



СБОРНИК ТРУДОВ

ХII ВСЕРОССИЙСКОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
И ПУТИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ,
ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

ТОМ I

Балаково 2026

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

СБОРНИК ТРУДОВ

**XII ВСЕРОССИЙСКОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

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

ТОМ 1

Балаково 2026

УДК 621.311, 677, 620.9

ББК 31.4+35.71+31.19

C23

Сборник трудов XII Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий» (23 апреля 2026 г.). – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2026. – Т.1. – 272 с.

Сборник содержит статьи по итогам докладов, включенных в программу XII Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий», состоявшейся 23 апреля 2026 г. 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, А.А. Усов.

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

Статьи получены до 30 апреля 2026 г. Статьи сборника издаются в авторской редакции.
ISBN 978-5-7262-3278-2

© Балаковский инженерно-технологический
институт (филиал)
Национального исследовательского ядерного
университета «МИФИ», 2026

Подписано в печать 05.08.2026. Формат 60x84 1/16
Печ. л. 17. Изд. № 025-2. 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

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

СЕКЦИЯ 1

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

АЛЕКСЕЕВ Н.Е., УСТИНОВ Н.А.

Энергосбережение при очистке газов циклонным пылеуловителем 7

АНДРЕЙЦОВ К.А., РОГОВА М.В.

Оценка экономической эффективности вариантов при проектировании сети
электроснабжения 12

ГАРИЕВСКИЙ М.В., БУРДЕНКОВА Е.Ю.

Расширение регулировочного диапазона электрических нагрузок ТЭЦ за счет
использования тепловых аккумуляторов фазового перехода 18

ГИДАЯТОВ Э.Э., ГРИЦЮК С.Н.

Ресурсосбережение в атомной энергетике 25

ГОРБАЧЕВ Д.А., МЕФЕДОВА Ю.А.

Использование нечеткой логики в регуляторах уровня систем регулирования 30

ЕПИШИН А.Ю.

Совершенствование режимов управления силовых энергетических
установок при изменении температуры окружающего воздуха 37

ЕФРЕМОВА Т.А.

Расчет надежности бесперебойного питания для системы контроля
перемещений трубопроводов реакторной установки 43

ЖАРОВ М.А., МЕФЕДОВА Ю.А.

Обзор регуляторов компенсатора давления атомной станции с реактором
ВВЭР-1000 48

ЗАЛИЗСКИЙ А.Г.

Опыт совершенствования и увеличения срока службы элементов
термометрических систем в высокопотенциальной рабочей среде паровых
турбин 53

ЗАЛИЗСКИЙ А.Г., АВРУЦКИЙ Г.Д., МАШЕВСКИЙ Р.В.

Температурный режим камеры регулирующей ступени и корпуса ЦВД
паровых турбин К-100-90 и К-200-130 ЛМЗ 67

КИРСАНОВ И.А., РАЗУВАЕВ А.В.

Анализ работы различных компенсаторов давления с ядерными реакторами 90

КОРНИЛОВА Н.В.

Постановка задачи разработки информационного обеспечения цеха
по ремонту и техническому обслуживанию электрооборудования
и электрических сетей предприятия 95

ЛУСКАНЬ О.А.

Импульсный инерционный конвейер с грузонесущими роликами:
конструктивные особенности и возможности 101

НАБОКИН А.О., МЕЛЬНИК М.А., ПОГОНЫШЕВ Д.С., ВИННИЙЧУК В.А.

Изучение зависимости стабильности процесса автоматической сварки под
флюсом пульсирующей дугой от параметров конвенционального режима 105

НАЗАРОВ А.С., МИЩЕНКО Б.А., МОРДАКИН К.А., ЩЕГОЛЕВ С.С.

Разработка алгоритмов управления электродвигателями на базе контроллера
LiveTronic в среде Scratch 108

РАЗУВАЕВ А.В., АКИНФИЕВА А.А., МАЙЕР А.В., КОЛМАКОВ Ю.Н.

Повышение эффективности парового котла на объекте эксплуатации 114

ТИХОНОВ С.А., ГРИЦЮК С.Н.

Автоматизированный контроль технического состояния оборудования АЭС 119

ЯСАКОВ В.П., УСТИНОВ Н.А., КРАСНОЛУДСКИЙ Н.В.

Разработка конструкции тренажёра для реабилитации и развития силовой
выносливости мышц кисти и предплечья у оперативного персонала АЭС 123

СЕКЦИЯ 2

«ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ»

ЖУМАТИЙ Е.В., ВИШТАК О.В.

Организация контроля деятельности обучающихся в дополнительном
образовании 130

КАЛИНКИН В.С., ГОРШКОВ Е.А.

ИТ-решение для ведения реестра пациентов и управления госпитализацией с
использованием платформы 1С 139

КИСЛИНСКАЯ А.А., ОЧКУР Г.В., ВИШТАК О.В.

Критерии анализа ИИ-сервисов для учета биоритмов деятельности обучающегося 145

КОЖАНОВА А.А., СЕЛИВАНОВА С.Е.

Иммерсивные технологии (VR/AR) в профессиональном образовании: практика внедрения и перспективы для подготовки кадров атомной отрасли 150

КОНЕВ Д.О., ПОДГОРНОВ А.А.

Локальное развертывание эффективных языковых моделей с использованием технологии RAG 156

КОПНАЛИНА А.Д., ВИШТАК Н.М.

Проектирование программного модуля информационной поддержки социологических исследований 161

ЛАЗАРЕВ Н.А., ЧУПРАКОВА Н.В.

Распределение вычислительных мощностей в информационных системах с большим количеством запросов 166

ЛЫСЯКОВ М.С., ШТЫРОВА И.А.

Проектирование веб-сервиса онлайн-бронирования для предприятия общественного питания 170

ПАНИЦКОВА П.А., ОЧКУР Г.В.

Разработка интерактивного образовательного ресурса для изучения языка программирования Python 176

РЫБАЛКО Т.Е., ВИШТАК Н.М., МИХЕЕВ И.В.

Соревнования по программированию как средство развития компетенций ИТ-специалистов 183

СВИРИДОВА Е.В., НИКИФОРОВ Д.Д.

Организационные аспекты разработки образовательных игр 187

СКОБЛИКОВА Е.А.

Инновационные технологии как средство формирования профессиональных компетенций в системе высшего образования 191

СЕКЦИЯ 3
«ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

АНДРЕЕВА Н.В., АНАШКИН Н.С.

Аддитивные технологии в современном строительстве: мировой опыт,
перспективы развития 198

АНДРЕЕВА Н.В., СЛОБОДЯНИК К.К.

Бетон как основной материал в современном строительстве: свойства,
классификация и технологии применения 203

ЗЕМЛЯНСКИЙ А.А., АНДРОСОВ А.В.

Новый метод достоверной оценки НДС грунтового основания под фундаментом
мелкого заложения с использованием датчиков нового поколения 205

ЗЕМЛЯНСКИЙ А.А., КАБДЕЛОВ Д.Б.

Нетрадиционный метод активного кольцевого армирования слабых грунтов 213

МАГЕРРАМОВА И.А., ЕЛШИНА С.А.

Бесшовные технологии в монолитном строительстве - суть и преимущества 222

МАГЕРРАМОВА И.А., МАГЕРРАМОВА Э.Р.

Бетонное полотно - применение в строительной отрасли 226

ПОПОВА Н.А.

Историческая специфика архитектуры торговых площадей города Балаково 230

ПОПОВА Н.А.

Проект зодчего Шехтеля Ф.О. «Белокриницкая церковь А. Мальцева во имя
Святой и Живоначальной Троицы» в Балаково 236

РАЩЕПКИНА С.А., РЯЗАНОВА И.Н.

Краткий обзор развития купольных покрытий зданий и сооружений 244

РАЩЕПКИНА С.А., СТЕПАНОВА В.Л.

О покрытиях в виде оболочек, применяемых в зданиях и сооружениях 253

РЕДКОВ В.И.

Геотехническое моделирование для оценки рисков потери общей устойчивости
дамбы обвалования 263

СОЗИНОВА В.О., ИВАНОВА Т.А.

Перспективы применения светопрозрачных конструкций для большепролетных
покрытий зданий 268

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

СЕКЦИЯ № 1

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

УДК 621.928.9

Энергосбережение при очистке газов циклонным пылеуловителем

Алексеев Никита Евгеньевич, студент направления «Теплоэнергетика и теплотехника»;

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

Статья посвящена обзору существующих способов снижения гидравлического сопротивления с помощью двух вариантов насадок для противоточного циклона типа ЦН-15: с насадкой плавного обтекания и со струевыпрямителями в выхлопной трубе. Представлены результаты экспериментального сравнения гидравлического сопротивления этих насадок, а также выявлено, что каждая из известных насадок устраняет только одну из двух основных причин потерь, для чего была предложена конструкция комбинированной насадки, направленной на устранение этих недостатков.

Циклон (центробежный пылеуловитель) – это пылеуловительная система, в которой твердые частицы удаляются из закрученного газового потока под действием центробежных сил.

Это наиболее распространенный в промышленности тип обеспыливающего оборудования [1]. Он прост в конструкции и обычно не имеет движущих частей. Циклон состоит из цилиндрического корпуса, конического днища, входного патрубка, крышки и выхлопной трубы (рис. 1).

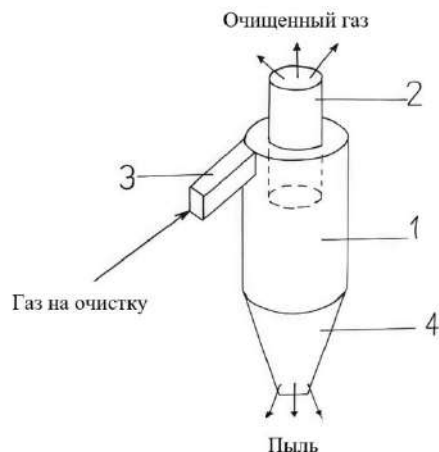


Рисунок 1 – Стандартная конструкция циклона

Поступающий на очистку газ подводится к центробежному пылеосадителю по трубопроводу 3, направленному тангенциально к цилиндрической части аппарата 1. В результате газ вращается внутри циклона вокруг выхлопной трубы 2. Под действием центробежной силы, возникающей при вращательном движении газа, твердые частицы большей массы отбрасываются от центра к периферии, осаждаются на стенке, а затем через коническую часть 4 удаляются из аппарата. Очищенный газ через выхлопную трубу 2 поступает в производство или выбрасывается в атмосферу. Циклоны применяют в качестве первой ступени очистки перед мокрыми и тканевыми фильтрами, а также в качестве самостоятельного агрегата обеспыливания. Несмотря на простоту конструкции, противоточные циклоны обладают сравнительно высоким гидравлическим сопротивлением от 0,8 до 2 кПа. Гидравлическое сопротивление циклона зависит от скорости газа во входном патрубке циклона, от плотности газовой среды и от коэффициента гидравлического сопротивления, который зависит от скорости газа во входном патрубке и от плотности газовой среды. Значение перепада давления в циклоне и факторов, влияющих на него, необходимы для предсказания потребляемой энергии, и, если это возможно, уменьшения ее путем выбора лучших параметров циклона.

Известны следующие причины перепадов давления (падение или повышение): потери давления во входной трубе вследствие трения; потери, обусловленные расширением или сжатием газа на входе; потери в циклоне вследствие трения о стенки; потери кинетической энергии внутри выхлопной трубы; потери на входе в выхлопную трубу; гидростатический напор между входной и выхлопной трубой.

Две из перечисленных причин потерь: потери на входе в выхлопную трубу (вихреобразование на острой кромке) и потери кинетической энергии внутри выхлопной трубы (сохранение вращательного движения в выхлопной трубе) являются предметом активных исследований, поскольку их можно уменьшить без изменения

основных размеров аппарата и с минимальными затратами.

Ранее в Саратовском государственном техническом университете были разработаны и запатентованы два устройства, направленные на снижение этих потерь.

Первое – насадка плавного обтекания, защищённая патентом на полезную модель (рис. 2) [2]. Она представляет собой тело, составленное из тора, охватывающего нижний срез выхлопной трубы, и полого конуса, плавно сопрягающегося с цилиндрической поверхностью трубы. Такая форма ликвидирует острую кромку и обеспечивает плавный вход газа в трубу, что снижает вихреобразование и местное сопротивление на этом участке.

Второе – струевыпрямители, размещаемые внутри выхлопной трубы (рис. 2) [3]. Изогнутые пластины струевыпрямителя постепенно переводят вращательное движение потока в прямолинейное осевое, уменьшая тем самым потери кинетической энергии закрутки внутри выхлопной трубы.



Рисунок 2 – Насадки, участвующие в эксперименте: а – вид сбоку на насадку плавного обтекания 1 и со струевыпрямителем внутри трубы 2; б – вид сверху на насадку плавного обтекания 1 и со струевыпрямителем внутри трубы 2.

Для того чтобы установить, какое из двух известных технических решений даёт меньшее снижение гидравлического сопротивления в строго одинаковых условиях, а также чтобы выявить ограничения каждого из них, было выполнено прямое экспериментальное сравнение.

Эксперимент осуществляется на лабораторной установке (рис. 3), состоящей из компрессора 1, циклона 4, специальных насадок различной конфигурации и измерительных приборов: ротаметра 2 для определения объемного расхода подаваемого воздуха, и дифманометра 3 для определения перепада давления между входом во входной патрубков и атмосферным.

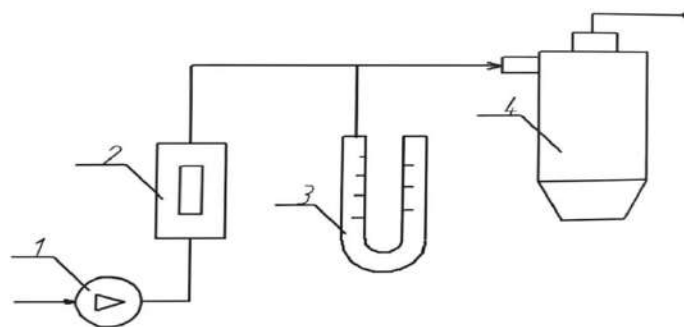


Рисунок 3 – Схема экспериментальной установки: 1 – компрессор; 2 – ротаметр; 3 – дифманометр; 4 – циклон

Методика эксперимента предусматривала поддержание одинакового расхода для всех вариантов выхлопной трубы. Расход устанавливали с помощью крана сброса таким образом, чтобы поплавков ротаметра занимал строго одно и то же положение для каждой испытанной насадки. Измерения выполнялись для трёх значений расхода. Воздух подавался чистый, без пыли, оценивалось только гидравлическое сопротивление. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментов

№ экп.	Циклон (без насадки)		Циклон с насадкой плавного обтекания		Циклон с насадкой струевыпрямления в выхлопной трубе	
	$Q, \text{м}^3/\text{с}$	$\Delta P, \text{мм.вд.ст.}$	$Q, \text{м}^3/\text{с}$	$\Delta P, \text{мм.вд.ст.}$	$Q, \text{м}^3/\text{с}$	$\Delta P, \text{мм.вд.ст.}$
1	$0,5 \times 10^{-3}$	92	$0,5 \times 10^{-3}$	80	$0,5 \times 10^{-3}$	84
2	0,75	115	0,75	91	0,75	99
3	1	154	1	117	1	122

Как следует из таблицы, наименьшее сопротивление во всём диапазоне расходов обеспечивает насадка плавного обтекания, а наибольшее базовый циклон. Вариант со струевыпрямителями внутри выхлопной трубы занимает промежуточное положение.

При максимальном расходе перепад давления для базового циклона составил 154 мм вод. ст. Установка насадки плавного обтекания снизила сопротивление до 117 мм вод. ст., то есть на 24 % относительно базы. Струевыпрямители позволили получить сопротивление 122 мм вод. ст., что на 21 % ниже исходного, но на 4 % выше результата обтекателя. Более низкая эффективность струевыпрямителей (21 % против 24 % у обтекателя) физически объясняется тем, что пластины, гася вращение потока и тем самым снижая кинетические потери, одновременно вносят дополнительное сопротивление трению о свою поверхность и создают местные потери в каналах, в результате часть полученного выигрыша теряется.

Принципиальный вывод состоит в том, что каждое из рассмотренных устройств воздействует лишь на один из двух основных источников гидравлических потерь:

1) насадка плавного обтекания устраняет вихреобразование на острой входной кромке

выхлопной трубы, но не препятствует сохранению вращательного движения внутри нее;

2) струевыпрямители внутри выхлопной трубы препятствуют турбулизации потока, однако не влияют на входные вихри.

Следовательно, ни одно из известных технических решений не реализует полностью имеющийся потенциал снижения сопротивления. Это обосновывает необходимость создания конструкции, в которой оба положительных эффекта были бы объединены. На основании выполненного анализа предложена полезная модель, в которой струевыпрямители размещены не внутри выхлопной трубы, а на наружной поверхности насадки плавного обтекания (рис. 4).



Рисунок 4 – Комбинированная насадка

Насадка образована тремя сопряжёнными элементами: тором с диаметром сечения d и внутренним диаметром, равным диаметру выхлопной трубы; усечённым конусом с углом наклона образующей α ; конусоподобным телом, обеспечивающим плавный переход к цилиндрической поверхности трубы. На её поверхности закреплены изогнутые пластины – струевыпрямители. В кольцевом зазоре между корпусом и насадкой пластины ориентированы вдоль направления вращающегося потока, а в выхлопной трубе переходят в осевое направление. Начальные и конечные участки пластин скошены под углом 45° для уменьшения турбулизации.

Такая конструкция теоретически позволяет:

- 1) подавить вихреобразование на входе в выхлопную трубу благодаря плавному обтеканию;
- 2) погасить вращательное движение газа внутри трубы;
- 3) избежать существенного сужения проходного сечения, поскольку пластины не образуют сплошного тела, а играют роль направляющих.

Ожидается, что комбинированная насадка обеспечит снижение гидравлического сопротивления, превышающего 24% (достигнутые насадкой обтекания), при сохранении или даже повышении степени очистки, что будет проверено экспериментально на следующем этапе работы.

Литература

1. Швыдкий, В.С., Ладыгичев, М.Г. Очистка газов: Справочное издание. / В.С. Швыдкий, М.Г. Ладыгичев. – Москва: Теплоэнергетик, 2002. – 640 с.
2. Патент 93037 Российская Федерация, МПК В04С 7/00. Противоточный циклон с пониженным гидравлическим сопротивлением / Устинов Н.А., Грунин А.Н., Матказина А.А.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Саратовский государственный технический университет. – № 2008147595/22; заявл. 02.12.2008; опубл. 20.04.2010, Бюл. № 11.
3. Патент 111463 Российская Федерация, МПК В04С 5/00. Циклон с организованным движением газового потока / Устинов Н.А., Матказина А.А., Иванов А.Н.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Саратовский государственный технический университет. – опубл. 20.12.2011, Бюл. № 35.

УДК:621.316.004

Оценка экономической эффективности вариантов при проектировании сети электроснабжения

Андрейцов Кирилл Александрович, студент направления подготовки

«Электроэнергетика и электротехника»

Рогова Марина Викторовна, 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 приведены результаты расчета экономической эффективности трех вариантов технических решений сети электроснабжения по методике, базирующейся на определении интегральных показателей, характеризующих проект в пределах расчетного времени, охватывающего и продолжительность строительства, и срок эксплуатации.

При выборе конфигурации проектируемой сети электроснабжения главным вопросом является обеспечение надежного и качественного электроснабжения потребителей, то есть бесперебойность подачи электроэнергии. Разрабатываются несколько вариантов схем сети электроснабжения (радиально-магистральная, кольцевая и комбинированная), удовлетворяющих этому техническому требованию. Выбор наиболее эффективного варианта сети определяется величиной интегрального эффекта.

Существуют две группы методов оценки экономической эффективности:

статические (без учета фактора времени) и интегральные (методы дисконтирования).

Для выбора оптимального варианта проектируемой сети электроснабжения промышленного района предпочтительнее использовать метод, основой которого является дисконтирование, то есть приведение неравнозначных капитальных затрат по всем источникам финансирования и возникающих в разные моменты времени к реальной их величине в определенный момент времени. Для экономической оценки используются интегральные показатели: чистый дисконтированный доход (ЧДД); индекс доходности (ИД); внутренняя норма доходности (ВНД); срок окупаемости [1, 2].

Чистый дисконтированный доход – превышение интегральных доходов над интегральными расходами – определяется по формуле:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \cdot a_t - K_d,$$

где R_t – доход, достигаемый на t -м шаге расчета;

Z_t – затраты (без капитальных), осуществляемые на t -м шаге расчета;

T – продолжительность расчетного периода, или горизонт расчета;

a_t – коэффициент дисконтирования:

$$a_t = \frac{1}{(1 + E)^t}$$

где E – норма дисконта, равная приемлемой для инвестора норме дохода на капитал;

t – номер шага расчета, (по годам, начиная с момента начала проектирования).

Величина дисконтированных капиталовложений:

$$K_d = \sum_{t=0}^T K_t \cdot a_t$$

где K_t – капиталовложения на t -м шаге.

Индекс доходности (ИД) определяет эффективность вложений в проект и представляет отношение суммы приведенных доходов к величине дисконтированных капиталовложений:

$$\text{ИД} = \frac{\sum_{t=0}^T (R_t - Z_t) \cdot a_t}{K_d}$$

Внутренняя норма доходности (ВНД) – это норма дисконта $E_{\text{ВН}}$, при которой величины приведенных доходов и приведенных капиталовложений равны, то есть ее величина может быть найдена из уравнения:

$$\sum_{t=0}^T \frac{(R_t - Z_t)}{(1 + E_{\text{ВН}})^t} = \sum_{t=0}^T \frac{K_t}{(1 + E_{\text{ВН}})^t}$$

Срок окупаемости – временной интервал (от начала осуществления проекта), за пределами которого ЧДД становится не отрицательным, то есть после этого периода

все затраты покрываются суммарным доходом его реализации.

К рассмотрению были приняты три варианта схемы сети электроснабжения промышленного района, отличающиеся схемами соединения подстанций [3]. На рисунке 1 представлены варианты рассматриваемых схем сети.

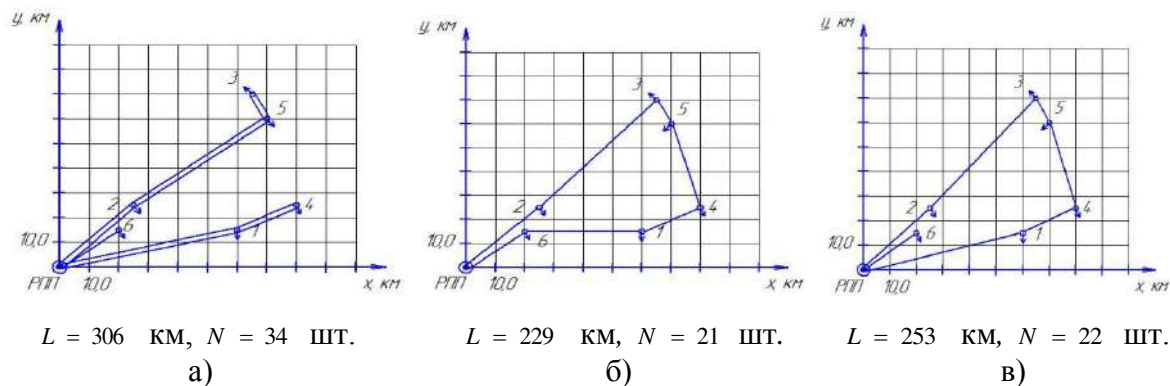


Рисунок 1 – Варианты рассматриваемых схем сети: а – радиально-магистральная сеть, вариант №1; б – кольцевая сеть, вариант 5; в – комбинированная сеть, вариант 9

Были приняты:

1. Норма доходности рубля (норма дисконта) $E=10\%=0,01$
2. Норма на обслуживание $p_0 = 6\%$ от капиталовложений.
3. Горизонт расчета зависит от сроков эксплуатации, реконструкции и ликвидации сети; сроков службы оборудования; и составляет 10 лет.
4. Срок строительства сети – три года.
5. Капиталовложения в сеть распределены по годам строительства.: 1 год – 30%; 2 год – 50%; 3 год – 20%.

Стоимость объема работ при строительстве и реконструкции ПС определена набором составляющих затрат, к которым относятся: РУ и отдельные ячейки выключателей; трансформаторы; компенсирующие и регулирующие устройства; постоянная часть затрат.

Показатели стоимости ОРУ 35-1150 кВ учитывают установленное оборудование (выключатель, разъединитель, трансформаторы тока и напряжения, разрядники); панели управления, защиты автоматики, установленные в ОПУ или ячейки; кабельное хозяйство в пределах ячейки, строительные и монтажные работы.

Стоимость ячейки выключателя складывается из затрат на оборудование (60%); релейную защиту, кабели, панели в ОПУ (22%); ошиновку, порталы, строительные и монтажные работы (18%).

Стоимость постоянной части затрат по ПС определена с учетом схемы электрических соединений и высшего напряжения ПС по таблице 7.30 [2].

Базисные показатели стоимости ПС [2] скорректированы с учетом НДС=18% и

приведены к ценам 2026 года коэффициентом удорожания $K_{уд}=4,28$ (прил. 5 [4]).

Стоимость постоянного отвода земли принята с учетом расчетных значений площади отвода земли под опоры ВЛ, и зависит от типа и материала опор, использования расчетного пролета и др. При использовании типовых опор ВЛ и средних условий сооружения ВЛ площадь постоянного отвода земли принята по данным [2, табл. 7.7].

В таблицах 1 и 2 приведены результаты расчета капиталовложений на сооружение подстанций и воздушных линий для варианта №1 схемы сети.

В таблице 3 представлены результаты расчета затрат на строительство ВЛ по вариантам.

