное распределение усилий и эффективное использование материала;
- устойчивость к нагрузкам: правильная конструкция гладкого купола обеспечивает равномерное распределение нагрузок, что повышает его устойчивость к ветру, снегу и другим воздействиям;
- выпуклая форма способствует простому отводу атмосферных вод;
- гладкие купола имеют хорошие аэродинамические свойства, что снижает воздействие ветра на конструкцию покрытия и в целом на сооружение.

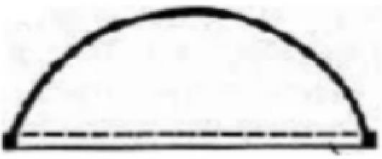
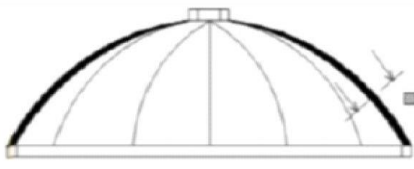

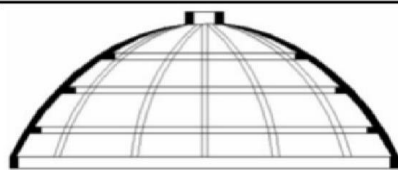
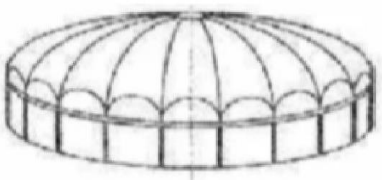
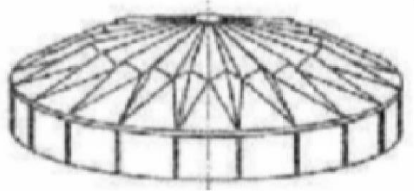
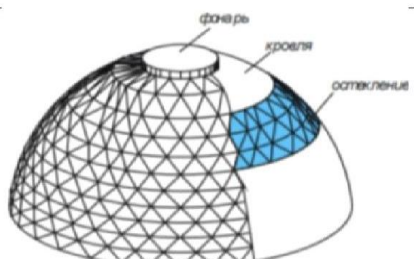
Применение. Такие купола используются в общественных зданиях, таких как спортивные залы, театры, выставочные павильоны и другие.

Ребристые купола. Купол состоит из полуарок прямоугольного сечения, на которые укладываются ограждающая конструкция. Такие конструкции используются в сборных куполах диаметром до 70 метров. Особенности конструирования ребристых куполов (таб. 1):

- покрытие состоит из плоских арок (рёбер), примыкающих к верхнему и нижнему опорным кольцам;

Таблица 1

## Классификация купольных покрытий по конструктивным формам [1-6]

Форма (вид) купола	Краткий анализ
	<i>Гладкие купола</i> . Они имеют ровную поверхность без выступающих кольцевых и продольных рёбер. Часто используются для создания эстетически привлекательных архитектурных форм.
	<i>Ребристые купола</i> . Эти купола состоят из продольных (меридиональных) рёбер, которые обеспечивают прочность и устойчивость оболочечной конструкции. Меридиональные ребра расположены дискретно по периметру купола.
	<i>Геодезические купола</i> . Такие конструкции основаны на геодезической сетке, которая состоит из треугольников или других многоугольников. Пространственная сетка стержней создает сооружению высокую прочность и устойчивость. Применяют такие купола преимущественно в спортивных сооружениях и выставочных центрах.
	<i>Ребристо-кольцевые купола</i> . Они сочетают меридиональные рёбра и кольцевые элементы, что обеспечивает дополнительную прочность и жёсткость конструкции. Такие купола часто используются в промышленных и гражданских зданиях.
	<i>Волнистые купола</i> . Такие купола имеют волнообразную поверхность, которая может создавать интересные визуальные эффекты и необычную архитектурную выразительность. Многоволнистость купола позволяет создавать уникальные архитектурные формы сооружения.
	<i>Складчатые купола</i> . Такие купола могут быть выполнены из различных материалов и имеют разнообразные формы, что позволяет использовать их в различных архитектурных стилях при проектировании культурных центров, выставочных павильонов.
	<i>Сетчатые купола</i> . Такие покрытия имеют пространственную решетчатую систему, состоящую из множества элементов с образованием прочной сетки, обладающей высокой прочностью и лёгкостью. Применяются преимущественно в общественных зданиях специальных сооружениях.

- ограждающая часть покрытия образована настилом по верхним граням рёбер.
- рёбра могут быть выполнены в виде полуарок или прямолинейных элементов из клееной древесины, фанеры или досок;
- высота поперечного сечения рёбер составляет  $1/50$ – $1/75$  диаметра купола;
- меридиональные рёбра располагают с шагом 4,5–6 метров с примыканием к нижнему опорному кольцу;
- для обеспечения устойчивости рёбер и общей жёсткости покрытия между ними устанавливают связи;
- верхнее кольцо проектируется жёстким, так как оно преимущественно работает на изгиб и кручение;
- нижнее опорное кольцо может быть круглым или многоугольным из железобетона, металла или древесины.