Таблица 1 – Расчёт стоимости ячеек трансформаторов (вариант 1)

ПС	U _{ном} ,кВ	n _{тр}	S _{ном.тр} , кВА	K ₀ , т.р, цены 2000г	K _{тр} , т.р. цены 2000г.
1	110/6	2	32000	5500	11000
2	110/10	2	16000	4500	9000
3	110/10	2	16000	4500	9000
4	110/6	2	6300	3500	7000
5	110/10	2	10000	4000	8000
6	110/6	1	40000	6000	6000
Итого					50000

Таблица 2 – Расчёт стоимости строительства ВЛ (вариант 1)

Участок	n _ц	L, км	F, мм ²	K _{уд} , т.р/км, цены 2000г.	K _{лэп} , т.р. цены 2000г.
1-4,	2	22	АС-120/19	1150	12650
РПП-1	2	62	АС-120/19	1150	28750
РПП-6	1	25	АС-120/19	1150	12650
5-3,	2	36	АС-120/19	1150	41400
2-5,	2	57	АС-120/19	1150	25300
РПП-2	2	11	АС-120/19	1150	71300
Итого					192050

Таблица 3 – Результаты расчета затрат на строительство ВЛ по вариантам

Статьи затрат	Величина затрат, млн. руб.		
	Вариант 1	Вариант 5	Вариант 9
Стоимость ВЛ по базисным показателям	192,05	217,55	264,1
Вырубка и подготовка просеки	4,75	9,5	9,5
Устройство лежневых дорог	22,2	29,6	40,7
Доп. затраты на строительство	-	-	-
Пп.1-4 с учетом зонального коэффициента	219	256,65	314,3
Стоимость земельного участка под опоры	4,02	3,66	4,05
По п.5 с учетом НДС 18%	258,42	302,85	370,87
П.7 с учетом коэффициента удорожания $k_{уд}=4,98$	1286,93	1508,18	1846,95
Затраты на ПИР и благоустройство	160,87	188,52	230,87
Общая величина затрат	1451,81	1700,36	2081,87

Стоимость строительства подстанции потребителей [2, 3]:

$$K_{ПС}=(K_{ТР\text{ сумм}}+K_{ВЫКЛ}+K_{ПОСТ})\times 1,155+K_{ЗЕМ}$$

где 1,155 – коэффициент, учитывающий затраты на благоустройство территории, создания временных зданий и сооружений, проект-изыскательские работы, прочие

работы и затраты [2].

Стоимость строительства электрической сети

$$K_{\text{ЭЛ СЕТИ}} = K_{\text{ВЛ}} + K_{\text{ПС}}$$

В таблице 4 представлены результаты расчета затрат на сооружение ПС.

Таблица 4 – Результаты расчета затрат на сооружение ПС.

Стоимость, млн.руб.	Схема варианта 1	Схема варианта 5	Схема варианта 9
Трансформатор	252,52		
Ячейки высоковольтных элегазовых выключателей	1437,85	774,23	811,09
Постоянная часть затрат	27,272		
Отвод земли	24		
Строительство подстанций	2007,88	1241,39	1283,97
Строительство сети	3459,69	2941,76	3365,84

График срока окупаемости инвестиций показан на рисунке 2.

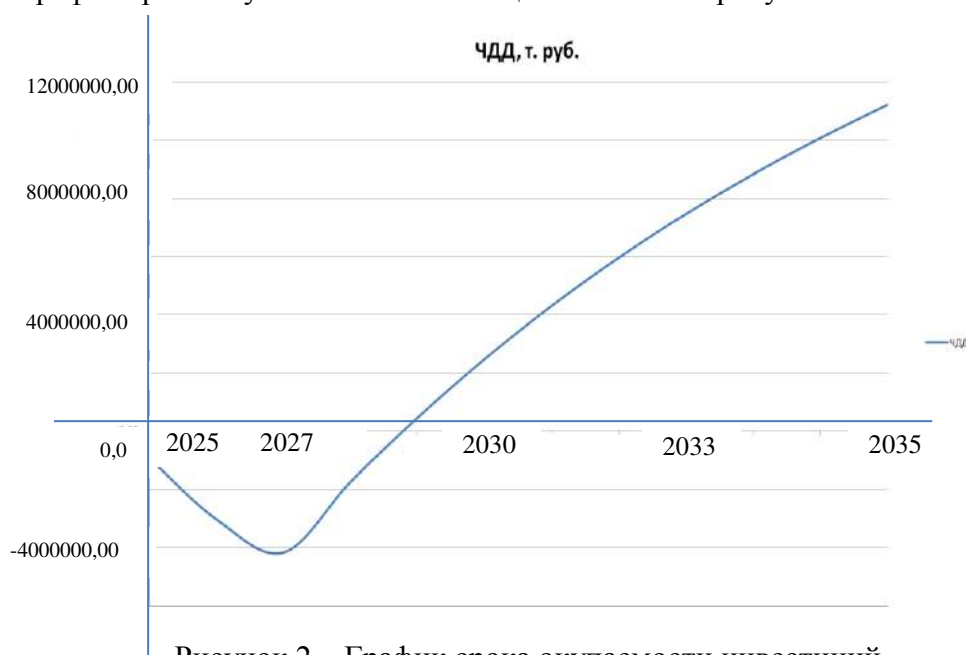


Рисунок 2 – График срока окупаемости инвестиций

Результаты расчета ожидаемых показателей по варианту 1 представлены в таблице 6.

Результаты расчета интегральных критериев по вариантам представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Техничко-экономическое обоснование проекта

Показатели	Единицы измерения	Варианты		
		№1	№5	№9
Интегральный эффект (ЧДД)	млн.р.	1142080,62	1059821,68	1048840,20
Индекс доходности	руб/руб	2,69	2,1	1,9
Срок окупаемости	лет	3,8	5,6	5,7
ВНД	%	35	32	32

Таблица 6 – Ожидаемые технико-экономические показатели проекта

Показатели	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Выручка от реализации, т. руб.	–	–	–	4254346,8	4254346,8	4254346,8	4254346,8	4254346,8	4254346,8	4254346,8	4254346,8	4257502,7
Кап. влож., т. руб.	691938	1729845	1037907	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Тариф, руб./кВт·ч	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45	3,45
Уд. себестоимость трансф. эл. энергии, руб./кВт·ч	–	–	–	2,971	2,971	2,971	2,971	2,971	2,971	2,971	2,971	2,973
Затраты на потери эл. энергии, т. руб.	–	–	–	89,95	89,95	89,95	89,95	89,95	89,95	89,95	89,95	90,03
Отчисления на обслуж., т. руб.	–	–	–	207581,4	207581,4	207581,4	207581,4	207581,4	207581,4	207581,4	207581,4	207581,4
Валовая прибыль, т. руб.	–	–	–	4046575,4	4046575,4	4046575,4	4046575,4	4046575,4	4046575,4	4046575,4	4046575,4	4049931,27
Налоги и сборы, т. руб.	–	–	–	1513570,18	1513570,18	1513570,18	1513570,18	1513570,18	1513570,18	1513570,18	1513570,18	1519972,51
Чистая прибыль, т. руб.	–	–	–	2423005,25	2423005,25	2423005,25	2423005,25	2423005,25	2423005,25	2423005,25	2423005,25	2429958,75
Чистый доход (без дисконтирования), т. руб.	-591935	-1729845	-1037907	2423005,25	2423005,25	2423005,25	2423005,25	2423005,25	2423005,25	2423005,25	2423005,25	2429958,75
Коэф. дисконтирования	1,331	1,21	1,1	1,0	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,56	0,51	0,47
ЧДД, т. руб.	-920959,48	-2093112,45	-1141597,7	2428005,25	2209434,79	2015244,37	1821003,95	1651043,58	1505363,25	1359632,95	1238282,58	1142080,52
ЧДД нарастающим итогом, т. руб.	-920959,48	-3014081,93	-4155779,5	-1727774,36	481710,43	2496954,8	4317958,74	5959002,32	7474365,59	5834048,53	10072331,2	11214411,54
Определение ВНД												
Е	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,60	
Левая часть	3122298,74	2980957,85	2854244,25	2740074,48	2536734,15	2542800,96	2457085,96	2378588,30	2305450,0	2239978,27	2178623,55	
Правая часть	10506212,3	7617973,98	5664112,55	4305284,02	3336520,43	2630295,15	2105071,98	1707396,19	1401406,03	1162527,08	973588,13	
Индекс доходности	2,698											

Из анализа полученных значений критериев экономической эффективности следует вывод, что все варианты экономически выгодны, т.к. индексы доходности во всех вариантах больше единицы. Вариант №1 (радиально-магистральная схема электрической сети) является наиболее оптимальным, так как имеет наибольшее значение интегрального эффекта.

Литература

1. Хусаинов, И.М. Примеры расчетов электрических сетей: учебное пособие / И.М. Хусаинов. – Саратов : СГТУ, 2019. – 94 с.
2. Справочник по проектированию электрических сетей / под общ. ред. Д.Л. Файбисовича. – изд. 2-е, перераб. и доп.. – Москва : Издательство НЦ ЭНАС, 2019. – 352 с.
3. Лыкин, А.В. Электрические системы и сети / А.В. Лыкин – Москва : Изд-во Логос, 2018. – 256 с.
4. Минстрой России. Индексы изменения сметной стоимости оборудования на 1 квартал 2024г.: письмо от 28.02.2024 №3085-ЕС/0,8.

УДК 621.311.22:697.34

Расширение регулировочного диапазона электрических нагрузок ТЭЦ за счет использования тепловых аккумуляторов фазового перехода

Гариевский Михаил Васильевич, кандидат технических наук,
старший научный сотрудник;

Бурденкова Елена Юрьевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Саратовский научный центр
Российской академии наук», г. Саратов

Исследована возможность расширения регулировочного диапазона электрической мощности теплофикационной паротурбинной установки Т-250/300-240 за счёт интеграции теплового аккумулятора фазового перехода (ТАФП). Разработана термодинамическая модель процессов зарядки и разрядки, учитывающая перераспределение тепловых потоков в цикле. Показано, что аккумулирование теплоты перегретого пара позволяет увеличить выработку электроэнергии в пиковые периоды. Определены пределы расширения диапазона регулирования электрической мощности и оценена эффективность цикла аккумулирования энергии.

Современное развитие электроэнергетики характеризуется ростом доли атомной и возобновляемой генерации, а также увеличением неравномерности графиков электрической нагрузки [1]. В этих условиях возрастает роль манёвренных

генерирующих мощностей, способных оперативно изменять уровень выработки электроэнергии [2]. Наиболее остро проблема покрытия переменной части электрической нагрузки стоит в европейской части РФ, где заметную роль играют крупные теплоэлектроцентрали [3–5].

ТЭЦ, производящие тепло и электроэнергию в комбинированном цикле, отличаются высокой экономичностью по топливу, однако их способность менять электрическую нагрузку ограничена тепловым графиком [6]. В зимний отопительный период регулируемые отборы пара, как правило, полностью загружены, что не позволяет существенно разгружать турбогенератор.

Традиционные способы расширения регулировочного диапазона по отпуску электроэнергии ТЭЦ (включая применение редуционно-охладительных установок либо пиковых водогрейных котлов) ведут к повышению удельного расхода топлива и снижению общей эффективности. В связи с этим востребованы такие технические решения, которые расширяют диапазон регулирования, не ухудшая энергетических показателей.

Одним из перспективных направлений является интеграция систем накопления тепловой энергии в тепловые схемы электростанций. Наибольший интерес представляют тепловые аккумуляторы на основе материалов с фазовым переходом, отличающиеся высокой плотностью аккумулирования энергии и способностью поддерживать почти постоянную температуру при теплообмене [7–10]. Такие системы аккумулирования способны запасать тепло перегретого пара либо других промежуточных потоков и возвращать его в паротурбинный цикл. Это позволяет глубоко разгружать турбину по электрической мощности, не снижая отпуск тепла потребителям.

Целью работы является исследование возможности применения тепловых аккумуляторов фазового перехода для расширения регулировочного диапазона электрической мощности ТЭЦ. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: анализ условий интеграции теплового аккумулятора фазового перехода (ТАФП) в тепловую схему; разработка схемного решения; выбор теплоаккумулирующего материала (ТАМ); оценка влияния ТАФП на параметры паротурбинного цикла; определение диапазона регулирования электрической мощности.

Объектом исследования является теплофикационная паровая турбина Т-250/300-240. Для повышения манёвренности и расширения диапазона регулирования мощности предлагается модернизация установки с интеграцией ТАФП в тепловую схему (рис. 1).

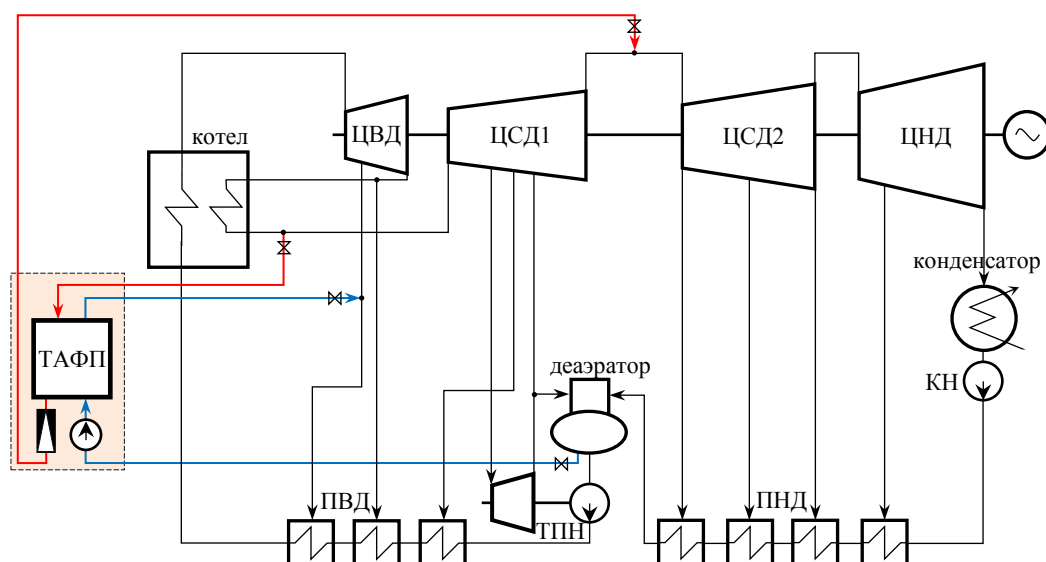


Рисунок 1 – Принципиальная схема паротурбинной установки с аккумуляцией теплоты перегретого пара в ТАФП

В режиме зарядки ТАФП часть перегретого пара с давлением 3,68 МПа и температурой 540 °С отбирается из тракта промежуточного пароперегревателя. В ТАФП пар охлаждается до 385 °С, передавая теплоту теплоаккумулирующему материалу. Гидравлическое сопротивление тракта приводит к снижению давления на 10 % (до 3,32 МПа). Далее пар дросселируется в редукционно-охладительной установке до давления 0,544 МПа и направляется на смешение с основным потоком после цилиндра среднего давления (ЦСД-1).

В режиме разрядки питательная вода температурой 166 °С подается из деаэратора вспомогательным насосом (давление нагнетания 6,35 МПа) в ТАФП. Здесь происходит её нагрев, испарение и перегрев за счёт аккумулированной теплоты. Сгенерированный пар с температурой 375 °С и давлением 5,88 МПа направляется в ПВД-1, вытесняя часть отборного пара; соответствующий расход пара продолжает расширяться в проточной части цилиндра высокого давления турбины, совершая дополнительную работу.

В качестве теплоаккумулирующего материала выбрана эвтектическая смесь $\text{MgCl}_2\text{--KCl--NaCl}$ (50,9–22,1–27,0 мол.%). Материал характеризуется температурой фазового перехода около 380 °С, удельной теплотой плавления порядка 400 кДж/кг и высокой термической стабильностью при циклической работе [11–13].

Тепловые расчёты выполнялись на основе уравнений баланса энергии для процесса теплообмена между греющей средой, теплоаккумулирующим материалом и нагреваемой средой. В рамках моделирования определялись количество аккумулированной энергии в ТАФП; изменение расходов и энтальпий потоков в характерных точках схемы; влияние интеграции ТАФП на параметры паротурбинного

цикла; расширение диапазона регулирования электрической мощности.

Для количественной оценки энергетической эффективности интеграции теплового аккумулятора фазового перехода использован показатель – эффективность цикла аккумулирования энергии ТАФП. В отличие от традиционного определения эффективности цикла аккумулирования энергии для электрических накопителей энергии, в рассматриваемой схеме осуществляется аккумулирование тепловой энергии. Изменение электрической мощности происходит вследствие зарядки и разрядки ТАФП и перераспределения тепловых потоков в паротурбинном цикле. В режиме зарядки часть перегретого пара направляется в аккумулятор, что приводит к снижению электрической мощности электростанции. В режиме разрядки аккумулированная теплота возвращается в цикл, обеспечивая дополнительную выработку электроэнергии без увеличения расхода топлива.

Эффективность цикла аккумулирования энергии в схеме с ТАФП определяется как отношение дополнительной электроэнергии, выработанной в период разрядки ТАФП, к недовыработке в период зарядки:

$$\eta_{\text{РТЕ}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{доп}}}{\mathcal{E}_{\text{недовыр}}} = \frac{\Delta P_{\text{доп}} \cdot \tau_{\text{разряд}}}{\Delta P_{\text{недовыр}} \cdot \tau_{\text{заряд}}}, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_{\text{доп}}$ – дополнительная электроэнергия, выработанная в период разрядки ТАФП, МВт·ч;

$\mathcal{E}_{\text{недовыр}}$ – уменьшение выработки электроэнергии в период зарядки ТАФП, МВт·ч;

$\Delta P_{\text{доп}}$ – дополнительно вырабатываемая электрическая мощность в пиковый период, МВт;

$\Delta P_{\text{недовыр}}$ – уменьшение электрической мощности во внепиковый период, МВт;

$\tau_{\text{разряд}}$ – время разрядки ТАФП, ч;

$\tau_{\text{заряд}}$ – время зарядки ТАФП, ч.

Для оценки эффективности предложенной схемы выполнено термодинамическое моделирование процессов зарядки и разрядки теплового аккумулятора фазового перехода. На рис. 2 представлена t–Q-диаграмма ТАФП для рассматриваемой схемы при времени зарядки ТАФП 8 ч.

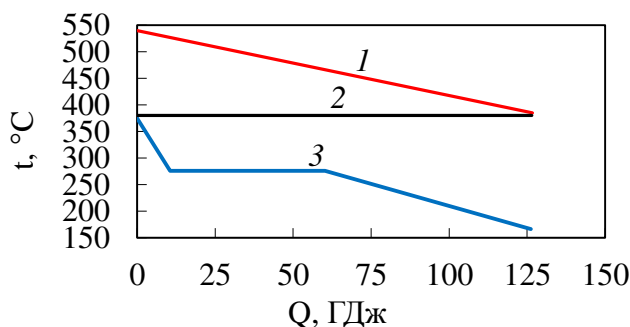


Рисунок 2 – t–Q-диаграммы ТАФП: 1 – греющая среда; 2 – ТАМ; 3 – нагреваемая среда

Дополнительно рассчитаны изменения параметров потоков в тепловой схеме,

включая перераспределение расходов пара в цилиндрах высокого, среднего и низкого давления, расходов греющей и нагреваемой сред в теплообменных аппаратах и изменение электрической мощности турбины в процессах зарядки/разрядки ТАФП.

Моделирование проведено для следующих диапазонов продолжительности зарядки/разрядки: время зарядки 4–12 ч, время разрядки 0,74–12 ч; а также при различных расходах греющего пара и массах/объёмах ТАМ. Эти расчёты дают количественную оценку влияния аккумулирования тепла на изменение электрической мощности станции и на эффективность цикла аккумулирования энергии ТАФП.

Результаты расчётов тепловой схемы ТЭЦ с ТАФП при продолжительности зарядки 8 ч приведены в таблице 1.

В результате проведённых расчётов установлено, что интеграция теплового аккумулятора фазового перехода (ТАФП) в паротурбинную схему ТЭЦ обеспечивает расширение регулировочного диапазона электрической мощности. Дополнительная выработка электроэнергии в пиковый период для всех рассмотренных режимов составляет от 0,486 до 7,592 МВт в зависимости от продолжительности разрядки, тогда как снижение мощности во внепиковый период остаётся практически постоянным и составляет 3,963 МВт.

Таблица 1 – Результаты расчётов для времени зарядки ТАФП 8 часов

Время зарядки ТАФП, ч	8				
Время разрядки ТАФП, ч	1,48	3	6	9	12
Расход греющего пара на ТАФП, кг/с	12,62				
Расход питательной воды на ТАФП, кг/с	5,96	2,94	1,47	0,98	0,73
Масса ТАМ, тонн	316,9				
Объём ТАМ, м ³	153,83				
Количество тепла, запасенное в ТАФП, ГДж	126,76				
Дополнительно вырабатываемая электрическая мощность в пиковый период, МВт	7,592	3,787	1,908	1,278	0,962
Уменьшение электрической мощности во внепиковый период, МВт	3,963				
Расширение регулировочного диапазона, МВт	11,555	7,751	5,871	5,241	4,925
Отношение дополнительной электроэнергии к уменьшению выработки эл. энергии	0,3544	0,3584	0,3611	0,3627	0,3639

Во всём диапазоне рассмотренных режимов (время зарядки 4–12 ч, время разрядки 0,74–12 ч, при варьировании расхода греющего пара и массы теплоаккумулирующего материала) показатель эффективности цикла аккумулирования энергии ТАФП находится в пределах 0,354–0,368 (рис. 3). Полученные значения свидетельствуют о слабой чувствительности эффективности к режимным параметрам и указывают на определяющую роль внутренних термодинамических потерь системы.

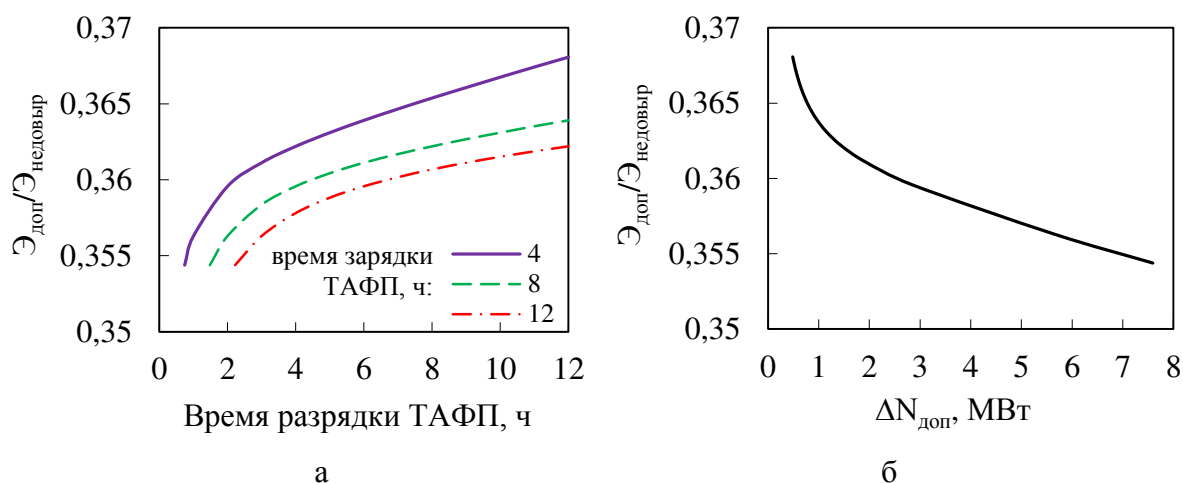


Рисунок 3 – Зависимость эффективности цикла аккумулирования энергии: а – от времени разрядки; б – от дополнительной мощности

Анализ рис. 3 показывает, что увеличение времени разрядки сопровождается снижением дополнительной мощности при одновременном незначительном росте эффективности цикла. С практической точки зрения это означает, что при фиксированном объёме аккумулируемой энергии выбор режима работы ТАФП (короткая разрядка с высокой мощностью или длительная разрядка с меньшей мощностью) оказывает ограниченное влияние на энергетическую эффективность, однако существенно влияет на профиль выдачи мощности. Следовательно, оптимизация режимов работы ТАФП должна осуществляться с учётом рыночных условий, прежде всего ценовой дифференциации электроэнергии по часам суток.

Разработано схемное решение, обеспечивающее аккумулирование теплоты перегретого пара в периоды пониженной электрической нагрузки и её возврат в цикл в часы пиковой нагрузки. Результаты термодинамического моделирования показали, что при продолжительности зарядки 4–12 ч и разрядки 0,74–12 ч запасаемая в ТАФП энергия составляет 63,4–190,2 ГДж. Это обеспечивает дополнительную выработку электроэнергии в пиковом режиме в диапазоне 0,5–7,6 МВт при снижении мощности во внепиковый период 4,0 МВт. В результате достигается расширение регулировочного диапазона энергоблока до 4,5–11,6 МВт.

Установлено, что эффективность цикла аккумулирования энергии ТАФП находится в диапазоне 0,354–0,368 и слабо зависит от режимных параметров. При этом увеличение времени разрядки сопровождается незначительным ростом эффективности за счёт более полного использования аккумулированной теплоты.

Полученные результаты подтверждают перспективность применения ТАФП для расширения регулировочного диапазона по отпуску электроэнергии теплофикационных электростанций и их адаптации к современным условиям работы энергосистем.

Литература

1. Прогноз развития энергетики мира и России 2024 / под ред. А.А. Макарова, В.А. Кулагина, Д.А. Грушевенко, А.А. Галкиной. – Москва: ИНЭИ РАН, 2024. – 208 с.
2. Михалевич, А.А. Моделирование работы Белорусской энергосистемы с учетом ввода АЭС / А.А. Михалевич, В.А. Рак // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2021. – Т. 64. – № 1. – С. 5–14.
3. Выбор эффективных направлений развития энергогенерирующих мощностей в европейской части страны / Р.З. Аминов, В.А. Хрусталева, А.Ф. Шкрет, М.В. Гариевский // Теплоэнергетика. – 2003. – № 4. – С. 64–67.
4. Эффективность обеспечения базовой нагрузкой АЭС за счет разгрузки тепловых электростанций / Р.З. Аминов, А.Ф. Шкрет, Е.Ю. Бурденкова, М.В. Гариевский // Труды Академэнерго. – 2010. – № 1. – С. 23–33.
5. Радин, Ю.А. Требования к маневренности тепловых электростанций в энергосистемах с ветровыми электростанциями / Ю.А. Радин, О.Ю. Сигитов, Н.В. Зорченко // Электрические станции. – 2025. – № 1 (1122). – С. 17–25.
6. Аракелян, Э.К. Выбор оптимальной стратегии разгрузки/нагрузки энергоблоков ТЭС при прохождении провала графика нагрузки / Э.К. Аракелян, Е.Д. Васильев // Новое в российской электроэнергетике. – 2017. – № 2. – С. 6–20.
7. Wang, Y. Peak shaving performance analysis of a coal-fired power plant integrated with molten salt thermal energy storage system based on energy-potential matching principle / Y. Wang, L. Gong, Y. Zhang // Journal of Energy Storage. – 2025. – Vol. 124. – P. 116956.
8. Molten-salt-based thermal storage for thermal power unit plant peaking / F. Ren, F. Meng, H. Liu [et al.] // Energies. – 2025. – Vol. 18. – P. 2522.
9. Thermal energy storage performance, application and challenge of phase change materials: a review / S. Mao, Y. Liu, X. Wu [et al.] // Energy Storage and Saving. – 2025. – Vol. 4. – Issue 3. – P. 300–322.
10. Бурденкова, Е.Ю. Расширение регулировочного диапазона по отпуску электроэнергии и повышение эффективности теплофикационных паротурбинных ТЭС / Е.Ю. Бурденкова, М.В. Гариевский // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2025. – № 5–6. – С. 13–22.
11. A review of the performance and application of molten salt-based phase change materials in sustainable thermal energy storage at medium and high temperatures / H. Wang, J. Liu, Y. Wang [et al.] // Applied Energy. – 2025. – Vol. 389. – P. 125766.
12. Experimental characterization of phase change materials for thermal energy storage in the temperature range between 270 °C and 400 °C / F. R. Martínez, E. Borri, S. Ushak [et al.]

// Energy. – 2025. – Vol. 314. – P. 134243.

13. Kenisarin, M. M. High-temperature phase change materials for thermal energy storage / M. M. Kenisarin // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2010. – Vol. 14. – Issue 3. – P. 955–970.

УДК 621.039

Ресурсосбережение в атомной энергетике

Гидаятон Эльдар Эльшан оглы, 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 основные направления ресурсосбережения в атомной энергетике. Представлены схемы открытого и закрытого ядерного топливного цикла и выявлены преимущества замкнутого топливного цикла с точки зрения ресурсосбережения. Проведен сравнительный анализ состояния атомной отрасли в ведущих странах по накоплению отработанного ядерного топлива. Приведены меры, способствующие повышению конкурентоспособности атомной отрасли.

Атомная энергетика на сегодняшний день является одним из ключевых элементов мировой энергосистемы. Ресурсосбережение в атомной отрасли направлено на повышение энергоэффективности, снижение потребления ресурсов и оптимизацию топливного цикла. Можно выделить ряд основных направлений ресурсосбережения.

Энергоэффективность предприятий: реализация программ по снижению потребления энергоресурсов (электроэнергии, тепла) на предприятиях атомной отрасли (Росатом), направленная на экономию до 25% и более.

Замкнутый топливный цикл: внедрение технологий, позволяющих перерабатывать отработанное ядерное топливо (ОЯТ) и использовать его повторно, что снижает потребность в природном уране.

Реакторы на быстрых нейтронах: развитие технологий БН-800/БН-1200, которые «сжигают» отходы и производят новое топливо из обедненного урана, повышая эффективность использования сырья.

Оптимизация эксплуатации атомных электростанций (АЭС): повышение теплотехнических параметров, внедрение энергосберегающих систем охлаждения.

Обращение с отходами: минимизация объемов радиоактивных отходов (РАО) и

их переработка.

Долгосрочное устойчивое развитие атомной энергетики сталкивается с объективными ограничениями. Основное из них – ограниченность запасов природного урана. По оценкам специалистов, мировые ресурсы урана составляют около 6,1 млн тонн, при этом ежегодная потребность АЭС достигает 62 тыс. тонн. При существующих темпах потребления разведанных запасов может хватить лишь на 130–150 лет, что ставит вопрос о поиске альтернативных решений.

Дополнительную остроту проблеме придаёт накопление ОЯТ. В мире уже накоплено более 345 тыс. тонн ОЯТ, ежегодно добавляется около 10,5 тыс. тонн. В России ежегодная выгрузка составляет примерно 700 тонн, а с учётом планов по наращиванию мощностей АЭС к 2030 году этот показатель может превысить 1000 тонн в год. Хранение таких объёмов радиоактивных материалов требует значительных затрат, жёстких мер безопасности и сопряжено с экологическими рисками [3].

В этих условиях наиболее перспективным путём развития атомной энергетики становится переход от открытого (разомкнутого) ядерного топливного цикла к замкнутому (закрытому). Замыкание цикла позволяет не только существенно снизить потребление природного урана, но и повторно использовать компоненты облучённого топлива, сокращая объёмы радиоактивных отходов. В России одним из ключевых направлений реализации замкнутого цикла является РЕМИКС-технология, разрабатываемая специалистами НПО «Радиевый институт» совместно с НИЦ «Курчатовский институт» и другими организациями атомной отрасли [1].

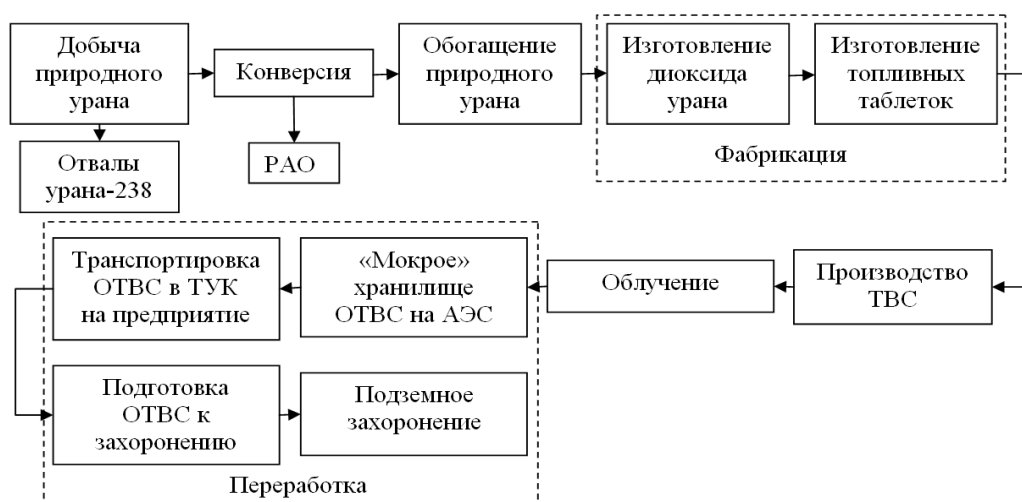


Рисунок 1 – Схема открытого ядерного топливного цикла, где ОТВС – отработавшая тепловыделяющая сборка; ТУК – транспортно-упаковочные комплекты

Открытый ядерный топливный цикл является наиболее распространённым в мире. Он включает последовательность этапов: добыча природного урана, конверсия в гексафторид урана (UF_6), обогащение по изотопу U-235, фабрикация топливных

таблеток из диоксида урана, изготовление тепловыделяющих сборок (ТВС), их эксплуатация в реакторе, а затем хранение и окончательное захоронение отработавшего топлива. Схема открытого ядерного топливного цикла представлена на рисунке 1 [1].

Обогащение урана – ключевой этап, поскольку в природном уране содержание делящегося U-235 составляет лишь 0,7%, тогда как остальные 99,3% приходятся на U-238, который не способен поддерживать цепную реакцию в реакторах на тепловых нейтронах. Для большинства действующих АЭС (типа ВВЭР) концентрацию U-235 доводят до 2–5%. Процесс обогащения требует сложных технологий. После выгрузки из реактора отработавшие ТВС проходят через бассейн выдержки на станции, затем транспортируются в специальных контейнерах на предприятия по переработке или отправляются на долговременное хранение. В открытом цикле переработка ОЯТ не предусматривается, топливо направляется на захоронение в глубоких геологических формациях.

Преимущества открытого цикла заключаются в отсутствии сложного и дорогостоящего этапа радиохимической переработки, что упрощает инфраструктуру и снижает риски, связанные с эксплуатацией перерабатывающих заводов. Недостатки открытого цикла: значительные объёмы накопленного ОЯТ, требующие создания дорогостоящих хранилищ и обеспечения их безопасности на сотни лет; экологические риски при длительной изоляции радиоактивных материалов; потеря ценных компонентов (уран-238, наработанный плутоний), которые могут быть повторно вовлечены в энергетический цикл [2].

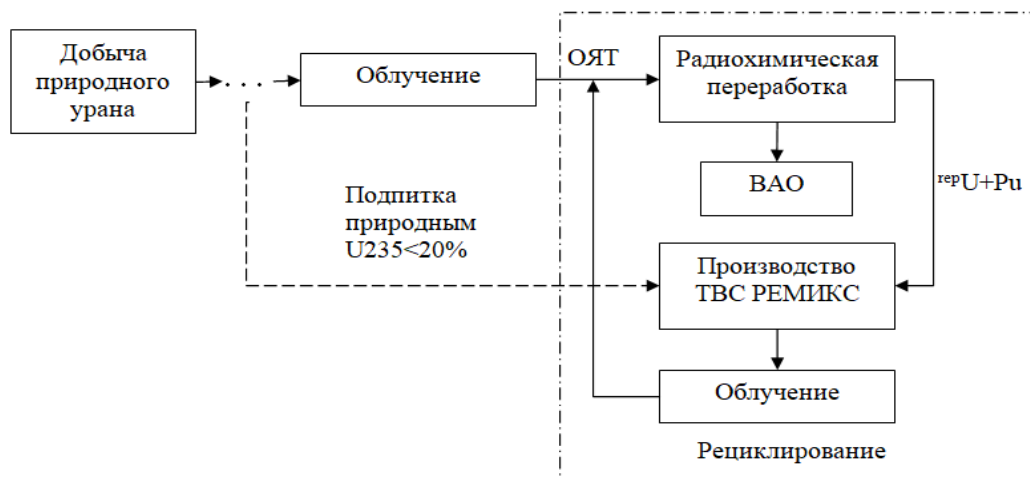


Рисунок 2 – Схема рециклирования РЕМИКС-А при обогащении подпитки до 20% по U235, где ВАО – высокоактивные отходы; ТВС – тепловыделяющая сборка; ^{238}U – регенерированный уран.

Замкнутый ядерный топливный цикл предполагает возврат в производство регенерированных материалов (урана и плутония) из отработавшего топлива. Начальные этапы (добыча, конверсия, обогащение, фабрикация) аналогичны открытому циклу, однако после выгрузки ОЯТ направляется на радиохимическую

переработку. В результате выделяются невыгоревший U-235, основная масса U-238 и накопленный плутоний, которые используются для изготовления свежего топлива. Объём высокоактивных отходов минимизируется. Схема закрытого топливного цикла представлена на рисунке 2 [1].

Основные преимущества замкнутого цикла:

- сокращение потребности в природном уране. Многократное рециклирование позволяет использовать до 95% исходного топливного материала, что снижает нагрузку на добывающую промышленность;
- уменьшение объёмов ОЯТ, направляемых на захоронение, что снижает затраты на создание долговременных хранилищ и уменьшает экологическую нагрузку;
- повышение энергетической эффективности атомной отрасли за счёт использования не только U-235, но и вторичного плутония, а также U-238 в реакторах на быстрых нейтронах.

Недостатки связаны с необходимостью создания сложных радиохимических производств, что требует значительных инвестиций и строгого контроля для предотвращения несанкционированного распространения делящихся материалов (прежде всего Pu-239). Кроме того, требуется проведение дополнительных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ для оптимизации технологии [2].

Проведенный сравнительный анализ состояния атомной отрасли в ведущих странах (по данным Агентства по ядерной энергии ОЭСР) показывает различие подходов к обращению с ОЯТ. Наиболее сложная ситуация сложилась в США и Канаде, где на площадках АЭС сосредоточено около 50% мировых запасов ОЯТ. Франция, напротив, последовательно реализует стратегию замкнутого цикла, перерабатывая большую часть ОЯТ и используя регенерированные уран и плутоний в энергетических реакторах. Германия, отказавшаяся от атомной энергетики, продолжает развивать технологии замкнутого цикла. Россия занимает лидирующие позиции в создании двухкомпонентной системы атомной энергетики, объединяющей реакторы на тепловых (ВВЭР) и быстрых (БН) нейтронах в едином замкнутом цикле. Такой подход позволяет решать задачи воспроизводства ядерного топлива, минимизации радиоактивных отходов и соблюдения режима нераспространения.

В российской атомной отрасли одним из наиболее перспективных способов реализации замкнутого цикла для реакторов типа ВВЭР является РЕМИКС-технология (регенерированная смесь) – многократное рециклирование урана и плутония, выделенных из ОЯТ, с добавлением обогащённого природного урана для поддержания необходимого энергетического потенциала [4].

При переработке ОЯТ регенерированные уран и плутоний разделяют, затем

вновь смешивают в исходном соотношении. Недостающий энергopotенциал компенсируется подпиткой ураном-235 (до 20% в зависимости от варианта). Полученное топливо по своим ядерно-физическим характеристикам соответствует штатному урановому топливу, что позволяет использовать его в существующих реакторах без модернизации.

Важно отметить, что РЕМИКС-топливо позволяет сохранить 18-месячный топливный цикл, принятый для большинства российских ВВЭР, и не требует изменения проектов реакторных установок. Единственное дополнение – усиление радиационной защиты при обращении со свежим топливом, так как оно содержит плутоний [4].

В настоящее время ведутся экспериментальные исследования, подтверждающие безопасность и эффективность уран-плутониевого топлива для тепловых реакторов. В исследовательском реакторе «МИР» (НИИАР) начаты испытания тепловыделяющих элементов с содержанием плутония от 5 до 12%.

По результатам проведенных исследований можно сделать ряд выводов:

- Россия занимает лидирующие позиции, планируя масштабное строительство реакторов и развитие замыкания ядерного топливного цикла (быстрые реакторы);
- ресурсы природного урана ограничены, что требует перехода к более эффективным технологиям (быстрым реакторам) с точки зрения ресурсосбережения;
- переработка ОЯТ для повторного использования (извлечение урана и плутония) значительно экономит природный уран;
- использование реакторов на быстрых нейтронах (например, БН-800) позволяет вовлечь в топливный цикл изотопы урана-238, которые не используются в обычных реакторах, что увеличивает эффективность использования сырья;
- замыкание ядерного топливного цикла экономически целесообразнее, чем стандартный урановый цикл, на 23,8%;
- РЕМИКС-топливо обладает преимуществом по сравнению с открытым ядерным топливным циклом.

Эти меры способствуют снижению себестоимости выработки электроэнергии и повышают конкурентоспособность атомной отрасли.

Литература

1. Бобров, Е.А. Исследование характеристик замыкания топливного цикла реакторов ВВЭР на основе РЕМИКС-технологии: дис. ... канд. техн. наук : 05.14.03 / Бобров Евгений Александрович. – Москва, 2016. – 129 с.
2. Дячёк, О.А. Сравнение характеристик топливных циклов реакторов с топливом различного типа/ О.А. Дячёк, В.В. Кравченко // Наука, техника и образование. –

2020. – № 4 (68). – С. 42-47.

3. Ковалёв, Н.В. Новый подход к повторному использованию ядерного топлива в тепловых реакторах/ Н.В. Ковалёв, Б.Я. Зильберман, Н.Д. Голецкий и др. // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2020. - № 1. – С.67-75.
4. Лысиков, А.В. Разработка технологии изготовления уран-плутониевого РЕМИКС-топлива для реакторов ВВЭР / А.В. Лысиков, Е.Н. Михеев, А.Н. Самохвалов и др. // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Материаловедение и новые материалы. – 2022. - №4 (115). – С. 97-106.

УДК 681.5

Использование нечеткой логики

в регуляторах уровня систем регулирования

Горбачев Даниил Антонович, 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 рассматриваются особенности применения нечеткой логики для регулирования уровня на примере сепараторной системы промежуточного перегрева паровой турбины АЭС. Разработана модель системы автоматического регулирования уровня, реализованная в среде SimInTech, предложен алгоритм управления на основе нечеткого логического вывода. Рассмотрены принципы формирования функций принадлежности и базы правил, учитывающие особенности динамики объекта, включая инерционность и наличие запаздываний. Приведены результаты моделирования, показывающие стабильное поддержание уровня при изменении режимов работы системы.

Нечеткая логика – это способ моделирования логических рассуждений, при котором истинность утверждения определяется не как двоичная истина или ложь, как в классической логике, а как степень истинности, которая колеблется от нуля (что является абсолютной ложью) до единицы (что соответствует абсолютной истине).

Нечеткая логика позволяет разработать систему нечеткого логического вывода, которая представляет собой функцию, сопоставляющую набор входных данных с выходными, используя понятные человеку правила, а не более «абстрактную» математику. Данные типы функций популярны в системах управления, где вводятся эталонные данные и измерения, а затем, используя набор правил, основанных на

нечеткой логике, генерируется некоторый управляющий сигнал.

Однако нечеткую логику следует относить к нечто большему, чем просто метод управления, так как её можно использовать для любого процесса принятия решений, от определения риска и параметров, до простого ответа на вопросы, что может быть полезно для огромного количества систем и приложений [1].

Отличительной особенностью системы на нечеткой логике является то, что для её разработки не всегда требуется полная математическая модель, именно поэтому она хорошо применима к сложным системам, основные механизмы и параметры которых до конца неизвестны или не могут быть описаны. Данное свойство можно охарактеризовать как «интуиция» системы по отношению к ситуациям и процессам.

Нечеткая логика и система нечеткого логического вывода дают возможность кодировать знания, основанные на опыте таким образом, чтобы компьютер мог воспринимать их в виде логических правил.

Далее на конкретном примере рассмотрим принципы построения таких систем, а также структуру регулятора на базе нечеткой логики, изображенную на рисунке 1.

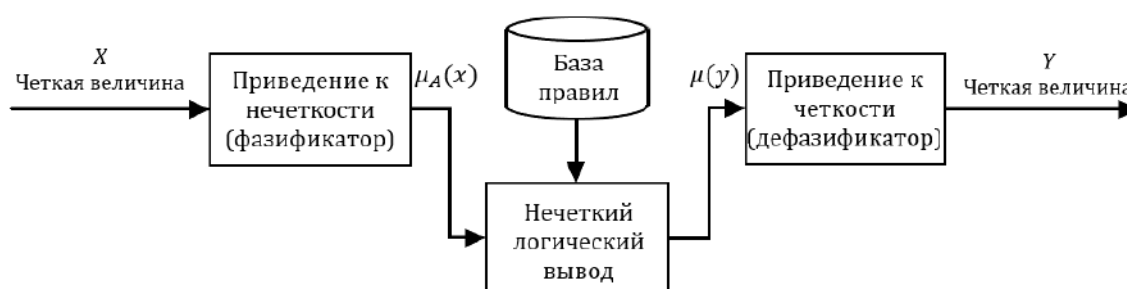


Рисунок 1 – Структура регулятора на базе нечеткой логики

С развитием АЭС с водоохлаждаемыми реакторами, где образуется насыщенный пар, возрастает влияния влажности на работу паротурбинных установок. В турбинах значительная часть ступеней работает на влажном паре, где влага присутствует в виде тумана, капель или пленок на элементах проточной части. Повышенная влажность ухудшает надежность турбоагрегата за счет усиления коррозии и эрозии. По мере расширения пара его влажность увеличивается, достигая уровней, при которых эрозионный износ элементов цилиндра низкого давления становится недопустимым.

Снижение негативного влияния влаги достигается активными и пассивными методами. К активным методам относятся удаление влаги с отборами пара, внутриканальная сепарация, центробежный сбор влаги, а также применение выносных сепараторов и промежуточного перегрева. Эти меры повышают надежность оборудования и КПД установки.

В турбине К-1000-60/1500 используется промежуточная сепарация с

двухступенчатым перегревом в сепараторах-пароперегревателях (СПП). Для их надежной работы необходимо поддерживать «сухой» режим и стабильный уровень сепарата в промежуточных емкостях.

Надежность турбины напрямую зависит от снижения влажности пара, поэтому целью работы является обоснование возможности применения цифрового регулирования уровня в различных системах на примере поддержания заданного уровня сепарата в общем сепаратосборнике СПП.

Разработка подробной математической модели горизонтального цилиндрического бака для синтеза нечеткого регулятора уровня не является обязательной. Нечеткая логика изначально ориентирована на управление в условиях неопределенности и нелинейности, которые не всегда возможно точно описать аналитически. Форма бака влияет на статическую характеристику, однако нечеткий контроллер компенсирует эту нелинейность автоматически за счет настройки функций принадлежности и базы правил, построенной на логических выводах. Следовательно, для достижения устойчивого и качественного регулирования достаточно приближенной оценки динамических свойств объекта.

Исходя из конструктивного исполнения сепаратосборника, его можно рассматривать как емкость с непрерывной подачей и регулируемым отводом сепарата греющего пара. Задачей регулирования становится приведение в соответствие расходов на притоке и стоке так, чтобы уровень оставался неизменным.

Схематичное представление сепаратосборника показано на рисунке 2.

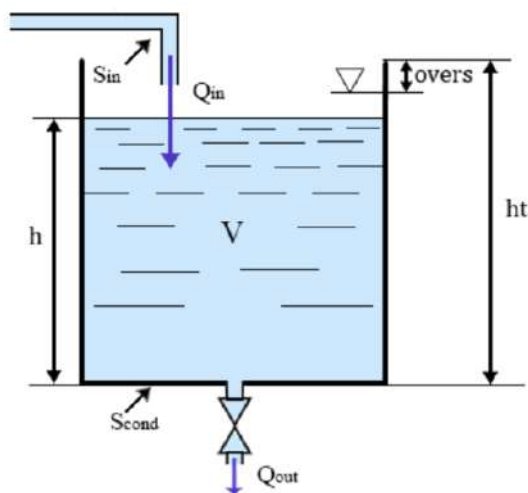


Рисунок 2 – Схематичное изображение сепаратосборника

Модель сепаратосборника выполнена на основе программируемого функционального блока, в котором заданы уравнения, отражающие его динамику:

$$\frac{dV}{dt} = Q_{in} - Q_{out}; \quad (1)$$

$$h = \frac{V}{S_{cond}}; \quad (2)$$

$$Q_{in} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h \cdot S_{in}}; \quad (3)$$

$$\frac{dh}{dt} = - \frac{Q_{in} - Q_{out}}{S_{cond}}; \quad (4)$$

где V – объем сепаратосборника, м^3 ;

ht – высота сепаратосборника, м ;

S_{cond} – площадь сечения сепаратосборника, м^2 ;

S_{in} – площадь сечения входного трубопровода, м^2 ;

h – уровень сепарата в баке, м ;

Q_{in} – расход на входе, $\text{м}^3/\text{с}$;

Q_{out} – расход на выходе, $\text{м}^3/\text{с}$.

В расчётах приняты следующие геометрические характеристики: рабочая высота аппарата составляет 2,2 м, площадь продольного сечения резервуара – 22 м^2 , а суммарная площадь проходного сечения отводящих каналов – 0,5 м^2 .

Модель САР уровня сепаратосборника СПП реализована в среде динамического моделирования SimInTech. Структурная схема модели и субблока регулятора, выполняющего алгоритм нечеткого вывода, представлена на рисунке 3.

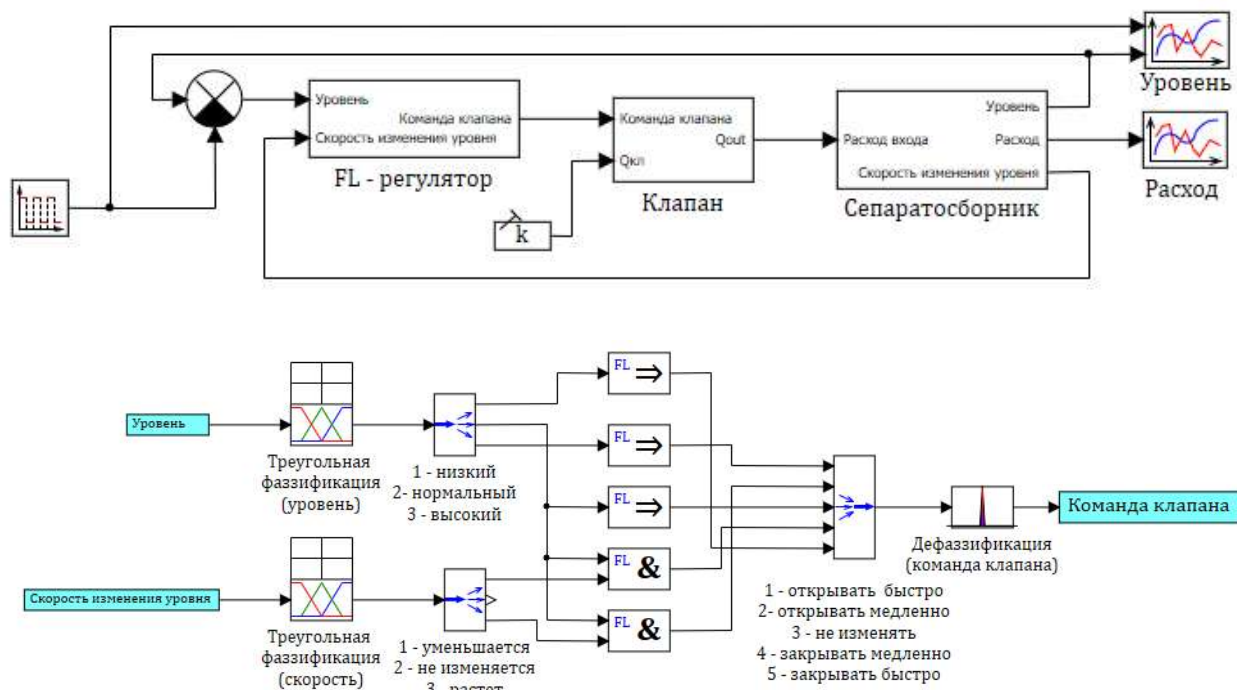


Рисунок 3 – Общая схема модели САР уровня в сепаратосборнике СПП

Для моделирования ситуации изменения уставки целевого уровня в модели САР используется блок «меандр», который выдает заданное значение уровня в

сепаратосборнике, изменяющийся с частотой 20 секунд в пределах 0,8...1 м и обратно. Заданный уровень сопоставляется с актуальным значением в элементе сравнения, формируя сигнал рассогласования (ошибку), который направляется на вход регулятора, отвечающего за контроль уровня.

Второй вход регулятора предназначен для получения информации о скорости изменения уровня с целью её оценки и внесения корректировок, связанных со скоростью открытия или закрытия регулирующего клапана. В самом блоке регулятора рассчитывается управляющее воздействие регулирующему клапану по правилам нечеткой логики [2].

Регулирующий клапан управляет расходом, для чего задается номинальный расход, равный 2,5 м³/с. Управляющее воздействие – это скорость и степень закрытия-открытия клапана, после интегрирования которой, получается значение, характеризующее положение регулирующего клапана: от 0 (клапан закрыт) до 1 (клапан открыт). Таким образом, заданный уровень поддерживается степенью открытия регулирующего клапана посредством изменения расхода сепарата на стоке сепаратосборника. Зависимость расхода от положения клапана – линейная.