Применение. Ребристые купола применяются при устройстве покрытий зданий многоугольной формы. Они используются для круглых, прямоугольных и цилиндрических зданий и сооружений.

Геодезические купола – это необычные конструкции, состоящие из треугольных элементов с равными сторонами (таб. 1). Такие пространственные купола обладают высокой прочностью и устойчивостью. Они могут успешно эксплуатироваться в различных районах с высокой или низкой температурой воздуха. Особенности конструирования геодезических куполов следующие:

- равномерное распределение нагрузок по всей поверхности, что обеспечивает прочность и устойчивость;
- геодезические купола имеют высокую энергоэффективность за счет уменьшения теплопотерь и увеличения естественного освещения;
- возможность использования возобновляемых источников энергии, таких как солнечные панели.

Применение. Геодезические купола успешно применяются в выставочных павильонах, спортивных аренах и жилых комплексах.

Ребристо-кольцевые купола (таб. 1) – это пространственные конструкции, состоящие из радиальных и кольцевых элементов. Они применяются для покрытия зданий круглой и многогранной форм. Особенности ребристо-кольцевых куполов заключаются в следующем:

- радиально расположенные элементы примыкают к верхним и нижним кольцевым элементам;
- поперечные и вертикальные связи служат для обеспечения общей и местной

устойчивости элементов и неизменяемости пространственного покрытия;

- верхнее кольцо выполняют из стальных элементов, а нижнее – из мощных железобетонных или стальных элементов;
- такие купола могут быть применены в зданиях и сооружениях различных размеров, при проектировании их в различных проектах уникальных, красивых сооружений;
- рёбра и кольца равномерно распределяют нагрузку по поверхности купола, что существенно уменьшает усилия в элементах и снижает расход материала на покрытие и стоимость строительства.

Применение. Ребристо-кольцевые купола используются для покрытия больших и малых зданий с многоугольным и круглым планом, таких как спортивные залы, выставочные павильоны, развлекательные центры и другие сооружения.

Укажем достоинства и недостатки купольных покрытий (таб. 1).

Достоинства:

- купола позволяют эффективно использовать внутреннее пространство здания, особенно в помещениях с круглой или многоугольной формой плана;
- покрытия имеют заметно меньшую массу по сравнению с плоскими крышами, что снижает нагрузку на фундамент и несущие конструкции;
- обтекаемая форма купола обеспечивает хорошую аэродинамику, что уменьшает воздействие ветровых нагрузок на покрытие;
- в купольных покрытиях имеется возможность установки вентиляционных систем, кондиционеров и различных коммуникаций, необходимых для обслуживания здания;
- необычность формы купола придает зданию либо сооружению красивый и привлекательный вид.

Недостатки:

- количество отходов материалов при возведении, а также затруднения с ремонтом и заменой элементов;
- невозможность использования некоторых материалов и ограничения по месту строительства;
- купольные конструкции могут иметь сложности с утеплением и изоляцией из-за своей формы, что требует дополнительных усилий и материалов;
- они могут иметь ограничения в размещении мебели и оборудования из-за своей формы, что требует тщательного планирования интерьера здания.

Анализ расхода стали для разных типов купольных покрытий

В таб. 2 приведены основные показатели купольных покрытий для промышленных объектов – вертикальных цилиндрических резервуаров (РВС).

Рассмотрен расход стали для купольных крыш различных типов.

Таблица 2

Расход стали на купольные крыши различных конструкций [5]

Объем резервуара (РВС), м <sup>3</sup>	Диаметр купола D, мм	Купольная крыша из щитов, т	Каркасная купольная крыша поэлементной сборки, т	Купольная сетчатая крыша из алюминиевых элементов, т
10000	34200	51,38	74,97	14,69
10000	28500	35,00	51,07	10,20
20000	39900	72,51	102,64	20,00
30000	45600	103,39	145,47	26,12

На рис. 3 представлены графики зависимости «Диаметр купола – расход металла», где расход металла дан в кг/м<sup>2</sup> горизонтальной площади купола. Из графиков четко просматривается разный расход металла при различных конструктивных типах купольных покрытий.

С увеличением диаметра купола расход металла заметно увеличивается при щитовом и каркасном покрытии. В то время как при сетчатом покрытии он практически одинаковый. Сетчатое покрытие является наиболее легким и экономичным с точки зрения расхода металла; то есть имеется существенный плюс для установления типа купола при реальном проектировании и его возведении.