Выбор регулятора на базе нечеткой логики может быть обусловлен тем, что он не требует линеаризации и имеет возможность плавного изменения управления за счет перекрывающихся правил в разных режимах работы турбины, а также хорошо показывает себя в переходных режимах при изменяющемся притоке от СПП. Так как нечеткий регулятор опирается на логические переменные, т.е. менее привязан к точной физической модели, то он лучше переносит ситуации неопределенности.

Первым этапом преобразования входных переменных является фазификация с помощью функций принадлежности, которая преобразует их в логические переменные. Для бака очевидными границами служат нулевая отметка (дно) и максимальный уровень. Максимально возможное значение ошибки регулирования уровня не может превышать разность между текущим уровнем и граничными отметками бака. Что касается скорости изменения уровня, ее диапазон задается производительностью насоса и пропускной способностью сливной арматуры. От данных параметров зависит качество работы всей системы. В отличие от классического ПИД-регулятора, где настраиваются три коэффициента, здесь определяется форма, ширина и взаимное перекрытие лингвистических термов.

На практике чаще всего используются самые простые функции принадлежности. В рассматриваемой системе используются треугольные функции принадлежности, изображенные на рисунке 4.



Рисунок 4 – Графическое представление параметров ФП

При проектировании необходимо учитывать динамику объекта – его инерционность и запаздывания. В случае крупного резервуара с медленным изменением уровня (переходный процесс длится десятки секунд) использование узких функций принадлежности нежелательно, так как это повышает чувствительность к шумам и вызывает частые колебания управляющего сигнала. Поэтому целесообразно увеличивать ширину функций и их взаимное перекрытие, формируя зоны нечувствительности. При наличии транспортного запаздывания, например в протяжённых трубопроводах, эффект управления проявляется не сразу. В таких условиях также применяют более широкие функции принадлежности, чтобы избежать преждевременных и избыточных управляющих воздействий [3].

База правил для управления регулирующим клапаном имеет вид:

1. ЕСЛИ уровень высокий, ТО команда клапана «открывать быстро».
2. ЕСЛИ уровень нормальный, ТО команда клапана «не изменять».
3. ЕСЛИ уровень низкий, ТО команда клапана «закрывать быстро».
4. ЕСЛИ уровень нормальный и изменение уровня уменьшается, ТО команда клапана «закрывать медленно».
5. ЕСЛИ уровень нормальный и изменение уровня увеличивается, ТО команда клапана «открывать медленно».

В результате обработки логических переменных по представленной базе правил в блоке дефазификации формируется численное управляющее воздействие регулирующего клапана.

На рисунке 5 представлены результаты моделирования системы автоматического регулирования уровня в сепараторе СПП. Приведенные графики отражают динамику изменения уровня. Как видно из графиков, текущий уровень, поддерживаемый

нечетким регулятором, точно соответствует заданному значению.

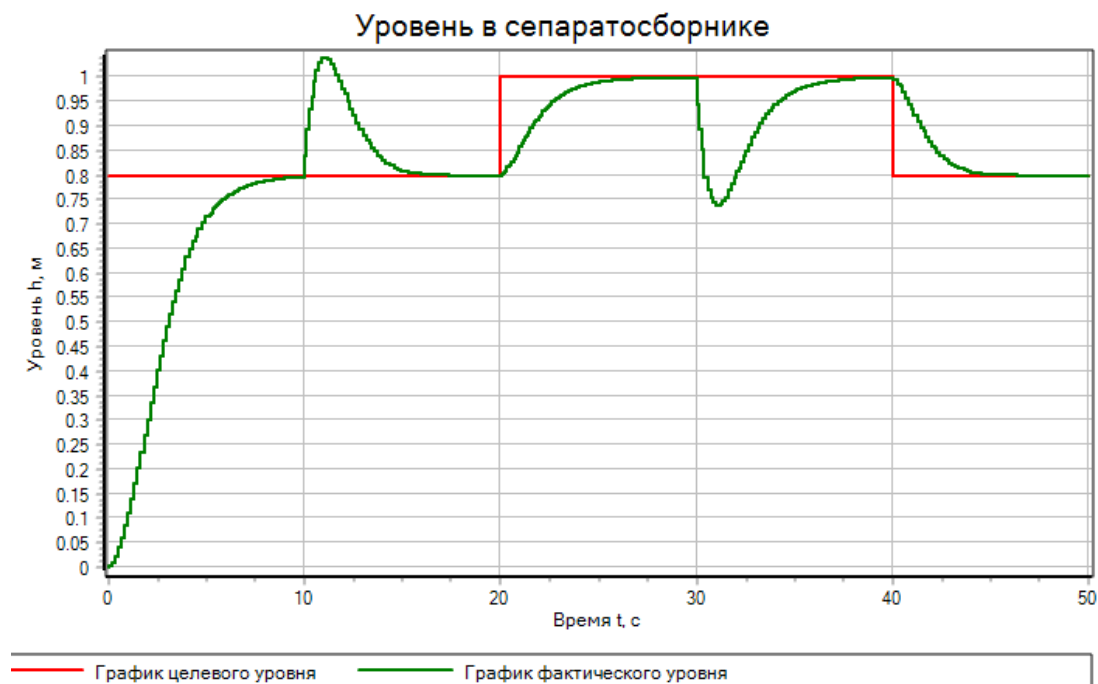


Рисунок 5 – График изменения уровня в сепараторосборнике

Основанный на использовании цифрового регулятора с элементами нечеткой логики подход позволяет учитывать неопределенности и изменения режимов работы без необходимости точной математической модели. Это делает систему более гибкой и устойчивой, особенно в переходных процессах.

Таким образом, применение нечеткого управления для регулирования уровня является целесообразным решением, способным повысить надежность оборудования и улучшить качество управления технологическим процессом.

Литература

1. Гостев, В.И. Синтез нечетких регуляторов систем автоматического управления / В.И. Гостев. – 3-е изд., испр. и доп. – Киев: Радиоаматор, 2005. – 707 с.
2. Цифровое регулирование уровня конденсата в конденсаторосборнике сепаратора-пароперегревателя / Т.Г. Зацаринная, К.П. Аникевич, Е.Н. Давиденко, Д.С. Ильчук // Энергетические установки и технологии. – 2022. – Т. 8, № 2. – С. 7-15.
3. Гостев, В.И. Проектирование нечеткого регулятора с универсальными идентичными входными и выходными функциями принадлежности / В.И. Гостев // Радиотехника, информатика, управление. – 2010. – № 2(23). – С. 166-169.

Совершенствование режимов управления силовых энергетических установок при изменении температуры окружающего воздуха

Епишин Алексей Юрьевич, 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 научной статье рассматривается вопрос о повышении топливной экономичности силовых энергетических установок маневровых тепловозов. Режимы работы маневровых тепловозов могут изменяться очень часто, на переходных процессах дизелей при формировании составов поезда. В зависимости от температуры окружающего воздуха, необходимо подобрать такие обороты коленчатого вала дизеля, где топливная экономичность выросла в эксплуатации от 3 до 5%.

Маневровая работа тепловозов разнообразна количеством переключений контроллера машиниста, изменением нагрузки на дизель, а также временем переходного процесса. Количество переключений контроллером машиниста доходит до 1500 раз за смену работы тепловоза на станции формирования составов.

Частая смена режимов работы тепловоза приводит к затягиванию по времени переходного процесса дизелей. Ухудшаются показатели основных деталей дизеля, снижается эксплуатационная топливная экономичность тепловоза.

Увеличение экономичности и эффективности цикла можно получить расширением пределов изменения рабочего тела дизеля [1]. Одним из основных критериев экономии топлива тепловозами является использование возможностей дизеля при изменении температуры окружающего воздуха, а именно использовать максимальную нагрузку на дизеле при отрицательных температурах окружающего воздуха.

При снижении температуры окружающего воздуха частоту вращения коленчатого вала необходимо уменьшать так, чтобы параметры рабочего тела дизеля оставались в пределах допустимых величин, эффективная мощность дизеля оставалась неизменной, а обороты коленчатого вала изменялись в зависимости от температуры окружающего воздуха. В зимний период года, когда температура окружающего воздуха становится менее $+5^{\circ}\text{C}$, необходимо следить за системой охлаждения и вспомогательными агрегатами тепловоза.

В летний период года, когда температура окружающего воздуха составляет от

+15°C и выше, частота вращения коленчатого вала определяет работу тепловоза при стандартных серийных характеристиках.

Когда температура окружающего воздуха становится от +5°C и ниже, частоту вращения коленчатого вала необходимо уменьшать в зонах близких к номинальной нагрузке тепловоза.

Следовательно, уменьшение оборотов коленчатого вала дизеля, а именно снижение мощности механических потерь в условиях эксплуатации, приводит к экономии топлива от 3 до 5%.

Характерной особенностью маневровых тепловозов в эксплуатации является работа на неуставившихся режимах. Число переключений позиций контроллера машиниста за час работы составляет 130 раз [2].

Одним из основных эксплуатационных факторов, влияющих на изменение индикаторного КПД, является коэффициент избытка воздуха. Однако [3] с уменьшением коэффициента избытка воздуха ухудшается экономичность и увеличивается напряженность деталей двигателя.

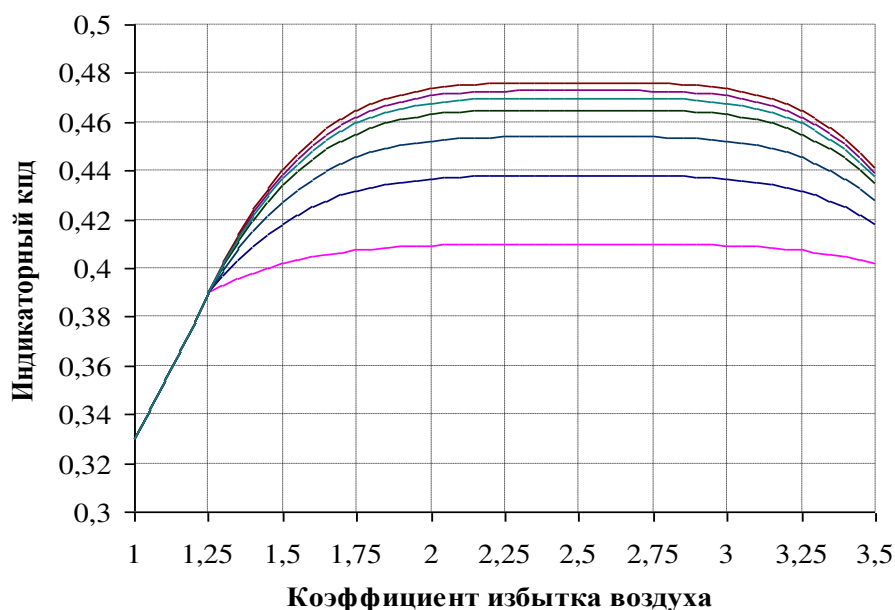


Рисунок 1 – График зависимости индикаторного КПД дизеля 6ЧН 21-21 от коэффициента избытка воздуха

При снижении температуры окружающего воздуха частоту вращения коленчатого вала необходимо уменьшать так, чтобы параметры рабочего процесса дизеля оставались в пределах допустимых величин. При этом эффективная мощность дизеля тепловоза оставалась неизменной, а обороты коленчатого вала изменялись в зависимости от температуры окружающего воздуха.

С целью сохранения баланса энергии в дизеле, при условии затрат на отбор мощности на вспомогательные нужды тепловоза, обороты коленчатого вала снижают

на 100-150 об/мин от номинального значения в зимний период года.

Работая на тепловозе на станции формирования составов, необходимо для каждого режима контроллера машиниста подобрать такой закон управления дизелью тепловоза в зависимости от температуры окружающего воздуха, при котором топливная экономичность выросла от 3 до 5% в эксплуатации.

В настоящее время редко проводятся исследования по количественным показателям надежности и экономичности тепловозных дизелей. Поэтому трудно сопоставить эффективность повышения экономичности и надежности тепловозных дизелей и агрегатов. Однако требуется рассчитать такой закон управлению дизелью, при котором эксплуатационная топливная экономичность повысится от 3 до 5%.

Важным показателем, характеризующим переходный процесс работы двигателя маневрового тепловоза, является длительность его работы по времени.

Для определения режимов управления на каждом шаге работы тепловоза показатели определяются выражением:

Шаг интегрирования позиций контроллера машиниста,

$$\Delta k = \frac{x_{\text{ном}} - x_{\text{мин}}}{\Delta x_y}, \quad (1)$$

где $x_{\text{ном}}$ — максимальная позиция контроллера машиниста шт,

$x_{\text{мин}}$ — минимальная позиция контроллера машиниста шт,

Δx_y — шаг позиции контроллера машиниста ($\Delta x_y = 1$),

Изменение оборотов коленчатого вала дизеля на шаге управления контроллером машиниста:

$$\Delta k_{\omega_d} = \frac{\omega_{d\text{max}} - \omega_{d\text{min}}}{\Pi_k}, \quad (2)$$

где $\omega_{d\text{max}}$ — номинальная частота вращения коленчатого вала дизеля, рад/с,

$\omega_{d\text{min}}$ — минимальная допустимая частота вращения коленчатого вала дизеля, рад/с,

Π_k — максимальное количество позиций контроллера машиниста шт.

Изменение эффективной мощности дизеля на шаге управления контроллером машиниста:

$$\Delta k_{N_e} = \frac{N_{e\text{ном}} - N_{e\text{мин}}}{\Pi_k}, \quad (3)$$

где $N_{e\text{ном}}$ — номинальная эффективная мощность дизеля, кВт,

$N_{e\text{мин}}$ — минимальная эффективная мощность дизеля, кВт,

Изменение подачи топлива в зависимости от положения рейки топливного насоса по позициям контроллера машиниста:

$$\Delta k = \frac{B_{\text{тmax}} - B_{\text{тmin}}}{\Pi_k}, \quad (4)$$

где $B_{\text{тmax}}$ – номинальная подача топлива в дизель, кг/ч,

$B_{\text{тmin}}$ – минимальная подача топлива в дизеле, кг/ч.

В практике тепловозных дизелей особое внимание уделяют коэффициенту избытка воздуха, который изменяется в зависимости от частоты вращения коленчатого вала дизеля.

При снижении температуры воздуха от -20°C до -40°C , несмотря на увеличение цикловой подачи топлива, коэффициент избытка воздуха возрастает. Влияние отрицательной температуры окружающего воздуха приводит к увеличению плотности воздуха и заряду цилиндров двигателя.

Отрицательные температуры окружающего воздуха приводят к жесткости рабочего процесса дизеля, а также росту максимального давления сгорания топлива.

Следовательно, уменьшая частоту вращения коленчатого вала при постоянстве заданной эффективной мощности дизеля, при низких температурах окружающего воздуха, можно повысить топливную экономичность в эксплуатации маневровых тепловозов от 3 до 5%.

В эксплуатации тепловозов в зимний период года, время на прогрев основных деталей сокращают нагрузкой на дизель. Возрастание нагрузки на дизель сопровождается принудительно машинистом тепловоза при выборе режима управления.

С целью снижения эксплуатационного расхода топлива тепловозами, необходимо прогревать силовые установки под нагрузкой, ближе к номинальному режиму, особенно при отрицательных температурах окружающего воздуха.

Факторами, влияющими на снижение эксплуатационного расхода топлива тепловозами в эксплуатации, являются умение водить поезд, выбор режимов управления близких к номинальной частоте вращения коленчатого вала и эффективной мощности дизеля. График удельного расхода топлива дизелей 6ЧН21/21 представлен на рисунке 2.

В практике тепловозных дизелей, особое внимание уделяют коэффициенту избытка воздуха, который изменяется в зависимости от частоты вращения коленчатого вала. Повышение эксплуатационной топливной экономичности достигается за счет изменения коэффициента избытка воздуха, а также индикаторного КПД дизеля. С ростом коэффициента избытка воздуха увеличивается индикаторный КПД двигателя, а также повышается среднее эффективное давление.

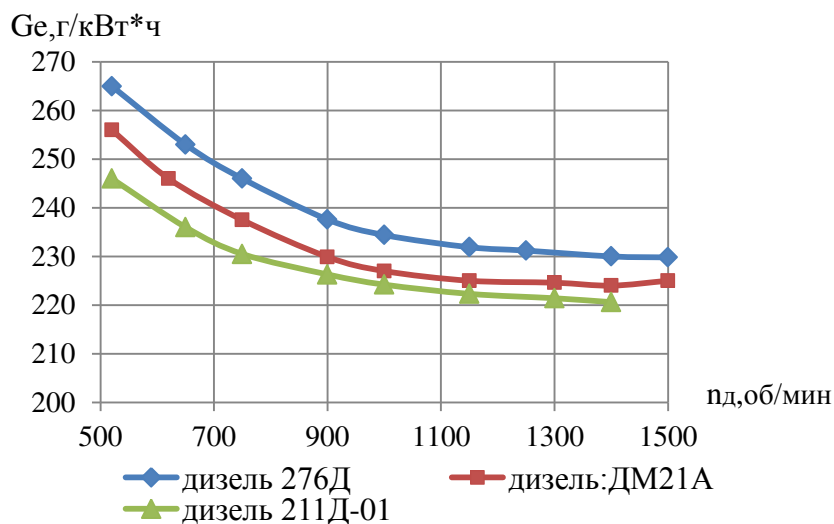


Рис 2 - График зависимости удельного расхода топлива дизелей 6ЧН21/21 от частоты вращения коленчатого вала

Для определения показателя индикаторного КПД от коэффициента избытка воздуха используем уравнение:

$$\eta_i = 0,39 + k_1(1 - 0,41(\alpha - 2,25))^2, \quad (5)$$

где k_1 – коэффициент индикаторного кпд (0,085),

α – коэффициент избытка воздуха,

Для повышения топливной экономичности тепловозами в маневровом движении необходимо учитывать показатели динамических процессов, которые описываются уравнениями:

Уравнения вращения коленчатого вала двигателя:

$$J_d \frac{d\omega_d}{dt} = M_d - M_c, \quad (6)$$

где J_d – момент инерции коленчатого вала дизеля, Н/м.

Уравнение вращения ротора турбокомпрессора:

$$\frac{d\omega_{тк}}{dt} = J_{тк}(\omega_t - \omega_k)/T_v, \quad (7)$$

где $J_{тк}$ – момент инерции ротора турбокомпрессора, Н/м,

ω_t – частота вращения ротора турбины, м/с,

ω_k – частота вращения ротора компрессора, м/с,

T_v – постоянная времени, с.

Впускной коллектор:

$$\frac{V_{вп}}{K_b T_k} \frac{dp_k}{dt} = G_k - G_d, \quad (8)$$

Выпускной коллектор:

$$\frac{V_{\text{вып}}}{R_B T_K} \frac{dP_T}{dt} = G_T - G_{\Gamma}, \quad (9)$$

где G_{Γ} – расход газов в дизеле, кг/с,

G_T – расход газов через турбину, кг/с.

Эффективная мощность двигателя:

$$\frac{dN_e}{dt} = (N_{ez} - N_{ed}) / T_B, \quad (10)$$

где N_{ez} – заданная эффективная мощность дизеля, кВт,

N_{ed} – действительная эффективная мощность дизеля, кВт.

Температура окружающего воздуха:

$$\frac{dT_o}{dt} = (T_{oz} - T_{од}) / T_B, \quad (11)$$

где T_{oz} – температура окружающего воздуха, °C,

$T_{од}$ – действительная температура воздуха при поступлении в дизель, °C.

Приращение эксплуатационного расхода топлива:

$$\frac{dB_t}{dt} = bt * Hu * \eta_i * \Delta bt^{-1} * \frac{G_{ri}}{dt} * P_{ki}. \quad (12)$$

где bt – секундный расход топлива дизелем, кг/с,

Hu – теплотворная способность топлива, Дж/кг·K,

η_i – индикаторный КПД дизеля,

G_{mi} – расход рабочего тела дизелем на режиме управления, кг/с,

P_{ki} – позиция контроллера машиниста.

Результаты работы тепловозного дизеля 6ЧН21/21 при разных частотах вращения коленчатого вала представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета эксплуатационных показателей работы дизеля 6ЧН 21-21

№	Серийная тепловозная характеристика 6ЧН21/21 При температуре окружающего воздуха более $T^o \geq +15^oC$						Опытная тепловозная характеристика 6ЧН 21/21 При температуре окружающего воздуха менее $T^o \leq +5^oC$					
	Эксплуатационные показатели дизеля						Эксплуатационные показатели дизеля					
-	ω_d , рад/с	N_e , кВт	G_b , кг/с	α	B_t , кг/ч	η_i	ω_d , рад/с	N_e , кВт	G_b , кг/с	α	B_t , кг/ч	η_i
1	146,5	550	0,836	1,78	123,4	0,487	136,0	550	0,842	1,89	112,3	0,488
2	94,3	165	0,326	2,95	28,5	0,433	94,2	180	0,360	2,93	30,9	0,434
3	68,0	50	0,168	4,19	10,3	0,393	68,0	50	0,187	4,60	10,25	0,391
4	54,4	30	0,128	4,97	6,48	0,391	54,4	30	0,140	5,02	7,05	0,3915

Выводы:

1. Снижая частоту вращения коленчатого вала дизеля на 100-150 об/мин от номинальной нагрузки, можно повысить топливную экономичность в эксплуатации тепловозов от 3 до 5%.
2. Выбор режимов управления контроллером машиниста близких к номинальной

нагрузке дизелей тепловозов, снижает эксплуатационный расход топлива от 3 до 5%.

3. Повышение топливной экономичности достигается при отрицательных температурах окружающего воздуха, в зонах близких к номинальной нагрузке дизелей тепловозов.

Литература

1. Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания: в 3 т. Т.1 / А.С. Орлин, Д.Н. Вырубов, Г.Г. Калиш [и др.]; под ред. проф. А.С. Орлина. - 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машгиз, 1957. – 396 с.
2. Костин, А.К. Работа дизелей в условиях эксплуатации: справочник / А.К. Костин. – Ленинград : Машиностроение, Ленинградское отделение, 1989 – 284 с.
3. Колчин, А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: учебное пособие для вузов по специальностям «Автомобильный транспорт», «Автомобили и тракторы» / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1980. – 400с.

УДК 519.718.2

Расчет надежности бесперебойного питания для системы контроля перемещений трубопроводов реакторной установки

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 проведен расчет надежности бесперебойного питания системы контроля перемещений трубопроводов реакторной установки. Разработано дерево отказов оборудования, рассчитаны параметры отказа составляющих системы бесперебойного питания.

Контроль за перемещениями трубопроводов непосредственно связан с задачей обеспечения безопасной и надежной эксплуатации энергоблоков атомных электрических станций (АЭС). На блоках III+ поколения применяется система контроля перемещений трубопроводов (СКПТ). СКПТ является эволюционной автоматизированной, информационной системой [1].

Программно-технические средства СКПТ должны функционировать непрерывно, круглосуточно без постоянного обслуживания, с периодическими остановками для проведения профилактических и регламентных работ в период

плановых остановок оборудования автоматизированной системы, если иное не предусмотрено в документации на оборудование. Назначенный срок службы ПЛП не менее 10 лет. Техническое обслуживание СКПТ, требующее вывода оборудования из работы, должно производиться не чаще 2 лет. Надежность и оперативная готовность средств СКПТ должна обеспечиваться [2]:

- развитыми средствами самодиагностики программно-технических средств;
- использованием механизма резервного копирования на внешний накопитель и восстановления с него критически важной технологической и диагностической информации.

В системе должна быть предусмотрена система защиты при отказах отдельных компонентов системы и потере информации:

- в системе должна быть реализована возможность быстрой замены отдельного вышедшего из строя модуля на запасной без отключения электропитания всей системы;
- пропадание напряжения на одном из вводов не должно приводить к нарушению функционирования системы (ложные срабатывания, искажения информации), должен быть обеспечен «безударный» переход с основного питающего ввода на резервный и обратно.

Шкаф СКПТ, размещаемый в обслуживаемом помещении, предназначен для приема, сбора, обработки, хранения и передачи информации от преобразователей линейных перемещений, размещаемых в герметичной зоне. Конструктивно Шкаф СКПТ представляет собой напольный промышленный шкаф двустороннего обслуживания с установленным в нем оборудованием. Электропитание шкафа СКПТ должно осуществляться двумя фидерами (основной и резервный) от системы электроснабжения собственных нужд нормальной эксплуатации переменным током напряжением 220 В (допускаемые отклонения от -33 до +22 В), частотой 50 Гц (допускаемые отклонения от минус 3 до плюс 1,0 Гц). Ввод внешних кабелей в шкаф осуществляется снизу через кабельную панель.

В сети переменного тока возможны:

- снижение напряжения питания до 50 % на время до 0,1 с;
- снижение напряжения до 80 % на время до 10 с, а также до 70 % на время до 7 с и до 60 % на время до 5 с;
- выбросы напряжения до 120 % на время 0,2 с (длительность 10 периодов/ 200 мс);
- полное исчезновение напряжения при потере рабочего и резервного источников питания на время до 1,2 с (для нормальной эксплуатации).

Электропитание 220 В переменного тока с клемм двух независимых вводов поступает через двухполюсные автоматические выключатели и фильтры питания на распределительные клеммы.

С распределительных клемм напряжение 220 В поступает на автоматические выключатели блоков питания, а также на контактор, осуществляющий функцию автоматического ввода резерва (АВР) для вентилятора и ламп внутреннего освещения. АВР выполняет автоматическое переключение с основного ввода на резервный ввод при пропадании электропитания на основном вводе, а при возобновлении электропитания – переключение обратно на основной ввод.

С распределительных клемм питающее напряжение 220 В через автоматический выключатель поступает на вход основной системы бесперебойного питания 24 В, образованной при помощи блока питания, источника бесперебойного питания и аккумулятора. С распределительных клемм питающее напряжение 220 В через автоматический выключатель поступает на вход резервной системы бесперебойного питания, идентичной основной.

Для расчета надежности системы бесперебойного питания воспользуемся таким методом структурного анализа, как анализ дерева отказов.

Дерево отказов представляет собой дедуктивное логическое построение, которое использует концепцию одного финального события (как правило, отказ всей системы) с целью нахождения всех возможных путей, при реализации которых оно может произойти.

Целью данного метода является идентификация всех возможных комбинаций элементарных событий (отказов компонентов, человеческих ошибок, внешних факторов), которые могут привести к главному нежелательному событию.

Этапы проведения анализа дерева отказов:

- определение нежелательного события – это устанавливает область анализа, чтобы все последующие этапы были связаны с ним;
- выявление непосредственных причин, которые могут привести к нежелательному событию;
- соединение событий с помощью логических элементов: «ИЛИ» – если достаточно одной причины, «И» – если все причины должны совпасть.

Анализ диаграммы может быть качественным или количественным. Качественный анализ направлен на выявление критических путей отказа и минимальных сочетаний базовых событий, приводящих к верхнему событию. Количественный анализ – на основе логики дерева и вероятностей базовых событий рассчитывается общая вероятность или частота верхнего события.

Для анализа дерева отказов системы бесперебойного питания будет использоваться количественный анализ.

На основании описания системы бесперебойного питания составим дерево

отказов, которое представлено на рисунке 1.

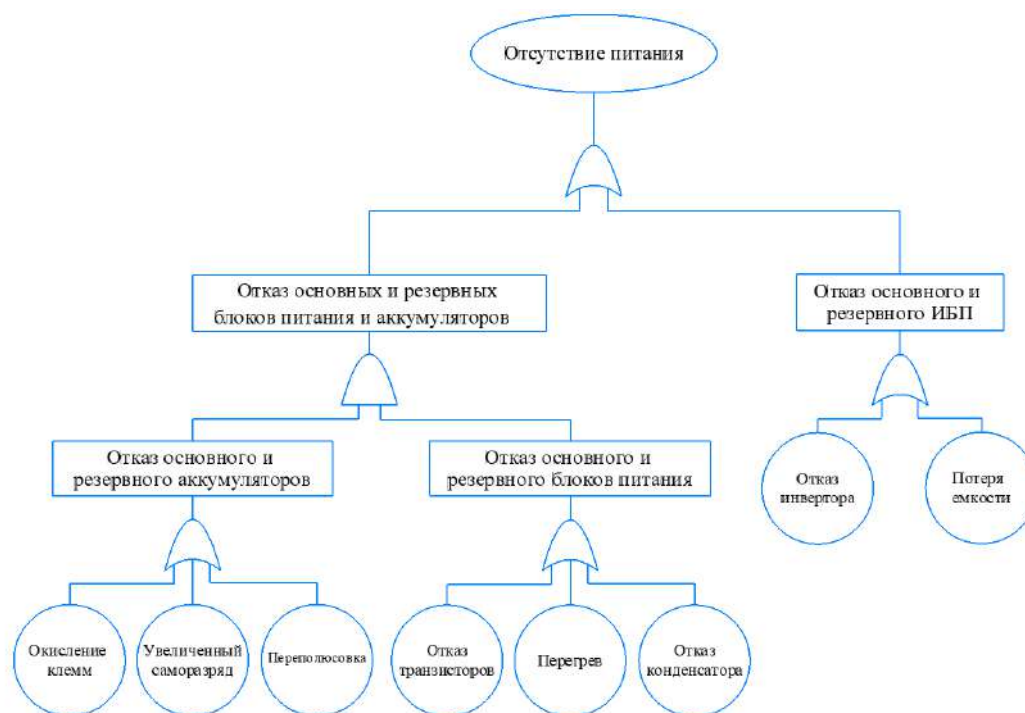


Рисунок 1 – Дерево отказов системы бесперебойного питания

Главным нежелательным событием является отсутствие питания, так как это ведет к отказу всей системы. Отсутствие питания наступит в случае, если произойдет отказ основного и резервного блоков питания одновременно с отказами основного и резервного аккумуляторов. Блоки питания перестанут подавать питание на ИБП, если откажут автоматические выключатели. Также отсутствие питания наступит в случае отказа основного и резервного ИБП.

Основные причины отказов ИБП QUINT4-UPS/24DC/24DC/20 связаны с проблемами в работе аккумуляторов, инвертора. Из-за длительной эксплуатации аккумулятор ИБП может потерять емкость. Это приводит к невозможности обеспечения питания нагрузки. Также вследствие длительной эксплуатации или перегрузки присутствует вероятность отказа инвертора.

Причины отказов аккумулятора QUINT-BAT/24DC/3.4AH могут быть связаны с неправильной эксплуатацией, износом и внешними повреждениями. Результатом неправильного подключения к устройству может стать переполюсовка, после которой восстановить аккумулятор невозможно. Загрязнение электролита аккумулятора может привести к увеличенному саморазряду: в день неисправный аккумулятор теряет 1,5% своей емкости. Высокий процент серной кислоты в электролите вызывает повышение сопротивления, что приводит к окислению клемм.

Блок питания QUINT4-PS/1AC/24DC/20 может выйти из строя из-за перенапряжения. В случае повышенного напряжения сети из строя могут выйти

конденсаторы блока питания. Отказ транзисторов вместе с обвязкой могут привести к отказу блока питания.

В таблице 1 приведены вероятности событий, порождающие отказ элементов системы бесперебойного питания.

Таблица 1 – Вероятности событий, порождающие отказ элементов

Событие	Вероятность наступления события
Окисление клемм	0,02
Увеличенный саморазряд	0,015
Переполюсовка	0,005
Отказ транзисторов	0,006
Перегрев	0,005
Отказ конденсатора	0,009
Отказ инвертора	0,003
Потеря емкости	0,007

Рассчитаем вероятности отказа элементов системы бесперебойного питания. Так как отказ элемента наступит в случае, если произойдет одно из событий, порождающее отказ элемента, вероятности отказа элемента рассчитывается по формуле:

$$Q_i = \sum_{i=1}^N q_i, \quad (13)$$

где q_i – вероятность события, порождающее отказ элемента.

Вероятность отказа аккумулятора:

$$Q_A = 0,02 + 0,015 + 0,005 = 0,04.$$

Вероятность отказа блока питания:

$$Q_{БП} = 0,006 + 0,005 + 0,009 = 0,02.$$

Вероятность отказа источника бесперебойного питания:

$$Q_{ИБП} = 0,003 + 0,007 = 0,01.$$

Результаты расчетов вероятностей отказов элементов сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов вероятностей отказов элементов

Элемент	Вероятность отказа
Аккумулятор: QUINTBAT/24DC/3.4AH	0,04
Блок питания: QUINT4-PS/1AC/24DC/20	0,02
Источник бесперебойного питания: QUINT4-UPS/24DC/24DC/20	0,01

Вероятность того, что произойдет отказ основных и резервных блоков питания и аккумуляторов: $Q_{БП и А} = 0,02^2 \cdot 0,04^2 = 6,4 \cdot 10^{-7}$.

$$\text{Вероятность отсутствия питания: } Q_{оп} = 6,4 \cdot 10^{-7} + 0,01^2 = 1,01 \cdot 10^{-4}.$$

В результате анализа дерева отказов системы бесперебойного питания, можно сделать вывод, что питание шкафа СКПТ организовано надежно, следствием этого является низкая вероятность отсутствия питания.

Литература.

1. Веселова, И.Н. Система контроля за тепловыми перемещениями трубопроводов / И.Н. Веселова, В.Д. Козырев // Глобальная ядерная безопасность. – 2012. – № 4(5). – С. 82-87.
2. НП-089-15. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. – М.: Ростехнадзор, 2016. – 71 с.
3. НП-001-15. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. – М.: Ростехнадзор, 2016. – 55 с.
4. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 24 с.

УДК 62-551.4

Обзор регуляторов компенсатора давления атомной станции с реактором ВВЭР-1000

Жаров Максим Алексеевич, 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 проведен обзор регуляторов компенсатора давления трех параметров: давления над активной зоной, разности температуры теплоносителя в горячих нитках и компенсаторе, уровня в компенсаторе. Представлены схемы включения регуляторов, используемые датчики и исполнительные устройства, номинальные значения регулируемых параметров, законы регулирования и зависимости для расчета ошибки.

Особенности работы оборудования на атомной станции и протекающие в них процессы, необходимость обеспечения надежности и безопасности, недоступность значительной части оборудования во время работы на мощности делают АЭС сложным объектом управления с высокой степенью автоматизации, а системы автоматического управления и регулирования (САУ) их неотъемлемой частью.

Современная значимость исследований в этой области определяется

несколькими факторами. Во-первых, существующие системы автоматического регулирования требуют постоянного совершенствования для повышения точности поддержания параметров в переходных режимах эксплуатации. Во-вторых, оптимизация алгоритмов работы регуляторов напрямую влияет на ресурс оборудования и экономическую эффективность энергоблока.

Актуальность обзора регуляторов компенсатора давления реакторной установки ВВЭР-1000 обусловлена ключевой ролью этой системы в обеспечении безопасной и стабильной эксплуатации атомной станции.

Компенсатор давления (КД) является основным элементом, поддерживающим давление в первом контуре. Система компенсации давления атомной станции с реактором ВВЭР-1000 оснащена несколькими специализированными регуляторами, каждый из которых выполняет уникальные функции в различных эксплуатационных режимах [1]:

- всережимный регулятор давления (УРС01);
- штатный и пусковой регуляторы уровня (УРС02, УРС03);
- регулятор расхолаживания (УРС04);
- регулятор «тонкого» впрыска (УРС05).

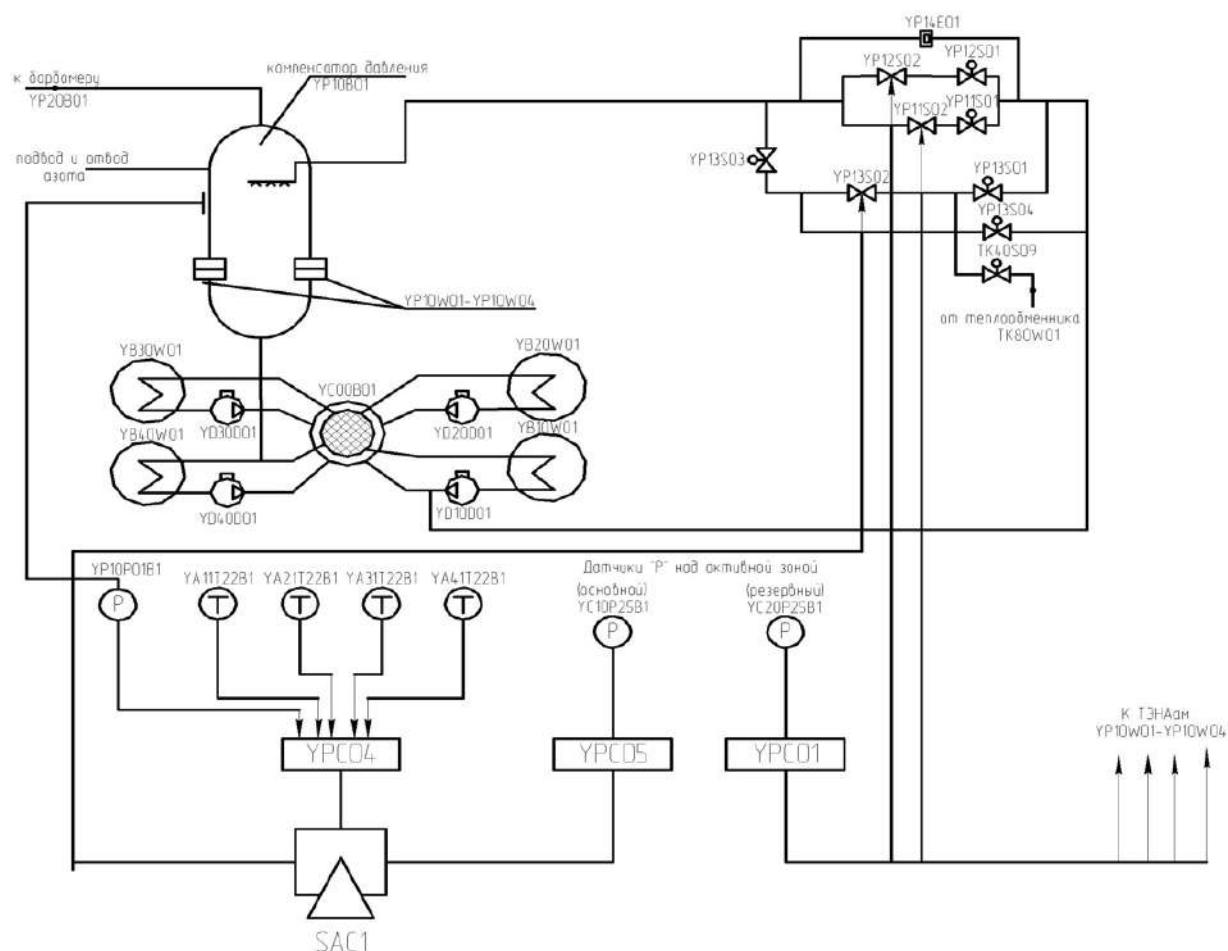


Рисунок 1 – Схема САУ давления и разности температур

На рисунке 1 представлена схема, иллюстрирующая работу регуляторов давления (1,2YPC01, 1,2YPC05) и разности температур (1,2YPC04), а в таблице 1 представлены их параметры.

Таблица 1 – Параметры регуляторов давления в КД и разности температур

Наименование	1,2YPC01	1,2YPC04	1,2YPC05
1	2	3	4
Регулируемый параметр	Давление над активной зоной	Разность температур теплоносителя в горячих нитках и в КД	Давление над активной зоной
Номинальное значение	160 кгс/см ² ± 1,5 кгс/см ²	55 °С ± 3 °С	162...165 кгс/см ² ± 1,5 кгс/см ²
Закон регулирования	Пропорциональный (П)	Пропорционально-интегральный (ПИ)	Пропорциональный (П)
Датчики	Давление над активной зоной 1,2YC10P25B1 1,2YC20P25B1	Давление в КД 1,2YR10P01B1 Температура теплоносителя в горячей нитке 1,2YA11T22B2 1,2YA21T22B2 1,2YA31T22B2 1,2YA41T22B2	Давление над активной зоной 1,2YC10P25B1 1,2YC20P25B1
Рассогласование (ошибка регулирования)		$\varepsilon = \Delta T_{\text{тек}} - \Delta T_{\text{зад}}$, где $\Delta T_{\text{тек}}$ – текущее значение разности температур; $\Delta T_{\text{зад}}$ – заданное значение разности температур	$\varepsilon = k_{\text{ос}} \cdot P_{\text{тек}} - P_{\text{зад}} + k \cdot \frac{dP}{dt} - k_{\text{ос_гк}} \cdot S$, где $P_{\text{тек}}$ – текущее значение давления над активной зоной реактора; $P_{\text{зад}}$ – заданное значение давления над активной зоной реактора; $\frac{dP}{dt}$ – однополярный скоростной сигнал по падению давления над активной зоной реактора; S – положение РК впрыска YP13S02; $k_{\text{ос}}, k, k_{\text{ос_гк}}$ – коэффициенты
Исполнительные устройства	Четыре группы ТЭН 1,2YR10W01 1,2YR10W02 1,2YR10W03 1,2YR10W04. Клапаны впрыска теплоносителя («толстый» впрыск) 1,2YR11S02 1,2YR12S02	Клапан впрыска («тонкий» впрыск) 1,2YR13S02	Клапан впрыска («тонкий» впрыск) 1,2YR13S02

В таблице 2 представлены параметры, характеризующие работу штатного и пускового регуляторов уровня (1,2YPC02, 1,2YPC03).

Таблица 2 – Параметры регуляторов уровня в компенсаторе давления

Наименование	1,2YPC02	1,2YPC03
1	2	3
Регулируемый параметр	Уровень в КД	Уровень в КД
Номинальное значение	610...877 см ± 15 см	610...1170 см ± 15 см
Закон регулирования	Пропорционально-интегральный (ПИ)	Пропорционально-интегральный (ПИ)
Датчики	Уровень теплоносителя в КД (штатный) 1,2YPI0L04B1 Максимальная средняя температура теплоносителя в циркуляционных петлях 1,2YA10T24Q4 Расход: - подпитки в 1 контур 1,2TK40F01B1; - подпитки на уплотнения ГЦН 1,2TK50F01B1; - уплотнения воды на сливе ГЦН 1,2TK60F01B;1 - продувки 1 контура 1,2TK80F01B1	Температура воды в КД 1,2YPI0T02B2 Уровень теплоносителя в КД (пусковой) 1,2YPI0L03B1 Расход: - подпитки в 1 контур 1,2TK40F01B1; - подпитки на уплотнения ГЦН 1,2TK50F01B1; - уплотнения воды на сливе ГЦН 1,2TK60F01B;1 - продувки 1 контура 1,2TK80F01B1
Рассогласование (ошибка регулирования)	$\varepsilon = L_{\text{зад}} + \Delta L_{\text{зад}} - k_{\text{ос}} \cdot L_{\text{кд}} - \sum F_{\text{мб}} + L_{\text{кор}}$, где $L_{\text{зад}}$ – заданное значение уровня теплоносителя в КД; $\Delta L_{\text{зад}}$ – поправка к заданию по уровню воды в КД;	$\varepsilon = L_{\text{зад}} - k_{\text{ос}} \cdot L_{\text{кд}} - \sum F_{\text{мб}} + L_{\text{кор}}$, где $L_{\text{зад}}$ – заданное значение пускового уровня теплоносителя в КД; $k_{\text{ос}}$ – коэффициент;
	$k_{\text{ос}}$ – коэффициенты; $L_{\text{кд}}$ – уровень воды в КД с температурной коррекцией; $\sum F_{\text{мб}}$ – материальный баланс теплоносителя первого контура; $L_{\text{кор}}$ – коррекция заданного значения уровня для компенсации статической неравномерности	$L_{\text{кд}}$ – пусковой уровень воды в КД с температурной коррекцией; $\sum F_{\text{мб}}$ – материальный баланс теплоносителя первого контура; $L_{\text{кор}}$ – коррекция заданного значения уровня для компенсации статической неравномерности
Исполнительные устройства	Регулирующие клапаны системы подпитки-продувки, установленные на напорной линии ПНА: 1,2TK31S02, 1,2TK32S02	Регулирующие клапаны системы подпитки-продувки, установленные на напорной линии ПНА: 1,2TK31S02, 1,2TK32S02

Во всех стабильных режимах работы энергоблока регуляторы САР находятся в одном из основных состояний: автоматическом или дистанционном управлении согласно таблице 3.

Таблица 3 – Режимы работы регуляторов компенсатора давления

Режим реакторной установки	Регуляторы КД				
	1,2YPC01	1,2YPC02	1,2YPC03	1,2YPC04	1,2YPC05
Работа на мощности	АВТ	АВТ	ДИСТ	ДИСТ	АВТ
Реактор критичен	АВТ	ДИСТ	АВТ	ДИСТ	АВТ
Горячий останов (расхолаживание)	АВТ (ДИСТ)	ДИСТ	ДИСТ (АВТ)	ДИСТ (АВТ)	АВТ (ДИСТ)
Холодный останов: (разогрев)	ДИСТ	ДИСТ	ДИСТ (АВТ)	ДИСТ (АВТ)	ДИСТ
Останов для ремонта	ДИСТ	ДИСТ	ДИСТ	ДИСТ	ДИСТ
Останов для перегрузки	ДИСТ	ДИСТ	ДИСТ	ДИСТ	ДИСТ
Петля в горячем резерве	АВТ	АВТ	ДИСТ	ДИСТ	АВТ

Режимы автоматического или дистанционного управления выбираются оператором путем перевода переключателя БРУ-32, соответствующего регулятора в

положение «АВТ» или «ДИСТ» и контролируются по светодиодной индикации над переключателями БРУ-32.

В автоматическом режиме регуляторы 1,2YPC01, 1,2YPC04, 1,2YPC05 могут находиться в одном из двух режимов работы: поддержания параметра или в стерегущем. Регуляторы 1,2YPC02, 1,2YPC03 находятся либо в режиме поддержания параметра, либо они отключены.

Проведенный обзор регуляторов системы компенсации давления для реактора ВВЭР-1000 позволяет сделать следующие выводы:

1. Многоуровневая структура регуляторов обеспечивает эффективное управление давлением в широком диапазоне режимов: от пуска до номинальной работы и аварийных ситуаций.

2. Существующие системы автоматического регулирования в целом успешно справляются с поддержанием параметров в стационарных режимах, однако при переходных процессах наблюдается необходимость в совершенствовании алгоритмов управления

3. Разработка и валидация математических моделей системы компенсации давления является необходимым условием для синтеза высокоэффективных регуляторов, способных минимизировать отклонения давления в динамических режимах работы реакторной установки.

Таким образом, дальнейшее развитие систем управления компенсатором давления ВВЭР-1000 должно быть направлено на повышение точности регулирования в нестационарных режимах и интеграцию современных цифровых технологий автоматизации [2].

Литература

1. Тямалов, А.А. Особенности управления технологическими параметрами системы компенсации давления АЭС с реактором ВВЭР-1000 / А.А. Тямалов, Я.А. Дубченко // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – № 2(11). – С. 98-103.
2. Глухова, Д.А. Разработка локальной системы автоматического регулирования давления компенсатора давления АЭС с реактором ВВЭР-1000 в режиме тонкого впрыска / Д.А. Глухова, Ю.А. Мефедова, Е.Д. Пестова // Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 80-летию атомной промышленности и 40-летию Балаковской АЭС: Материалы конференции, Балаково, 25 сентября 2025 года. – Балаково: Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Типография ЛИСТ, 2025. – С. 40-44.

**Опыт совершенствования и увеличения срока службы элементов
термометрических систем в высокопотенциальной рабочей среде паровых турбин**

Зализский Александр Григорьевич, кандидат технических наук

Изложены причины исследования фактического температурного состояния корпусов и внутрикорпусных деталей паровых турбин в период до 1989 года. Охарактеризованы усовершенствованные системы термометрического и визуального контроля и полученные с их использованием уникальные на тот период результаты. Впервые выявлено, что в камере регулирующей ступени (КРС) турбин с клапанно-сопловым парораспределением при переменных режимах происходят изменения температур пара со скоростями 76, а металла – 57 градусов в минуту. В зависимости от системы и настройки парораспределения и от расположения сопловых сегментов, в КРС возникает окружная неравномерность температур до 120 градусов. Темп изменения температуры металла на внутренней поверхности немного отстает от темпа изменения температуры пара. В итоге возникает значимая для НДС разница температур уже в небольшой толще металла внутренней поверхности. Все это требует учета при расчете НДС.

Исследованию температурного состояния проточной части, корпусов паровых турбин, клапанных коробок, стопорных и защитных клапанов головных образцов турбоустановок уделяется пристальное внимание НИИ, ЦКБ, заводов-изготовителей, высших технических учебных заведений и разных специализированных организаций. Целью является получение фактических данных температурного состояния для сопоставления их с проектными (конструкторскими) характеристиками и уточнение напряженно-деформированного состояния элементов турбины с учетом новых данных. Часть термометрических исследований проводится для уточнения причин повреждаемости корпусов турбин высокотемпературной зоны (ЦВД, ЦСД) и эрозийной повреждаемости лопаток последних ступеней, работающих в условиях влажного пара. Часть исследований проводится на модернизированном оборудовании и при проверках новых способов резервирования мощности.

Для определения допустимого числа конкретного вида переменных режимов турбин и их сочетаний при регулировании графиков электрических нагрузок энергосистем потребовалось уточнение температурного и термонапряженного состояния. Основные из них остановочно-пусковые (ОПР), моторные (МР), частичных оборотов (РЧО [1]), и снижения нагрузки паровых турбин до минимального допустимого значения на длительный период. В этих целях разрабатываются программы исследований, включающие термометрические, тензометрические и иные системы измерений.

При этом учитывается, что штатные системы термометрического контроля значимо инерционны. И обычно не позволяют получить точные данные для переменных режимов, в которых температурные процессы в паре протекают с большими скоростями и в больших диапазонах. И они устанавливаются в ограниченных количествах. Так, в турбинах К-200-130 ЛМЗ измерение температуры пара в камерах регулирующей ступени проводится гильзовой термопарой, размещаемой в защитной нержавеющей гильзе. Гильза в месте контакта с термопарой имеет толщину стенок около 1-1,5 мм, а сама термопара заключена в свою металлическую оболочку. Кроме этого, конец гильзы не выступает в поток пара, а оказывается погруженным в отверстие корпуса на глубину 30-40 мм, если считать от внутренней образующей корпуса цилиндра. И при малых расходах пара дает сглаженные уровни температуры за счет первоочередного контакта пара с металлом корпуса турбины, а затем гильзы. Для установившегося режима работы это не имеет никакого значения, а в переменных – наоборот. Такие термопары устанавливаются в единственном числе, как правило, снизу корпуса ЦВД, и не позволяют регистрировать, в случае наличия, разные уровни температур разно потенциальных потоков пара. Например, потоков, управляемых разными регулирующими клапанами соплового регулирования, открываемых последовательно и сопровождающихся различной долей срабатывания теплоперепада от сопловых сегментов, пар в которые поступает от клапанов, имеющих разную степень открытия, что приводит к значимой для термонапряженного состояния окружной неравномерности температур пара и металла внутри турбин. Измерение температуры металла вблизи внутренней поверхности корпуса проводится, как правило, термопарами, размещенными в несквозных глубинных сверлениях на верхней и нижней части корпуса, и на самой наружной поверхности, а также во фланцевых разъемах. Их число тоже ограничено, но достаточно для стационарных режимов. Для изучения нестационарных необходимо существенно большее количество термоприемников и оптимизация их размещения, которая выполняется с учетом теоретической проработки изменения температур пара и металла в зависимости от характеристик нестационарного режима. К настоящему времени проведено много работ и накоплено большое число публикаций о теоретических и экспериментальных исследованиях в этой области[1–10]. В результате были решены с достаточной точностью многие аспекты температурной и термонапряженной задачи применительно к отдельным переменным режимам, но конкретная масштабная исследовательская работа по выявлению взаимосвязи между повреждаемостью корпусов в целом и их отдельных, наиболее напряженных зон, и

основными переменными режимами, по большому парку турбин К-100-90 ЛМЗ (53 турбины) и К-200-130, успехов не имела. И это при том, что на каждой турбине К-100-90 было уже в среднем более 18 капитальных ремонтов и обследований состояния металла и, соответственно, очень большой статистический ряд исходных данных. (Работа выполнялась в рамках поставленной Междуведомственной комиссией СССР задачи по продлению срока эксплуатации литых корпусных деталей паровых турбин в 1975-1983 годах). К тому времени отдельные турбины К-100-90 наработали более 220 тыс. часов (турбины Уральского региона, эксплуатируемые преимущественно в базовом режиме) и до 2000 суммарно ОНР и МР (турбины южных регионов, активно используемые для регулирования неравномерности графиков нагрузок). Однако это не означает, что нестационарные режимы не влияют на повреждаемость корпусов ЦВД турбин обозначенного выше типа. В этой части удалось установить тесную корреляционную связь относительной повреждаемости корпуса ЦВД с общей наработкой каждого. И выявить факторы, подтверждающие как минимум косвенно, наличие взаимосвязи относительной повреждаемости с переменными режимами работы этих турбин. Ранее изложены в техническом отчете ЮжВТИ по исследованию металла турбины К-100-90 ст. №1 Кураховской ГРЭС после 177 тыс. часов эксплуатации с уточнением характеристик и влияния реальных переменных эксплуатационных режимов парка турбин упомянутого типа на их срок службы, а также докладывались совместно ЮжВТИ и КПИ на нескольких научно-технических совещаниях. По окончании этих комплексных натурных и теоретических исследований были получены следующие основные результаты:

1) Зависимость повреждаемости для корпусов ЦВД турбин К-100-90 южных регионов от общей наработки проходит круче, чем для всего парка проанализированных турбин и турбин Уральского региона, где количество основных нестационарных режимов в 3-4 раза меньше, чем для турбин южного региона.