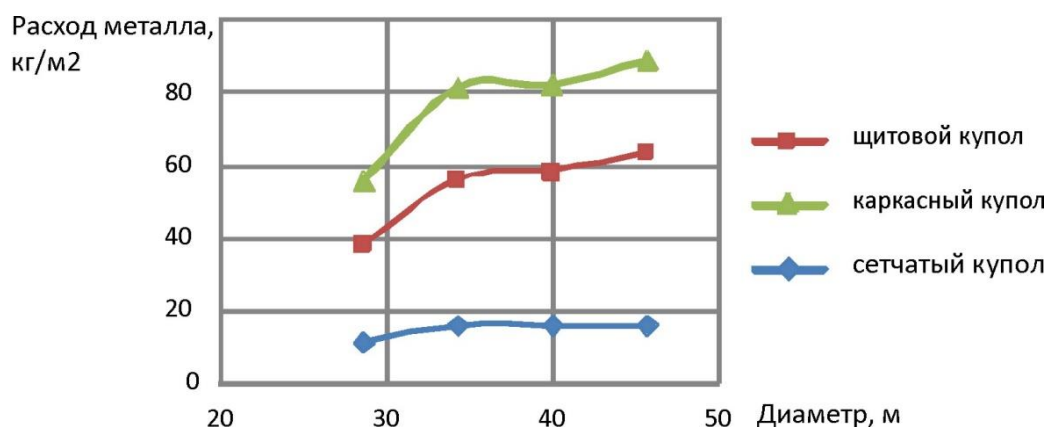


Рис. 3. Зависимость «Диаметр купола – расход металла»

На рис. 4 представлены гистограммы расхода стали на купола разных диаметров и конструктивных решений, анализ которых показал следующее:

- с увеличением диаметра купола расход металла заметно увеличивается;
- сетчатый купол имеет наименьшую массу;
- на каркасный купол расходуется наибольшее количество металла;
- для всех конструктивных решений наблюдается практически одинаковая тенденция увеличения массы купола при увеличении его диаметра.

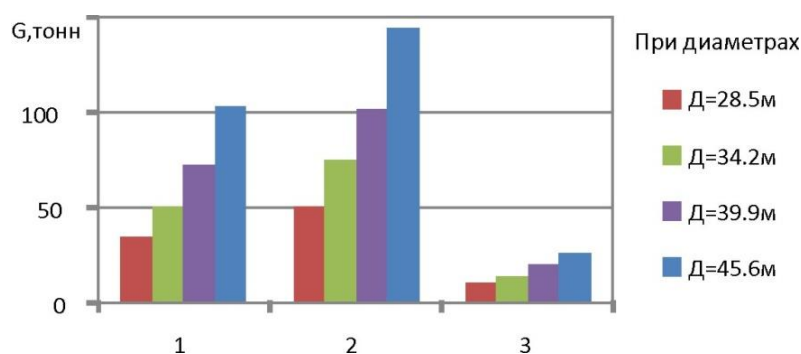


Рис.4. Влияние диаметра купола на расход металла на покрытие:  
1 – купол из щитов; 2 – каркасный купол; 3 – сетчатый купол

Рассмотренные купольные покрытия представляют собой высокоэффективные конструктивные сооружения, обладающие рядом существенных преимуществ перед другими типами покрытий. Благодаря положительной гауссовой кривизне они обеспечивают значительную жесткость конструкции и оптимальное использование внутреннего пространства. Купола делятся по различным признакам: по конструкции, форме, стреле подъема, условиям работы, материалам, технологии возведения.

Купольные покрытия являются перспективным направлением в современном строительстве большепролетных зданий и сооружений, сочетающим в себе архитектурную выразительность и высокую конструктивную эффективность.

#### Литература

1. Тур, В.И. Купольные конструкции: формообразование, расчет, конструирование, повышение эффективности / В.И. Тур. – Москва: АСВ, 2004 – 96 с.
2. Липницкий, М.Е. Купола. Расчет и проектирование / М.Е. Липницкий. – Ленинград: Стройиздат, 1973. – 129 с.
3. Металлические конструкции: справочник проектировщика: в 3-х т. / под общ. ред. В.В. Кузнецова. Т. 2 Стальные конструкции зданий и сооружений. Москва: АСВ, 1998. – 512 с.
4. Энгель, Х. Несущие системы / Х. Энгель. Пер. с нем. Л.А. Андреевой – Москва: АСТ: Астрель, 2007. – 344 с.
5. Денисова, А.П. Вариантное проектирование стальных конструкций / А.П. Денисова, Д.В. Лахметкин, О.В. Котова. Саратов: СГТУ, 2009. – 99с.
6. Торкатюк, В.И. Монтаж конструкций большепролетных зданий / В.И. Торкатюк. – Москва: Стройиздат, 1985. – 170 с.