2) Число трещин, обнаруженных на внутренней поверхности КРС, где возникают наибольшие напряжения в нестационарных режимах, гораздо больше для турбин южных регионов, которые, в отличие от турбин Уральского региона, работают в регулировочном режиме (соответственно 80 и 20 %).

3) Практическое отсутствие трещин на корпусах ЦВД турбин К-100-90 (6), которые, в отличие от турбин предыдущих модификаций, имеют одновенечную регулируемую ступень и 19 ступеней давления [11]. Соответственно на них наблюдаются меньшие уровни изменения температур КРС в переменных режимах из-за меньшего диапазона срабатывания теплоперепада.

4) Повреждаемость турбин южных регионов в зависимости от общего времени эксплуатации выше, чем для турбин Урала, что косвенным образом все-таки учитывает влияние переменных режимов. Подобные данные получены практически в то же время ОРГРЭС, ВТИ, заводами-изготовителями по турбинам мощностью 200 МВт. При том, что повреждения корпусов ЦВД в этих турбинах выявлялись по сведениям Авруцкого Г.Д. во время проведения каждого второго ремонта, и на них были случаи отрыва от корпуса всей сквозной ремонтной заварки глубиной 159 мм. Причинами отсутствия прямой зависимости повреждаемости корпусов турбин от режимов эксплуатации могут быть: более сложный, чем линейный, закон связи, недостаточный объем накопленных основных переменных режимов (циклов), неправомерное исключение из рассмотрения, казалось бы, не столь существенных факторов. Например, более мелких, чем в ОПР и МР изменений нагрузки до 25%, небольших – до 35 градусов, колебаний температуры пара перед турбиной и в самой турбине. В том числе, от степени открытия регулирующих клапанов при пусках и регулировании электрической нагрузки. Такой подход имел основания, потому что по результатам основных исследований температурного состояния, изменение температур пара и металла КРС в переменных режимах происходили со скоростями, близкими к допускаемым разработчиками. Другое основание – недостаточно точное задание исходных данных для расчетов НДС: величин температур и/или коэффициентов теплоотдачи, а также места их приложения.

Вместе с тем, в основной массе открытых публикаций и в доступных архивных источниках (отчетах о НИР, например, ИМАШ, ВТИ, ЮжВТИ), касающихся или прямо посвященных температурному режиму КРС, имеется несколько работ, ставящих под сомнение правомерность выше описанного подхода: их результаты кардинально отличаются от результатов большей части опубликованных и известных нам исследований. Эти результаты заставляют критически подойти к организации и проведению исследований процессов пара в КРС и её температурного состояния, включая неравномерность распределения температур по всей окружности КРС, паровпуска и в других сечениях по длине корпусов, и методику учета влияния основных и не основных переменных режимов на термоцикловую усталость.

Так, в [2] показано, что при отдельных переменных режимах у турбины К-200-130 полных или частичных сбросах нагрузки, закрытии стопорных или прикрытии регулирующих клапанов, толчках роторов наблюдаются недопустимо большие скорости изменения температур пара, достигающие 17 градусов, и иногда более резкие, до 30–40 градусов в минуту, сопровождающиеся большими изменениями

температур пара и металла внутренней поверхности КРС, и возникновением значительных напряжений. Указанные скорости изменения температур до 15 раз превышают допустимые разработчиками и заводами-изготовителями турбин и корпусов ядерных реакторов (1–1,2 градусов Цельсия в минуту). Хотя практическая возможность выдерживания таких малых скоростей в зоне регулирующей ступени паровых турбин в переменных режимах весьма сомнительна. Например, при толчке ротора турбины К-200-130 в пуске из капремонта [2] максимальное захлаживание внутренней поверхности КРС составило 62 градуса. Напряжения по данным тензометрии превысили 220 МПа. Эти уникальные данные были получены благодаря установке датчиков контроля температур и напряжений непосредственно на внутренней поверхности металла КРС. И объясняется это тем, что в других исследованиях температурного состояния турбин использовался традиционный метод установки термопар: не на внутренней поверхности, а в глубинных сверлениях, выполненных, как правило, ортогонально к исследуемой поверхности. Это один из самых неблагоприятных вариантов установки термоэлектрического термометра, поскольку термоэлектроды отводят тепло и от рабочего конца (спая), и от той части поверхности, температура которой должна быть измерена [12].

Отсутствие хотя бы близких, похожих, не говоря об аналогичных результатах, в большинстве других многочисленных исследованиях на то время связано не с тем, что не предпринимались меры исследований температурных процессов в КРС ЦВД с установкой средств измерений непосредственно на металле внутренней образующей камеры, а с тем, что обеспечить физическую целостность и живучесть таких замеров на практике оказывается делом не таким уж и простым. Особенно в высокотемпературных зонах, где предполагается наибольшее влияние изменения режимов работы, включая и большие изменения его давления и тепломассообмена. Известна работа [8], в которой отмечено, что работоспособность элементов температурного и тензометрического контроля в корпусах компенсаторов давления реакторных установок сохраняют работоспособность только в течение 3-х, максимум 6-ти месяцев эксплуатации, а в них гораздо меньшие максимальные температуры рабочей среды и меньшие скорости их изменения, чем в паровых турбинах. Поэтому обеспечить большой срок службы таких систем в проточной части турбин – задача непростая, что и подтверждается практикой. Установленные сотрудниками ЮжВТИ в 1975 году термопары в КРС и на торцовой части диафрагмы второй ступени модернизированного ЦВД со стороны входа пара от регулирующей ступени турбины

К-210-130-(3) ЛМЗ ст. №9 Молдавской ГРЭС, вышли из строя задолго до начала испытаний.

Причиной выхода из строя термопар, с изоляцией термоэлектродов кремнеземистой нитью, пропитанной высоко-термостойким кремнийорганическим лаком (КО-815), оказалась низкая устойчивость этой системы к динамическому воздействию парового потока. Несмотря на то, что трассы безгильзовых термопар до выводных отверстий, включая и сами отверстия, защищались на всем протяжении трассы тремя слоями фольги из нержавеющей стали 1X18Н9Т толщиной 0,15 мм, причем каждый слой приваривался точечной контактной электросваркой отдельно, чтобы обеспечить максимально возможное натяжение каждого слоя. Для уменьшения возможности продавливания паром этой фольги в выводное отверстие, оно зачеканивалось перед закрытием фольгой вручную кремнеземистой нитью, пропитанной тем же лаком. Анализ состояния термопар после вскрытия ЦВД той турбины в 1979 году показал, что вся фольга по трассе защиты термопар до первой диафрагмы была сорвана. Остались лишь поперечные полоски предварительного крепления при раскладке трасс, шириной 5 мм, приваренные точечной сваркой по обеим сторонам трассы, и сплошные полоски фольги с обеих сторон трассы по всей её длине, приваренные точечной сваркой при накладке защитных слоев фольги; также не имеющей значимой для отрыва паром, парусности. Следов кремнеземистой изоляции термоэлектродов тоже не было. При этом сами термоэлектроды без термоизоляции полностью сохранились. Об огромной силе механического воздействия паровых потоков и вибрационных нагрузок в зоне КРС свидетельствует факт проворачивания экранирующих козырьков на турбинах 210 МВт Разданской и Молдавской ГРЭС. Они, по данным личного осмотра автором, в 1979 году при вскрытии тех корпусов ЦВД оказались провернутыми по дуге в направлении, противоположном направлению вращения ротора. На Разданской ГРЭС это проворачивание происходило на протяжении года, с 1978 по 1979 (на Молдавской ГРЭС – около 4 лет, с 1975 по 1979 год), и было выявлено визуально при восстановлении оснастки, первоначально установленной в 1975 году для внедрения МР. Проворачивание козырьков произошло несмотря на то, что они были закреплены в корпусе ЦВД с помощью фланцев площадью опорной части примерно 50х30мм с каждой стороны в плоскости главного разъема и пальца круглого сечения диаметром около 36 мм, фиксирующего козырек внизу корпуса. На Разданской ГРЭС проворот козырька составил около 90 мм по окружности КРС, а на Молдавской ГРЭС по длине окружности более полуметра. Металл корпуса ЦВД был, по сути, полностью выфрезерован по всей вышеупомянутой

длине и площади фиксации козырьков в цилиндре. Значимо большая величина повреждения корпуса на турбине Молдавской ГРЭС, конечно, связана и с большим примерно в 4 раза временем эксплуатации турбины Молдавской ГРЭС, до упомянутых вскрытий ЦВД.

Попытка повысить устойчивость термопар размещением их в оболочке круглого сечения минимально возможного диаметра с последующей защитой её закрытием фольгой в несколько слоев ещё на двух турбинах К-200-130, одной К-160-130 Харьковского турбинного завода на Невинномысской ГРЭС, соответственно в 1979 году и несколько позже, положительных результатов не дала. Установка термопары в виде кабеля сверхмалого диаметра (КТМС, сечением не более 1,5мм) в нержавеющей оболочке тогда была невозможна, по причине отсутствия у организаторов экспериментов такого типа кабеля. Справедливости ради надо отметить, что такой кабель уже тогда выпускался промышленностью и использовался другими исследователями. Безусловно, такой кабель имеет в несколько раз меньшую парусность и ему менее опасно влияние на целостность и работоспособность продавливание защитных полос фольги в зоне выводных отверстий. Поэтому такая система заведомо должна иметь больший срок службы, чем термопара в оплетке из кремнеземистой нити. Позже такой тип кабеля все-таки был закуплен и использован на турбине ст. №1 Мироновской ГРЭС.

В зонах с гораздо меньшей температурой, особенно в проточной части ЦНД и последних ступенях ЦСД, было принято к установке и внедрено на многих турбинах нескольких ТЭС (рацпредложение сотрудников ЮжВТИ А. Зализского и В. Соловьева – «Способ установки (протаскивания) термопар в несущо-защитных трубках различной (сложной) конфигурации»). Они сохраняли полную работоспособность на протяжении нескольких лет и даже всю межремонтную кампанию в 4 года.

На турбинах К-100-90 Ворошиловградской и Мироновской ГРЭС безгильзовые термопары с оплеткой термоэлектродов кремнеземистой нитью на внутренней поверхности металла КРС, коробке регулирующего клапана, защищенные фольгой, прослужили более четырех месяцев после пуска турбин из ремонта. Для КРС это объясняется меньшим уровнем температур и давлением пара в зоне КРС в номинальном режиме, чем на турбинах К-200-130. Давление в КРС менее 5 МПа и температура 460 градусов из-за большего диапазона срабатывания теплоперепада на двухвенечной первой ступени. В то время как в ЦВД турбин К-200-130 давление в КРС достигает 9,6 МПа, а температура 515 градусов. В сечении КРС по её окружности турбины ст.№1 Мироновской ГРЭС было установлено 22 термопары, а всего внутри и

снаружи ЦВД и на клапанных коробках смонтировано 43 гильзовые, поверхностные и глубинные термопары.

Результаты исследований ЮжВТИ высоких скоростей изменения температур в переменных режимах на турбинах К-100-90 этих ГРЭС оказались близкими к полученным при термометрических исследованиях на турбинах К-200-130.

Основные результаты исследования на этих турбинах изложены в соответствующих научно-технических отчетах ЮжВТИ и совместных докладах с КПИ. В них подтверждены планируемые в Программах исследований результаты, которые позволили более обстоятельно задать температуры пара и металла для расчета термонапряженного состояния корпуса и ротора ЦВД. Итоги расчетов были учтены при принятии решений МВК о продлении срока эксплуатации турбин К-100-90 до 250 тыс. часов.

Несмотря на значительное совпадение результатов исследований на турбинах Ворошиловградской и Мироновской ГРЭС, в части зарегистрированных больших скоростей изменения температур и большой окружной неравномерности в зоне КРС и паровпуска, а также по толщине стенки в переменных режимах, с результатами работ на турбинах К-200-130 [1,2 и др.], сомнения в достоверности как тех, так и других, остались.

Во-первых, в работе [2] спай свободной термопары (не закрытый гермоколпачком), приваривался к металлу корпуса турбины внутренней поверхности КРС через защитную трубку диаметром 2 (два) мм и толщиной 0,06 мм. Но в статье не указано, было ли обеспечено единство спая и его защиты с металлом корпуса, исключающее существенное возвышение спая и его защиты над поверхностью основного металла, температура которого измеряется.

Если это не было выполнено, то спай термопары омывался паром не с одной стороны (строго сверху), а и с боков. Тогда теплоотвод от пара вглубь металла осуществлялся по усложненной схеме, частично от спая, омываемого не по ровной плоскости и через основной металл турбины вблизи. С неясностью, что же все-таки преимущественно измеряла термопара – температуру пара или металла, или нечто среднее (скорее всего, последнее). Тем более, если термопара или тензорезистор закрыты металлическим колпаком внутреннего диаметра (50мм) с зазором между крышкой колпака и внутренней поверхностью в 17 мм [1]. При такой конструкции ни истинной температуры, ни истинных напряжений, которые появляются на незакрытой поверхности в переменных режимах, они не покажут. Определенное сомнение вносит и разница показаний термопар по металлу, установленных на внутренней поверхности в

зоне фланцев турбин К-100-90 и Ворошиловградской, и Мироновской ГРЭС. Паровые термопары и термопары по металлу в этой зоне показывали незначительное изменение температур при прикрытии регулирующих клапанов в момент вступления в работу системы регулирования при приближении частоты вращения ротора к номинальной. А гильзовые паровые термопары и в верхней, и в нижней части этого же сечения показывали резкое и большое изменение температуры пара. С малой скоростью реагировала в отдельных режимах на изменения температуры пара в верхней части сечения глубинная термопара, спай которой расположен на расстоянии 12 мм от внутренней поверхности, предположительно в зоне действия потока пара, выходящего из сопел, управляемых регулирующим клапаном №1. Это явление имеет определенные объяснения. Экспериментальные паровые гильзовые термопары и вверху, и внизу КРС выходят за пределы внутренней образующей металла камеры регулирующей ступени на 40 мм. Они создают в этой зоне более близкую к истинной температуру пара, а не температуру, теоретически сглаженную теплообменом с металлом внутренней поверхности (чем ближе пристенный поток пара к металлу, тем должна быть больше степень упомянутого сглаживания). В частности, в некоторых исследованиях [6, 7, 9, 10] показано, что влияние глубины заделки спая термопар на измеряемую температуру (конкретно на исследуемой поверхности) зависит и от глубины заделки спая в металл, и от мощности теплового потока, омывающего упомянутую поверхность, и от шероховатости этой поверхности и конструктивных особенностей в местах установки измерительного устройства. Обозначенные выше факты могут оказаться значимыми для исследований термонапряженного состояния корпуса турбины, а надежность и срок службы – от способа заделки горячего спая термопары в основной металл, температура поверхности которого измеряется.

С учетом полученных результатов проходила термометрическая оснастка турбины К-200-130 ЛМЗ ст. №10 Бурштынской ГРЭС в 1981 году для внедрения моторного режима. Его освоение после внедрения было включено в приказ Минэнерго СССР от 8 января 1982 года №3, Приложение №10 - План проведения наладки и испытаний головного, модернизированного и серийного оборудования в 1982 году на электростанциях Минэнерго СССР.

Для повышения точности и надежности измерений температуры пара и металла вблизи внутренней поверхности и на ней самой в зону КРС турбины ст. №10 были вмонтированы две термометрические вставки конструкции Зализского А.Г., Кобзаренко Л.Н. и других.. Это устройство позволяет располагать спай термопар на любом расстоянии от внутренней поверхности с точностью не ниже 1 мм, и

значительно уменьшить методические погрешности из-за теплоотвода по термоэлектродам, и не образует на исследуемой поверхности металла никаких значимых для теплообмена искусственных неровностей (лунок, бугорков, задиров, сетки царапин, иных неровностей) и загрязнений.

В упомянутом устройстве термопары по металлу располагались на верхней части корпуса ЦВД соответственно на расстоянии $3^{\pm 1}$ мм, $8^{\pm 2}$ мм и $18^{\pm 2}$ мм от внутренней образующей поверхности КРС и под теми же углами к вертикали, что и ранее в работе [2] (40 и 18 градусов) для обеспечения попадания на них потоков пара, управляемых первым и вторым регулирующими клапанами соответственно.

Штатная гильзовая термопара в нижней части корпуса ЦВД, расположенная в пазе под сопловые сегменты третьего и четвертого РК, и углубленная на 30 мм от внутренней образующей поверхности металла для уменьшения инерционности замеров, была заменена на новую, более длинную (200 мм). Все экспериментальные термопары прошли тарировку на электростанции в диапазоне от 20 до 350 градусов в соответствии с действующими нормативными документами.

Перед пуском энергоблока из капитального ремонта все экспериментальные термопары были подключены к прошедшим Госповерку вторичным приборам (ЭПП-09 и КСП-4) и находились в работе вместе с приборами постоянного штатного контроля в течение нескольких месяцев после вывода энергоблока из ремонта; регистрировали температурные процессы во всех эксплуатационных и экспериментальных режимах, в том числе при набросах нагрузки на конечном этапе пусков до 227 МВт. Анализ диаграмм этих приборов за обозначенные месяцы показал, что оба устройства при наборе вакуума, наборе оборотов, переходных и стационарных режимах активной нагрузки в самых различных её диапазонах дают устойчивые и одинаковые показания по пару и температуре металла на глубине от 2–3 до 20 мм от внутренней поверхности КРС. Основная часть экспериментальных термопар сохраняла работоспособность более одного года.

Для более строгого определения динамики температур в ОНР, МР и иных режимах, паровые термопары, расположенных в металле термометрических вставок в расточке в количестве 6 штук, в том числе на глубине соответственно 3 и 20 мм, а также новая штатная гильзовая паровая термопара, расположенная снизу в зоне паровпуска, 9 декабря 1981 года были подключены на отдельный прибор ЭПП-09 со скоростью движения диаграммной ленты 1200 мм в час. Причем каждая термопара из них подключалась к двум не смежным, записывающим показания точкам. В результате регистрация показаний каждой этих наиболее ответственных термопар на этом приборе

проходила в среднем через 20–24 секунды. Смежные точки печатались через 4 секунды.

При пуске из капремонта перед толчком роторов температура пара в АСК 1, 2 достигла 284 и 313 градусов. Температура по показаниям всех 8 (восьми) термопар обоих термометрических вставок в расточке под козырек КРС находилась в диапазоне 120–125 градусов и была достигнута при наборе вакуума. В процессе повышения частоты вращения ротора до 500 об/мин и в течение последующих 5 минут температура пара здесь снизилась до 100–105 градусов, а металла – до 105–110 градусов. В дальнейшем, вплоть до перехода на частоту 1000 оборотов/мин, уровень температур в КРС установился на 110–114 градусах. Хотя температура пара в АСК к тому моменту уже равнялась 305–330 градусов. К моменту достижения 1000, а затем 1800 оборотов, наступившим к 21 ч 25 минутам, температура пара в расточке, как за первым, так и за вторым сопловым сегментом увеличилась до 215–220 градусов, на 115 градусов, со средней скоростью 22 градуса в минуту, в том числе, за первые 2,5 минуты со скоростью 30 градусов в минуту. Металл на глубине 3 мм за эти 4,5 минуты прогрелся со 110 до 177 градусов, на 67 градусов, а за первые 2,5 минуты до 164 градусов, то есть со скоростью 21 градус в минуту. Температура металла на глубине 18–20 мм за то же время зафиксировала увеличение температуры на 50 градусов, с возникновением разницы температуры между ней и углубленной на 3 мм до 18 градусов. Максимальные температуры пара в расточке под экранирующий козырек КРС составили: 254 градуса против соплового сегмента РК1 и 238 градусов против соплового сегмента РК2. Штатная паровая термопара в удлиненной гильзе внизу цилиндра между сопловыми сегментами 3 и 4 регулирующих клапанов при повышении частоты вращения ротора до 1800 оборотов зафиксировала повышение температуры до 184 градусов, всего на 64 градуса. Разница в сравнении с температурой пара в КРС составила $254 - 184 = 70$ градусов.

Ещё более высокий всплеск температур в исследуемой зоне возник при повышении частоты вращения ротора с 1200 до 3000 оборотов, выполненном за 1 минуту. К этому повышению оборотов температуры в КРС уменьшились до 198–227 градусов. За это короткое время в 1 минуту повышения частоты вращения ротора температура пара в расточке КРС увеличилась на 60 градусов и достигла 260 градусов, а металла на глубине 3 и 18 мм соответственно на 37–40 градусов и 27 градусов соответственно. Отличие температуры пара в расточке КРС напротив первого и второго РК в этом пуске достигало в отдельные периоды максимума в 35 градусов. В целом же

дисбаланс этих температур составлял около 3–5 градусов, что на полтора порядка меньше, чем для похожих режимов турбин К-100-90 ЛМЗ.

Далее температурное состояние турбины исследовалось как в эксплуатационных режимах, так и в предусмотренных программами экспериментах по переводу турбоустановки в МР, ОНР из неостывшего состояния, на нагрузке, близкой к номинальной, при существенном изменении температуры пара перед турбиной. За это время сохранялась работоспособность штатных и значительной части систем экспериментального термометрического контроля. В итоге получены следующие основные результаты исследований.

1. Температура пара вблизи поверхности, омываемой паром, во всех режимах почти не отличается от температуры металла приповерхностного слоя, расположенного на глубине 1–3 мм.

2. Скорость изменения температур пара в отдельных экстремальных режимах – быстрый набор нагрузки и наброс нагрузки с выходом на максимальную в 215 МВт, сопровождается изменением температуры пара в КРС со скоростью до 75 градусов в минуту, а металла на глубине 1–3 мм той же зоны – в 57 градусов в минуту, что на полтора порядка больше, чем допускается заводом-изготовителем.

3. Разность температур металла по толщине стенки между термопарой, заглубленной на 1–3 мм, и отстоящей от неё вглубь стенки на 15 мм, в экстремальных переменных режимах достигает 35 градусов. Это сопровождается возникновением разницы температур по всей толщине стенки, равной около 159 мм, до 87 градусов, почти в 2 раза превышающей допустимую. По штатным замерам разность температур по всей толщине стенки ЦВД в этом сечении составляет не более 30 градусов.

4. Новая штатная термопара, установленная перед экспериментами, и выходящая из сквозного отверстия в поток пара на 5 мм, показывает существенно меньший диапазон и скорости изменения температур в переменных режимах по сравнению с показаниями экспериментальной системы измерений.

Как упомянуто выше, для исследований последних ступеней ЦСД и проточной части ЦНД нескольких турбин разных ТЭС использовано предложение сотрудников ЮжВТИ Зализского А.Г. и Соловьева В.С. Суть его заключается в том, что спаи малоинерционных термопар размещались на внешней поверхности защитных трубок и выводились на внешнюю поверхность через полость самой защитной трубки, где защищались от прямого воздействия потока пара пластинками нержавеющей стали, привариваемой к защитной трубке точечной электросваркой. Эти устройства в сборе на языке исследователей называлось термометрической гребенкой. Количество термопар в

таком устройстве ограничивалось только внутренним диаметром защитной трубки и диаметром всего жгута термопар. В трубке внутренним диаметром 12 мм число термопар достигало 10-13 штук. В зависимости от общей длины термогребенки она крепилась, кроме штуцеров выводного отверстия в корпусе, ещё в одном месте с другого конца гребенки или в нескольких местах к элементам турбины. Для дополнительного крепления использовались хомуты на болтах. В проточной части за соответствующей ступенью гребенки устанавливались в количестве до 4 штук: сверху, снизу, слева и справа. Они позволили получить надежные данные окружного распределения температур за ступенями турбины. Кроме этого, на нескольких турбинах (К-100-90, К-200-130, ПТ-80/100-130) совместно с ЛМЗ внедрены системы визуального контроля на выхлопных патрубках ЦНД. Они представляли круглые окна, подобные иллюминаторам, диаметром около 170 мм, с органическими стеклами необходимой толщины, и такие же смотровые окна рядом для подсветки обычными или стробоскопическими лампами, установленные попарно. Наиболее разветвленная система такого, а также манометрического контроля, была внедрена на турбине ПТ-80/100-130 Кишиневской ТЭЦ-2 в 1982 году учеными и специалистами ЮжВТИ, КПИ и ЛМЗ для выявления факторов существенного эрозийного износа рабочих лопаток последних ступеней.

В целом, новая оригинальная экспериментальная система включала около 80 термопар по промежуточному отсеку и проточной части низкого давления, более 70-ти термопар по паровой части выхлопного патрубка, 9 смотровых окон на выхлопном патрубке в нижней и верхней части, несколько датчиков для измерения давления в конденсаторе и камерах теплофикационного и регенеративных отборов после промежуточного отсека.

Эта система позволила получить уникальные сведения о температурном состоянии промежуточного отсека и за последними ступенями, визуально и фотометрически зафиксировать переходные процессы в этой зоне от сухого до влажного пара, и распределение водяной фазы, в том числе, от впрыска конденсата и химочищенной воды для охлаждения выхлопных патрубков в режимах с частично открытой и полностью закрытой уплотненной перед исследованиями поворотной регулирующей диафрагмой.

По результатам первого этапа исследований на этой турбине были подготовлены в 1984 году учеными ЮжВТИ и КПИ промежуточный отчет и доклад «Выявление причин эрозийного износа рабочих лопаток последних ступеней турбины ПТ-80/100-130 ЛМЗ».

Выводы

1. Проведенные исследования подтвердили целесообразность применения усовершенствованных систем термометрического контроля в проточной части паровых турбин для исследования переменных режимов. Работоспособность внедренных на Бурштынской ГРЭС элементов термометрических вставок и термогребенок на других ТЭС может составить от двух до четырех лет.

2. Подтверждены большие скорости изменения температуры пара в камерах регулирующих ступеней турбин с клапанно-сопловым регулированием в переменных режимах и зарегистрированы впервые сверхвысокие скорости изменения температур в КРС при экстремальных режимах-сбросах и особенно при набросах нагрузки, достигающие 76 градусов в минуту по пару и 57 градусов по внутренней поверхности металла на глубине около 3 мм. Это должно учитываться при расчетах напряженно-деформированного состояния высокотемпературных корпусных деталей турбоустановок и уточнении их остаточного ресурса.

Литература

1. Кобзаренко, Л. Н. Температурное состояние турбины 200 МВт при сниженной частоте вращения ротора / Л. Н. Кобзаренко, А. А. Мадоян, В. В. Пашенко, А. Н. Гречаный, А. Г. Зализский, Н. С. Семешко // Электрические станции. — 1979. — № 4.
2. Хурщудов, Х. Г. Натурные тензометрические и температурные (термометрические) исследования турбины К-200-130 Бурштынской ГРЭС / Х. Г. Хурщудов, В. С. Сенин, Н. И. Пригоровский, Г. Д. Авруцкий // Теплоэнергетика. — 1973. — № 7.
3. Сенин, В. С. Измерение температур при тензометрии корпусов энергетического оборудования / В. С. Сенин, С. В. Маслов, Н. А. Зезюкин // Методы исследования термонапряжений в конструкциях. — Москва : Наука, 1976. — С. 35–39.
4. Кобзаренко, Л. Н. Совершенствование технологии моторного режима на турбине К-200-130 ЛМЗ / Л. Н. Кобзаренко, В. С. Шаргородский, В. Г. Здановский, А. Г. Зализский, Л. Е. Савчак // Энергетика и электрификация. — 1985. — № 1.
5. Кобзаренко, Л. Н. Температурное состояние ЦВД турбины К-200-130 ЛМЗ при переводе в моторный режим / Л. Н. Кобзаренко, А. А. Мадоян, Б. Л. Левченко, А. Г. Зализский, В. Ф. Алимбочко, В. И. Текушин // Электрические станции. — 1983. — № 11.
6. Николаев, Г.М. К оценке погрешности термопары. УДК 621.317.39. // Вопросы энергетики и автоматизация производственных процессов». Сборник Иркутского госуниверситета. Иркутск, 1974, с. 29-33.

7. Израилев, Ю.Л. Повышение надежности измерений температур пара в турбинах АЭС. Депонированная рукопись. УДК 621.165 ВТИ им. Ф.Э. Дзержинского, Москва, 1980. 8с.
8. Гетман, А. Ф. Термосиловое нагружение и его связь с напряжениями, повреждаемостью и остаточным ресурсом оборудования / А. Ф. Гетман, В. Ю. Маточкин, Б. И. Ворона, В. Ю. Зубов, Л. Б. Бабкин, А. Д. Ищенко // Атомные электрические станции. — Москва, 1991. — Вып. 12.
9. Балашов, Ю. А. Средние коэффициенты теплоотдачи от газа в сопловой лопатке ГТУ при больших числах Рейнольдса и влияние на теплообмен загрязнения поверхности лопатки. Раздел 5.3: Поправка на глубину заделки термопар, измерявших температуру поверхности экспериментальной лопатки / Ю. А. Балашов, Д. И. Мариев // Промежуточный отчет. — УДК 621.43. — № госрегистрации 78062138. — Арх. № 11359. — Индекс ОТиТ-1834. — Проблема 0.01.03, задание 01.03.
10. Богодяж, И. П. Узел заплавки горячего спая термопары : авторское свидетельство № 495551 / И. П. Богодяж, Ю. П. Николаев, В. Н. Казанский ; заявитель УралВТИ им. Ф. Э. Дзержинского. — Заявлено 08.02.1972, № 1745276/18-10; опубликовано 15.12.1975, Бюл. № 46 ; дата опубл. описания 26.02.1976. — МКИ: G01K 1/14, G01K 7/02.
11. Щегляев, А. В. Паровые турбины / А. В. Щегляев. — Москва: Энергия, 1976. — С. 240–241.
12. Преображенский, В. П. Теплотехнические измерения и приборы / В. П. Преображенский. — Москва : Энергия, 1978. — 705 с

УДК 621.165

**Температурный режим камеры регулирующей ступени и корпуса ЦВД
паровых турбин К-100-90 и К-200-130 ЛМЗ**

¹Зализский Александр Григорьевич, кандидат технических наук,

²Авруцкий Георг Давидович, кандидат технических наук,
заведующий лабораторией,

³Машевский Руслан Викторович,
студент направления «Электроэнергетика и электротехника»

²Акционерное общество «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени
Теплотехнический научно-исследовательский институт»

³Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

Изложены результаты исследований температурного режима камеры регулирующей ступени (КРС) паровых турбин двух типов, полученные с применением оригинальных систем термоконтроля. Подтверждены опубликованные сведения о проявлении в переменных режимах больших скоростей изменения температуры пара и металла в КРС, в 20 раз превышающих допускаемые разработчиками значения. Впервые получены результаты о суперскоростях изменения температур пара и металла в КРС для режимов с большими изменениями расхода пара и скорости вращения ротора. Скорости изменения температур достигают 75 градусов в минуту для пара и 60 градусов для внутренней поверхности металла КРС. Уточнены абсолютные величины (125 градусов для пара) и причины проявления окружной неравномерности температур пара и металла в КРС.

С середины 1970-х годов в СССР под руководством Межведомственной комиссией (МВК) проводилась комплексная широкомасштабная работа по продлению срока эксплуатации паровых турбин мощностью 100, 160, 200 и 300 МВт. По турбинам К-100-90 ЛМЗ работа выполнялась ЮжВТИ. Фактически она состояла из нескольких направлений.

1. Сбор и анализ сведений о режимах эксплуатации и повреждаемости литых корпусных деталей совместно со сведениями о физико-механических и химических его свойствах на момент обследований. В объем этой работы была включена информация 53 турбин энергосистем Центра, Юга, Северо-Запада, Урала, Красноярского края и Средне-Азиатских республик.

2. Исследование физико-механических и химических свойств металла корпуса ЦВД турбины К-100-90 ЛМЗ ст. №1 Кураховской ГРЭС, отработавшей 177 тысяч часов. Для этого она была выведена из эксплуатации, демонтирована, фрагментирована на высокотемпературную и другие температурные зоны, и передана специалистам по материаловедению для дальнейшего изучения.

3. Уточнение температурного и термонапряженного состояния в фактических режимах эксплуатации (ОПР [1, 2], МР [3, 4], РЧО [5], снижение до минимально-возможной нагрузки, колебания нагрузки и параметров пара) и его вероятного влияния на надежность и срок эксплуатации.

По третьему направлению были выбраны турбины ст. №6 Ворошиловградской и ст. №1 Мироновской ГРЭС. Они оснащались специальными системами термометрического контроля, дополнительно к имеющимся штатным системам. Большое внимание при этом уделялось повышению точности измерений в быстро протекающих во времени переменных режимах, и увеличению срока службы как отдельных элементов этих систем, так и всей системы в целом. Необходимость совершенствования систем термометрического контроля, повышения точности измерений и срока службы были вызваны следующими основными обстоятельствами:

1. В открытой печати и в доступных отчетах о НИР по турбинам К-100-90 на то время исследователи ЮжВТИ не нашли сведений об использовании при экспериментах термопар по пару и металлу непосредственно на внутренней поверхности металла паровпуска и КРС.

2. Результаты таких исследований на турбинах К-200-130 [2] были неоднозначными, а системы измерений на них недостаточно надежными для того, чтобы принять их для усовершенствования систем измерений при продлении срока эксплуатации турбин К-100-90. В итоге остановились на расширении систем измерений с размещением внутри турбины в поперечных сечениях в непосредственной близости друг от друга нескольких групп из трех термопар. Из них малоинерционная по пару, гильзовая, конструкции ЛМЗ, наконечник которой выводился в поток пара в среднем на 30 мм. Вторая в группе – паровая безгильзовая, изолированная от металла корпуса квадратиком слюды толщиной 1мм. И третья – по металлу, спай которой приваривался в лунку диаметром около 1,5 мм конденсаторным разрядом. В каждом поперечном сечении такие группы встроенных термопар устанавливалась в четырех местах сечения паровпуска и КРС: сверху, снизу, а также слева и справа в зоне фланцев. В стопорных клапанах и коробках регулирующих клапанов устанавливалась, как правило, одна такая группа. Защита термопар на поверхности металла была усилена и состояла из трех последовательно накладываемых слоев фольги, каждый из которых приваривался отдельно конденсаторным разрядом. Ширина каждого слоя принималась минимально возможной для уменьшения парусности при нагреве фольги. Кроме этого, часть термопар в нескольких группах дублировались. Также в зоне нескольких глубинных термопар на ЦВД и клапанной коробке устанавливались по одной такой же группе внутри проточной части. В сечении КРС по её окружности было установлено 22 термопары. Часть из них устанавливалась из теоретической предпосылки попадания на них потоков пара из сопловых сегментов, управляемых именно регулирующим клапаном №1. Другая часть располагалась в местах, где влияние потока пара от сопловых сегментов, управляемым регулирующим клапаном №2, должно, по тем же теоретическим соображениям, быть преобладающим.

Всего внутри ЦВД турбины Мироновской ГРЭС и непосредственно на нем, включая клапанные коробки, было установлено 43 гильзовые, поверхностные и глубинные термопары. Несколько из них было установлено кабелем типа КТМС общим диаметром около 1 мм.

Учитывая сведения об ограниченном сроке работы таких систем, испытания начинались сразу после пуска турбин из ремонта, в процессе которых изучались

показания всех экспериментальных и штатных термопар от начала набора вакуума и последующего толчка ротора до полного набора оборотов и электрической нагрузки.

Расчеты НДС проводились на самых мощных ЭВМ, предоставленных исследователям руководством РЭУ Донбассэнерго. Других ЭВМ большой мощности, которые могли справиться со сложными расчетами в приемлемое время, по имеющимся в ЮжВТИ и КПИ в то время данным, в Донецкой области не было.

Результаты исследований переменных режимов на турбинах К-100-90 ЛМЗ с применением усовершенствованной технически и количественно расширенной системы термометрического контроля оказались близкими к полученным при термометрических и тензометрических исследованиях на турбинах К-200-130 в части высоких скоростей изменения температур. Во-первых, были уточнены диапазоны и скорости изменения температур ЦВД как в инструкционных режимах, так и в реальных режимах эксплуатации, оказавшихся по результатам изучения эксплуатационных данных десятков таких турбин на различных электростанциях значительно отличающимися от инструкционных. Особенно это относится к режимам разгрузки, при которых генератор разгружается в течение одной-двух минут до нуля. Во-вторых, в проверке и подтверждении большой окружной неравномерности температур, которая, с теоретической точки зрения, прямо связана с особенностью работы штатно настроенной системы клапанно-соплового регулирования на этих турбинах. Она характеризуется последовательным открытием регулирующих клапанов. Сначала открывается регулирующий клапан № 1, расположенный на верхней части корпуса ЦВД, со срабатыванием большого теплоперепада именно этого потока в сопловых сегментах корпуса и двухвенечной регулирующей ступени при неизменном или малоизменяющемся уровне температур от полностью закрытых или немного открытых клапанов №2, №3 и №4. Затем вступает в работу клапан №2, расположенный на нижней части корпуса ЦВД, и только после него последовательно вступают в работу клапаны №3 и №4, расположенные соответственно на верхней и нижней частях ЦВД.

Схема установки части термопар на ЦВД турбины №6 Ворошиловградской ГРЭС приведена на рис. 1 и рис. 2 б, а турбины №1 Мироновской ГРЭС – на рис 2 а.

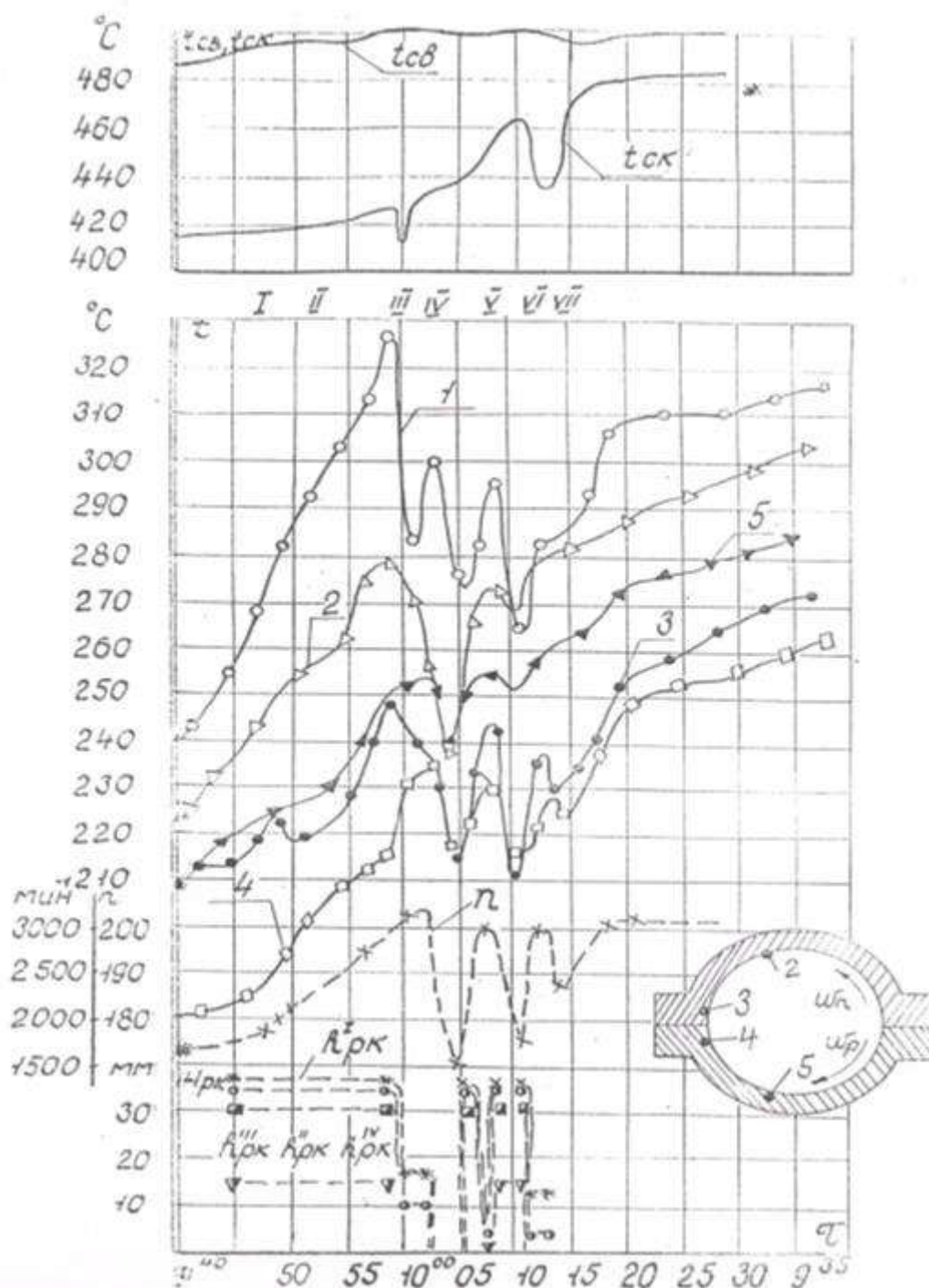


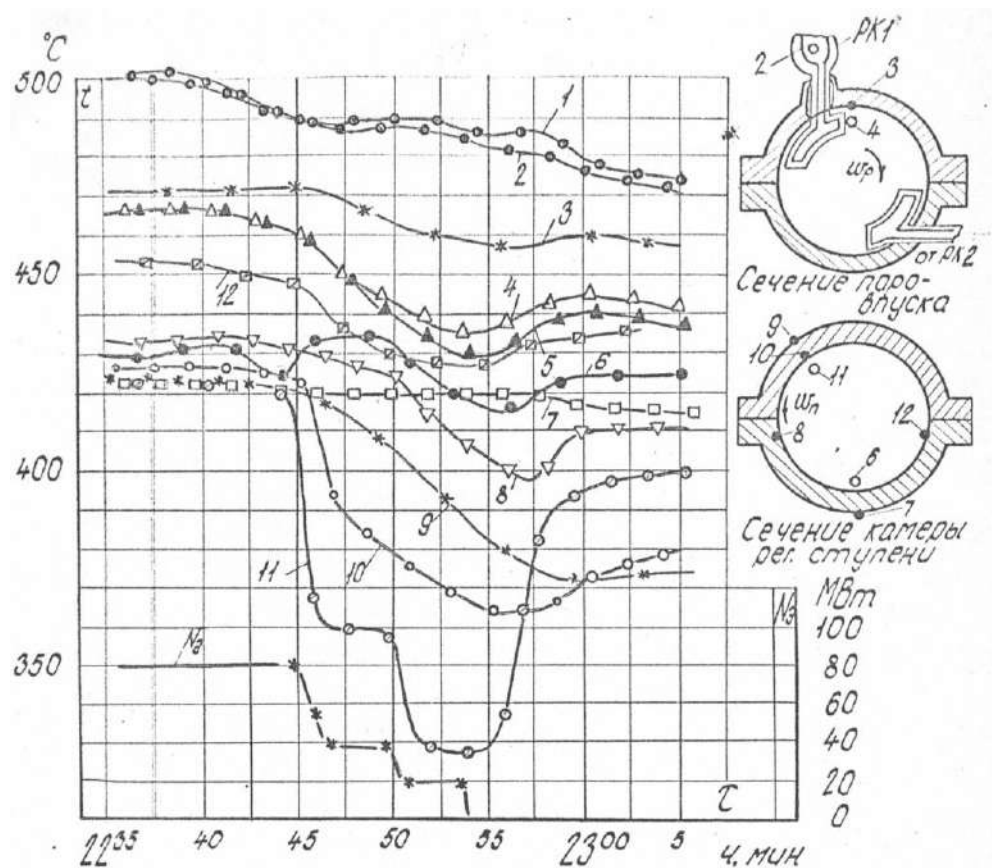
Рисунок 1 – Влияние режимных факторов на изменение температуры металла внутренней поверхности камеры регулирующей ступени турбины К-100-90 ст. №6 Ворошиловградской ГРЭС

На рис. 1 применены следующие обозначения: температуры $t_{св}$, $t_{ск}$ – температура свежего пара перед стопорным и в стопорном клапане соответственно; 1 – температура пара в сечении паровпуска; 2-5 – температура металла внутренней поверхности в сечении камеры регулирующей ступени, в соответствии со схемой; n – частота вращения ротора; $h_{рк}^I \dots h_{рк}^{IV}$ – величина открытия I...IV-го регулирующих клапанов соответственно; ω_p , ω_n – направление вращения ротора и предполагаемое

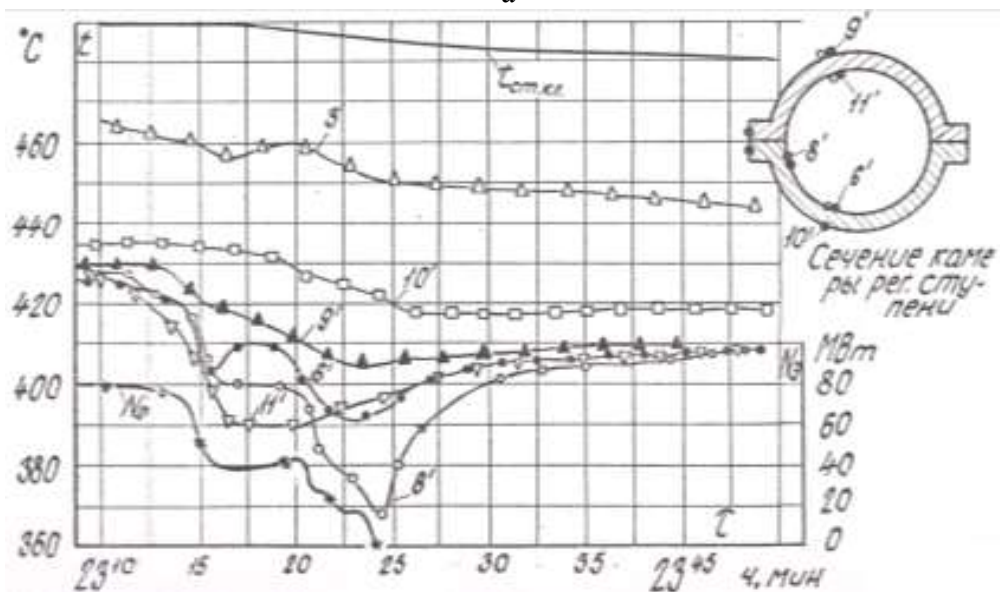
направление закручивания потока пара после рабочих лопаток регулирующей ступени; I – начало повышения частоты вращения ротора увеличением степени открытия малой паровой задвижки; II – начало открытия главной паровой задвижки; III – начало регулирования, прикрытие регулирующих клапанов; IV – отключение турбины автоматом безопасности; V – начало повторного повышения частоты вращения ротора; VI – закрытие стопорного клапана, полное открывание регулирующего клапана; VII – в 11,5 минут открытие стопорного клапана; VIII – в 12,0 минут прикрытие регулирующих клапанов; примерно в 13 мин кнопкой отключение турбины, закрытие стопорного клапана; в 15 мин. открытие стопорного клапана.

Основные результаты исследований на этих турбинах следующие.

В пуске из холодного состояния турбины, режимные характеристики которого приведены на рис. 1, сразу после подачи пара на концевые уплотнения металл внутренней поверхности КРС начал прогреваться со скоростью 4 градуса в минуту, с диапазоном всего прогрева до 20 градусов. В процессе повышения частоты вращения ротора до 750 об/мин, выполненного за 4,5 минуты, температура металла КРС повышалась со скоростью 4 градуса в мин. Затем сохранялась на уровне 1,5-2 градуса в минуту, то есть почти в два раза выше регламентированной инструкцией, вплоть до начала повышения частоты вращения ротора от 2000 до 3000 оборотов. После этого момента темп прогрева во всех точках замера замедлился до 1 градуса в мин., а на верхнем левом фланце наблюдалось уменьшение температуры на 7 градусов. После повышения частоты вращения ротора до 2850 оборотов темп прогрева увеличился и составил для разных мест от 4 до 7 градусов в минуту. Прикрытие РК после вступления в работу системы регулирования при 3200 об/мин в 9ч 58мин привело к расхолаживанию металла. После отключения турбины автоматом безопасности, наступившим через две минуты после прикрытия РК, общее снижение его температуры составило 40 градусов со средней скоростью 8 градусов в минуту, а на отдельных отрезках времени до 13 градусов в мин. и общим диапазоном изменения с высокой скоростью 20 градусов. Особенно велики были скорости колебания температуры металла КРС при закрытии и открытии стопорного клапана – около 22 градусов в минуту при амплитуде колебания в 34 градуса. Неравномерность распределения температур по окружности КРС составляла в основном до 40 градусов. Превышение температуры пара в сечении паровпуска над температурой металла в КРС составляло от 40 до 60 градусов. Разгрузка турбогенератора ст. №6 с 80 МВт до 40 МВт не более чем за 2,5 минуты сопровождалась снижением температуры пара на нижнем фланце в зоне КРС с 427 до 400 градусов, со стабилизацией на этой нагрузке и температуре в течение



а



б

Рисунок 2 – Изменение температур ЦВД в сечении регулирующей ступени турбин К-100-90-2(5) ЛМЗ при характерных режимах разгрузки:

а – ст. № 1 Мироновской ГРЭС при переводе в моторный режим;

б – ст. №6 Ворошиловградской ГРЭС при останове;

где температуры 1, 3', 5, тст.кл. – температуры пара в перепускной трубе к регулирующему клапану №1, в сечениях паровпуска и по соплам сопловых сегментов, в стопорном клапане соответственно.

2-12, 6', 8'-11' – температуры пара и металла согласно схеме расположения термодпар (○ - пар, ● – металл), Nэ – электрическая нагрузка, ωр, ωп – направление вращения ротора и предполагаемое направление сноса (закручивания) потока пара после выхода из 2 ряда рабочих лопаток регулирующей ступени

2,5-3 минут (см. рис. 2б). Максимальные скорости расхолаживания достигли 6 градусов в минуту при диапазоне изменения с такой скоростью 30 градусов. Максимальные разности температур внутри сечения КРС достигли 28 градусов, а разность по толщине стенки – 36 градусов. Аналогичное снижение нагрузки на турбине ст. №1 Мироновской ГРЭС сопровождалось быстрым уменьшением температуры пара в КРС против соплового сегмента, управляемого РК №1, за 3 минуты на 63 градуса, (рис. 2 а). Температура пара внизу в этом же сечении, наоборот, увеличилась за то же время на 12 градусов. К окончанию снижения нагрузки до 0 МВт дисбаланс этих температур составил 93-95 градуса, Средний темп уменьшения температуры пара в КРС за весь технологический цикл снятия нагрузки с 80 до 0 МВт продолжительностью 8 мин составил 11,9 градусов в минуту. Максимальная скорость равнялась 31 градус в мин. при диапазоне изменения с такой скоростью в 63 градуса. После снижения нагрузки до 0 МВт температура в упомянутой зоне уменьшилась с 400 до 368 градусов, на 32 градуса, при общем уровне снижения за эту технологическую операцию на 59 градусов, и средней скорости за 14 минут, равной 4,2 градуса в минуту.

Повышенные скорости охлаждения металла КРС наблюдались и при плановых снижениях нагрузки. Если турбина разгружается с 80 (восемьдесят) до 40 (сорока) МВт за полторы – две минуты, что часто имеет место при эксплуатации, то снижение температуры металла в зоне, подверженной влиянию потока пара от первого регулирующего клапана, происходит со скоростью до 10 градусов в минуту, но при малом диапазоне расхолаживания. Выдержка на нагрузке в 40 МВт приводит к стабилизации температур. Дальнейшее снижение нагрузки до нуля сопровождается уменьшением температуры ещё на 30 градусов со средней скоростью более семи градусов в минуту. После закрытия стопорного клапана происходит восстановление температур металла на 30 градусов за 5 минут с последующей стабилизацией, в том числе за счет перераспределения температур внутри металла, не охладившегося на больших глубинах. В опыте по разгрузке турбогенератора со скоростью 80 МВт в минуту изменение температуры металла по глубинной термопаре на расстоянии 12 мм от внутренней поверхности КРС составило тридцать семь градусов при скорости более 30 градусов в минуту. При этом изменение температур в других точках измерения было незначительным. В целом, результаты измерений на турбине К-100- 90 показали, что основной причиной расхолаживаний пара и металла в КРС в разгрузках и переводе в МР при постоянной температуре пара перед турбиной является перестройка процесса расширения пара на тех сопловых сегментах, перед которыми прикрываются

регулирующие клапаны. Различие температуры пара, выходящего из разных групп сопел при полном снижении нагрузки доходит до 110-120 градусов, что хорошо согласуется с расчетом переменного режима такой турбины. При частичных разгрузках эта величина значимо меньше, что видно из вышеприведенных рисунков. Полного перемешивания разнопотенциальных потоков пара, выходящих от клапанов с разной степенью их открытия, как это описывается в [6] перед истечением из КРС в камере регулирующей ступени не происходит. В результате по окружности внутри корпуса образуется явное неравномерное температурное поле. Этот факт свидетельствует о том, что понятие «температура пара в камере регулирующей ступени», используемое в тепловых и прочностных расчетах переменных режимов паровых турбин с сопловым парораспределением, является условным. На самом деле по проточной части турбины с таким парораспределением, работающей в переменном режиме, начиная от КРС, движутся потоки пара с разной температурой. Степень их распространенности (неполной смешиваемости, спиралезакрученности) по продольной оси (длине) турбины внутри фиксировалась в ЮжВТИ на нескольких турбинах, в том числе на ПТ-80-130 Кишиневской ТЭЦ-2, но делать конкретные количественные выводы на этот счет преждевременно. Причина – малая база экспериментальных данных. Общие результаты работ докладывались на нескольких научно-технических совещаниях совместно ЮжВТИ и КПИ, а также в Саратовском политехническом институте.

Несмотря на значительное совпадение результатов исследований на турбинах Ворошиловградской и Мироновской ГРЭС, в части зарегистрированных больших скоростей изменения температур и большой её окружной неравномерности в зоне КРС и паровпуска, и по толщине стенки в переменных режимах, с результатами работ [2 и др.], сомнения о соответствии полученных результатов фактическим не исчезли.

С учетом этих результатов проходила подготовка турбины К-200-130 ЛМЗ ст. №10 Бурштынской ГРЭС (БуГРЭС) в 1981 году к внедрению моторного режима.

Для повышения точности и надежности измерений температуры пара и металла вблизи внутренней поверхности КРС и на ней самой были вмонтированы разработанные к тому времени с учетом накопленного опыта две термометрические вставки специальной конструкции авторов Зализского А.Г., Кобзаренко Л.Н., Здановского В.Г. и Савчака Л.Е.

Это устройство позволяет располагать спай термодпар на любом расстоянии от внутренней поверхности с точностью не хуже 1 мм, значительно снижающее методические погрешности из-за теплоотвода по термоэлектродам, и не образующего на исследуемой поверхности металла никаких значимых для теплообмена неровностей и

загрязнений. Для турбины ст. №10 БуГРЭС было изготовлено и вмонтировано в корпус ЦВД непосредственно в расточку под экранирующий козырек две такие вставки.

Термопары по металлу располагались на верхней части корпуса ЦВД соответственно на расстоянии $3^{\pm 1}$ мм, $8^{\pm 2}$ мм и $18^{\pm 2}$ мм от наружной поверхности КРС и под теми же углами к вертикали, что и ранее [2], для обеспечения попадания на них потоков пара, управляемых первым и вторым регулирующими клапанами соответственно. Учитывалось, что на турбине К-200-130 ЛМЗ первый и второй РК, установленные слева и справа от продольной оси турбины на верхней части корпуса, открываются практически одновременно. Затем открываются клапаны №3 и №4, установленные в нижней части корпуса ЦВД.

Штатная паровая гильзовая термопара в нижней части корпуса ЦВД, расположенная в пазе под сопловые сегменты третьего и четвертого РК и углубленная на 30 мм от внутренней образующей поверхности металла для уменьшения инерционности замеров была заменена на новую, расположенную в удлиненной до 200 мм гильзе. Это обеспечило её превышение над металлом корпуса в этом месте паровпуска на 5 мм и позволило регистрировать температуру потоков пара от упомянутых сопловых сегментов, теоретически преимущественно от одного из них в отдельных режимах. Все экспериментальные термопары прошли тарировку на электростанции в диапазоне от 20 до 350 градусов в соответствии с действующими нормативными документами.

Перед пуском энергоблока из капитального ремонта все экспериментальные термопары были подключены к прошедшим Госпроверку вторичным приборам и находились в работе вместе с приборами постоянного штатного контроля в течение нескольких месяцев после вывода энергоблока из ремонта, регистрируя температурные процессы во всех эксплуатационных и экспериментальных режимах. Анализ диаграмм за эти месяцы показал, что оба термометрических устройства в стационарных режимах активной нагрузки в самых различных её диапазонах дают устойчивые и одинаковые показания соответствующих термопар по пару и температуре металла на глубине от 2-3 до 20 мм от внутренней поверхности КРС. Основная часть экспериментальных термопар сохраняла работоспособность более года.

Для более строгого определения динамики температур в ОПР, МР и иных переменных и экспериментальных режимах использовались паровые термопары термометрической вставки в расточке и по металлу в количестве 6 штук, в том числе на глубине соответственно $3^{\pm 1}$ мм и $18^{\pm 2}$ мм, а также новая штатная гильзовая паровая термопара в зоне паровпуска (снизу в пазе под сопловые сегменты 3 и 4 РК). 9 декабря

1981 года они были подключены на отдельный прибор ЭПП–09 со скоростью движения диаграммной ленты 1200 мм в час. Причем каждая из них подключалась к двум не смежным, записывающим показания точкам. Например, первая термopара ко второй и шестой точкам, вторая – к 3 и 7, третья – к 5 и 10 точкам, четвертая – к 8 и 13. В результате регистрация показаний каждой этих наиболее ответственных термopар на этом приборе проходила в среднем через 20 - 24 секунды. Смежные точки печатались через 4 (четыре) секунды.

Пуск турбины из холодного состояния после капитального ремонта 24.10.1981 сопровождался сложным характером изменения температур, который показан на рис. 3а. Перед толчком роторов температура пара в АСК 1, 2 достигла соответственно 284 и 313 градусов. Температура по показаниям всех 8 (восьми) термopар обоих термометрических вставок в расточке под козырек КРС находилась в диапазоне 120-125 градусов, достигнутая при наборе вакуума. В процессе повышения частоты вращения ротора до 500 об/минуту и в течение последующих 5 минут температура пара здесь снизилась до 100-105 градусов, а металла – до 105-110 градусов. В дальнейшем, вплоть до перехода на частоту вращения 1000 оборотов/мин, уровень температур в КРС установился на 110-114 градусах. Хотя температура пара в АСК к тому моменту уже равнялась 305-330 градусов. К моменту достижения 1000, а затем 1800 оборотов, наступившим к 21 ч 25 минут, температура пара в расточке как за первым, так и за вторым сопловым сегментом увеличилась до 215-220 градусов, на 115 градусов, со средней скоростью 22 градуса в мин., в том числе за первые 2,5 минуты со скоростью 30 градусов в минуту. Металл на глубине $3^{\pm 1}$ мм за эти 4,5 минуты прогрелся со 110 до 177 градусов, на 67 градусов, а за первые 2,5 минуты – до 164 градусов, то есть со скоростью 21 градус в минуту. Температура металла на глубине $18^{\pm 2}$ мм за то же время зафиксировала увеличение температуры на 50 градусов, с возникновением разницы температуры между ней и углубленной на 3 мм до 18 градусов. Максимальные температуры пара в расточке под козырек КРС составили: 254 градуса против соплового сегмента РК1 и 238 градусов против соплового сегмента РК2. Штатная паровая термopара внизу цилиндра между сопловыми сегментами 3 и 4 регулирующих клапанов при повышении частоты вращения ротора до 1800 оборотов зафиксировала повышение температуры до 184 градусов, всего на 64 градуса, таким образом разница в сравнении с температурой пара в КРС составила 70 градусов

На рис. 3 применены следующие обозначения: температуры для а: $t_{СК}^1$, $t_{СК}^2$ – температура пара в стопорных клапанах №1 и №2 соответственно; 1, 2 – температура пара на расстоянии 20мм от дна расточки под экранирующий козырек против сопловых сегментов I-го и II-го регулирующих клапанов соответственно; 3, 4 – температура металла соответственно на расстоянии $3^{\pm 1}$ мм и $18^{\pm 2}$ мм от внутренней поверхности расточки в зоне расположения паровой термопары 2; 5 – температура пара в нижней части корпуса между сопловыми сегментами III-го и IV-го регулирующих клапанов с превышением внутренней поверхности ЦВД 5мм; 6 – температура металла наружной поверхности корпуса снизу в сечении паровпуска (штатный замер); n – частота вращения ротора; рис б: $t_{СК}^1$, $t_{СК}^2$ – температуры пара в стопорных клапанах 1 и 2; 1 – температура пара на расстоянии 20мм от дна расточки под экранирующий козырек, 2 – температура металла на глубине $3^{\pm 1}$ мм от дна расточки в зоне расположения паровой термопары 1; 3 – температура пара в нижней части корпуса между сопловыми сегментами III-го и IV-го регулирующих клапанов на уровне внутренней поверхности ЦВД с превышением 5 мм; 4, 5 – температура металла верхней части ЦВД соответственно на глубине 100 мм от наружной поверхности и непосредственно наружной поверхности в сечении по камере регулирующей ступени, n – частота вращения ротора

Ещё более высокий всплеск температур в исследуемой зоне возник при повышении частоты вращения ротора с 1200 до 3000 оборотов, выполненном за одну минуту. К этому повышению оборотов температуры в КРС уменьшились до 198-227 градусов. За столь короткое время повышения частоты вращения ротора температура пара в расточке КРС увеличилась на 60 градусов и достигла 260 градусов, а температура металла на глубине $3^{\pm 1}$ и $18^{\pm 2}$ мм соответственно на 37-40 градусов и 27 градусов. Превышение температуры пара в АСК над температурой пара в КРС перед данной пусковой операцией составило не менее 160 градусов, а температура перепускных труб для нижнего и для верхнего регулирующих клапанов составила соответственно от 230 до 282 градусов.

Отличие температуры пара в расточке КРС напротив первого и второго РК в этом пуске достигало в отдельные периоды максимума в 35 градусов. В целом же дисбаланс этих температур в этом режиме составлял около 3-5 градусов, что на полтора порядка меньше для похожих режимов турбин К-100-90-2(5) ЛМЗ, приведенных ранее. По данным Авруцкого Г.Д., разница температур потоков пара при переменных режимах, управляемых первым и вторым РК, на отдельных турбинах К-200-130 достигала 120 градусов, как и на турбинах К-100-90. На турбине ст. 10

Бурштынской ГРЭС такие большие разности при испытаниях не зафиксированы, что может быть связано с различной характеристикой настройки системы регулирования клапанов, которая, согласно опыту, может значительно меняться в межремонтную кампанию.

В пуске 15.08.1982 из неостывшего состояния, когда ещё сохранилась работоспособность четырех экспериментальных термопар в расточке КРС, (см. рис. 3, б) перед повышением частоты вращения ротора с 1200 об/мин до номинальной превышение температуры пара в АСК над температурой расточки составило 165 градусов. Температура перепускных труб была на 29 градусов выше температуры расточки. За полторы-две минуты, потребовавшиеся для повышения частоты вращения ротора до 3000 об/мин, температура пара в расточке повысилась до 295 градусов, а металла на глубине $3^{\pm 1}$ мм – до 245 градусов (рис. 3 б, точка 2). При этом температура пара в расточке под сопловые сегменты внизу ЦВД увеличилась всего на 30 градусов. Штатная термопара, углубленная на 100 мм от наружной поверхности в верхней части корпуса по сечению 6 шпильки, отреагировала на повышение температуры пара и металла в расточке примерно через одну минуту, зафиксировав темпа прогрева до 5,5 градусов в минуту. Поверхностная термопара, установленная в этом же сечении сверху, отреагировала только через 5 минут. В результате минимальная разность температур по толщине стенки между дном расточки и наружной поверхностью составила 87 градусов, в то время как разность температур по толщине стенки ЦВД в этом сечении по штатным замерам не превысила 30 градусов.

Подъем или снижение нагрузки изменением степени открытия РК сопровождались соответствующим повышением или уменьшением температуры пара в КРС, а через 2 минуты те же самые значения температуры регистрировали все экспериментальные термопары по металлу КРС.

Очень важным свидетельством практически одновременного достижения изменения температуры внутренней поверхности, что и пара в той же зоне, как минимум для некоторых режимов, являются результаты исследований переменного режима клапанной коробки клапана №1 турбины ст. № 1 Мироновской ГРЭС. Так, в пуске из неостывшего состояния 25.11.1979 до толчка турбины температура пара по термопаре непосредственно у стенки, изолированной от неё подкладкой из слюды толщиной 1,0 мм, превышала температуру металла стенки этой же зоны на глубине 2-3 мм на 5-6 градусов и равнялась температуре внешней поверхности клапанной коробки. После толчка ротора температура упомянутых паровой термопары и термопары по металлу внутри клапанной коробки, стали резко увеличиваться, причем на

экспериментальном приборе ЭПП-09 со скоростью движения диаграммной ленты 720 мм/час превышение скорости температуры паровой термопары над скоростью температуры термопары по металлу не улавливалось. В результате, через 6,5 мин разность температур по толщине стенки паровой коробки достигла 45 градусов, ещё через 5 минут - превысила 75 градусов, а через 20 минут после начала разворота увеличилась ещё на 12 градусов до 87, при толщине стенки, примерно в два раза меньшей, чем толщина корпуса турбины в зоне паровпуска. Средняя скорость повышения температур на этапе разворота и холостом ходу составила 11 градусов в минуту, а общий диапазон повышения температуры достиг 225 градусов. На отдельных отрезках времени этого этапа скорость повышения температуры металла внутри клапанной коробки достигала 20 градусов в минуту, при общем диапазоне изменения с такой большой скоростью в 35 градусов. Глубинная термопара показывала существенное запаздывание.

Влияние прикрытия регулирующих клапанов на снижение температуры пара и металла в расточке под экранирующий козырек КРС турбины ст. №10 БуГРЭС подробно зарегистрировано в опыте №1, после того, когда турбину вывели из моторного в активный режим открытием байпасов ГПЗ и самих ГПЗ прикрытием АЗК при открытых регулирующих и стопорных клапанах, что проиллюстрировано на рис. 4, а.

На рис. 4 использованы следующие обозначения: $t_{СК}^1$, $t_{СК}^2$ – температуры пара в стопорных клапанах №1 и №2 соответственно; 1 – температура пара на расстоянии 20мм от дна расточки под экранирующий козырек, 2 – температура металла на глубине $3^{\pm 1}$ мм от дна расточки в зоне расположения паровой термопары 1; 3 – температура пара в нижней части корпуса между сопловыми сегментами III-го и IV-го регулирующих клапанов на уровне внутренней поверхности ЦВД с превышением 5мм (новый штатный замер); 4, 5 – температура металла верхней части ЦВД соответственно на наружной поверхности и на глубине 100 мм от наружной поверхности в сечении по камере регулирующей ступени; H_c – степень открытия главного сервомотора, n – частота вращения ротора.

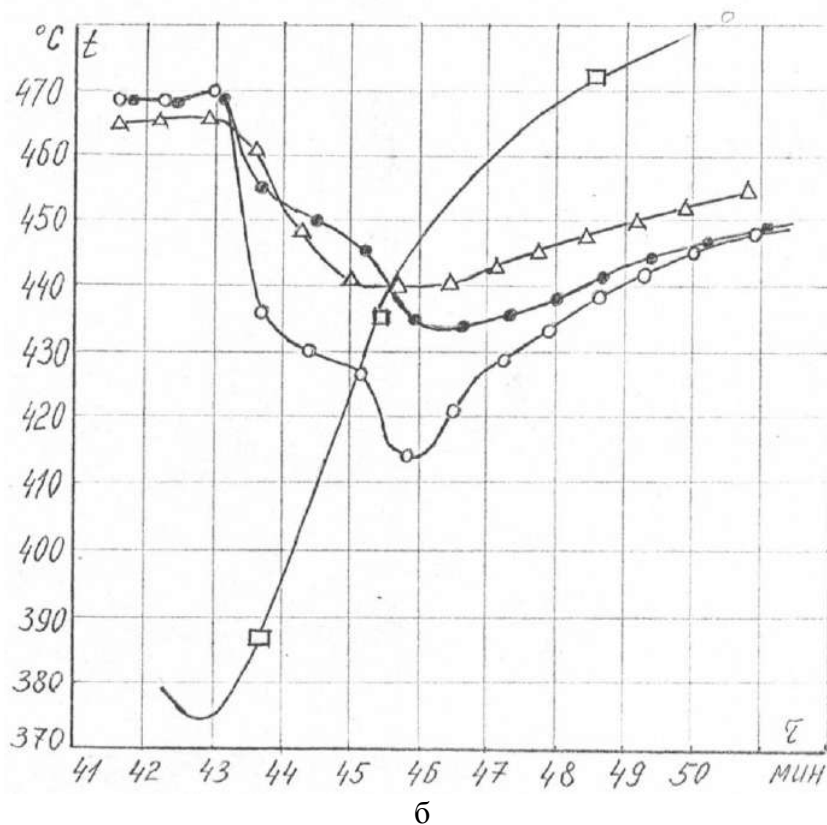
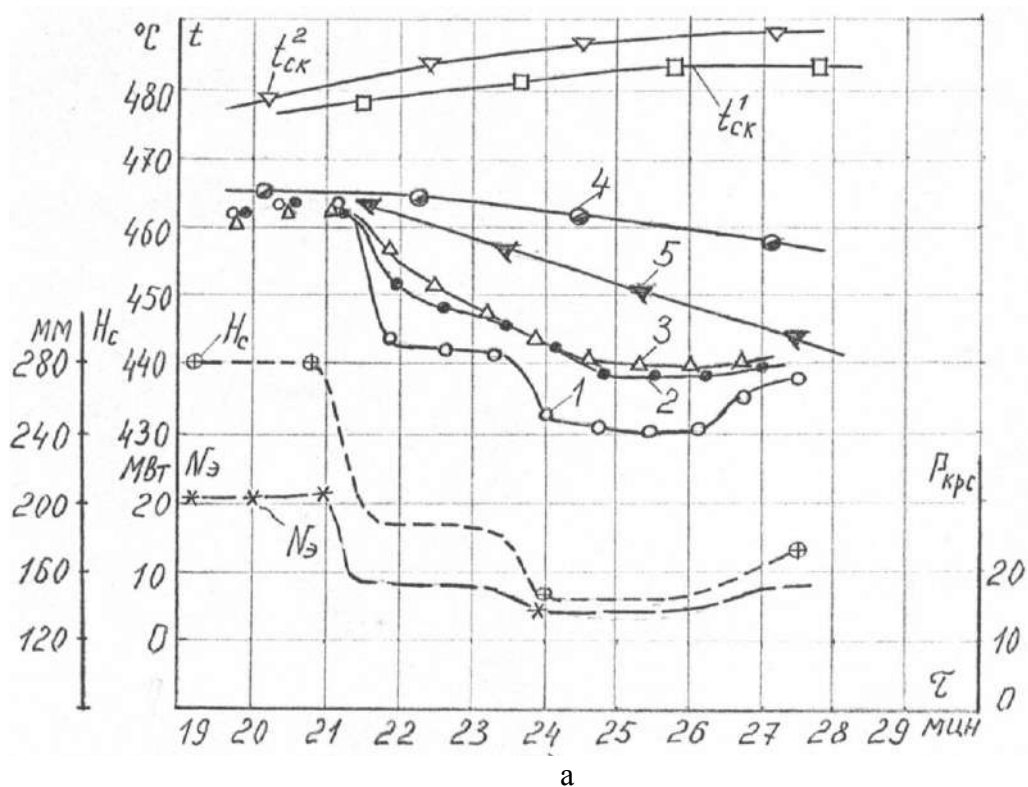


Рисунок 4 – Расхолаживание камеры регулирующей ступени корпуса ЦВД турбины К-200-130 ЛМЗ, а - при уменьшении электрической нагрузки прикрытием регулирующих клапанов, б - при выводе из моторного в активный режим при низкой температуре в стопорных клапанах

К моменту прикрытия РК главный сервомотор был открыт по указателю положения на 280 мм, нагрузка генератора равнялась 21 МВт. Прикрытие главного

сервомотора, выполненное двухступенчато в течение 3-х минут с 280 до 140 мм, привело к снижению температуры пара в расточке КРС за это же время на 32 градуса, с 464 до 432 градусов, а металла на расстоянии $3^{\pm 1}$ мм от дна расточки от внутренней поверхности вглубь металла на 26 градусов, с 464 до 438 градусов за 3 минуты 40 секунд. Причем температура пара за первую минуту снизилась на 20 градусов, затем в течение полутора минут стабилизировалась, а в следующие 0,6 минуты уменьшилась ещё на 10 градусов. Металл за первую минуту расхолодился на 13 градусов, с 464 до 451 градуса, затем в последующие 3 минуты продолжал охлаждаться со скоростью 4 градуса в минуту с достижением температуры в 438 градусов. Изменение температуры пара по новой штатной термопаре в сечении паровпуска снизу составило 22 градуса, с 462 до 440 градусов. Глубинные и наружная термопары сверху корпуса ЦВД за эти 3,5 мин зарегистрировали уменьшение температур соответственно до 452 и 462 градусов с возникновением разницы по толщине стенки в 10 градусов, и продолжали уменьшаться, хотя температуры пара внутри сечения КРС не только стабилизировались, но и начали увеличиваться с усредненной скоростью до 5 градусов в минуту.

Резкое изменение процесса пара в КРС подтверждается также изменением давления пара в КРС и за РК. Так, до прикрытия ГС, $P_{крс} = 0,4 \text{ кгс/см}^2$, P за РК №1, 2, 3 и 4 соответственно – 0,5, 3,5, 1,2 и 0,4 МПа. После прикрытия ГС и снижения нагрузки с 21 до 5 МВт все упомянутые давления по штатным приборам снизились до 0.

Ещё один режим со снижением температур в КРС прикрытием РК показан на рис. 4 б. Это было в одном из опытов при переводе ЦВД, работающем в беспаровом режиме (МР), в активный режим подачи пара в цилиндр открытием ГПЗ и их байпасов, при открытых РК и СК. Температура пара перед ГПЗ-1 и ГПЗ-2 равнялась соответственно 505 и 485 градусов. Стопорный клапан и перепускные трубы не прогревались из условия сохранения противотока в ЦВД до самого момента перехода к активному режиму. Пар в такой схеме работы после открытия РОУ движется от выхлопа ЦВД назад через всю проточную часть ЦВД к регулирующей ступени, где после неё смешивается с паром горячего промперегрева, подаваемого в первую камеру переднего уплотнения, далее отсасывается через открытые РК, перепускные трубы и увеличенные ранее до Ду 50 мм дренажи перепускных труб в конденсатор [3, 4]. При такой технологии температура пара в АСК в момент открытия БГПЗ и ГПЗ составляла всего 375 градусов, в описанном выше опыте $t_{СК}^1$, $t_{СК}^2$ равнялась 477-481 градусов и начала повышаться после этого со средней скоростью около 25 градусов в минуту. В результате такой подачи пара (открытием БГПЗ и ГПЗ) в турбину происходило снижение температур почти с того же уровня температур, что и показанного на рис 4 а,

но до значимо больших значений в сечениях паровпуска и КРС. Так, температура пара в расточке КРС снизилась за сорок секунд с 470 до 435 градусов, затем в течение следующих 1,5 минуты на 8 градусов, и далее за 0,8 минут ещё на 14. Общее снижение составило 56 градусов, до 414 за 2,7 мин. со средней скоростью 20,7 градусов в мин. Максимальная скорость уменьшения этой температуры пара была зафиксирована на первом этапе и достигала 50 градусов в минуту, с диапазоном изменения при такой скорости в 30 градусов.

Температура металла по термопаре, углубленной на $3^{\pm 1}$ мм от внутренней поверхности расточки, за 0,7 минут снизилась на 17, а в последующие 2,2 мин – ещё на 18 градусов. Таким образом, средняя скорость уменьшения температуры металла составила 12 градусов в минуту при допустимой для режима останова 0,7-1,2 градуса в минуту [2]. Максимальная скорость уменьшения температуры металла по этой термопаре имела место в первые 0,7 мин и составила 23 градуса в минуту, но при малом диапазоне уменьшения температуры металла с такой скоростью. Новая штатная гильзовая термопара по пару, установленная в сквозном отверстии корпуса между сопловыми сегментами третьего и четвертого регулирующих клапанов и выступающая в поток на 5 мм, за это же время зафиксировала изменение температуры пара всего на 27 градусов, с 467 до 440 градусов.

Проведенные опыты на Бурштынской ГРЭС подтвердили и то, что резкое изменение температуры пара в КРС, происходящее при подаче пара в турбину при низких температурах пара в стопорных клапанах, в значительной мере или почти полностью, улавливается термопарами. Они должны располагаться на внутренней поверхности металла и на незначительном расстоянии (до 15-20 мм и менее) от неё.

Резкие расхолаживания пара и металла в КРС наблюдаются и во время практикуемого на этой ГРЭС методе очистки поверхностей парогенераторов от шлака, заключающемся в кратковременном прекращении подачи пара в турбину прикрытием стопорных клапанов механизмом расхолаживания. В результате такого изменения режима работы турбины, например 30 ноября 1982 года, температура пара и металла на глубине $3^{\pm 1}$ мм от дна расточки (точка 6 на приборе МР-1) в КРС за 42 секунды уменьшились соответственно с 464 до 428 и с 464 до 444 градусов. За это же время температура по штатной паровой термопаре внизу корпуса в сечении паровпуска снизилась всего на 10 градусов. Ещё через одну минуту нагрузка была восстановлена с 0 до 25 МВт, и в последующие 1,5 минуты изменялась в диапазоне 26-38 МВт. Тем не менее, температура пара и металла в КРС продолжала снижаться со скоростью 5-6 градусов в минуту. Таким образом, температура пара и металла по экспериментальным термопарам верха расточки

КРС за 5 минут снизилась с 465 градусов соответственно до 410 и 425 градусов. Температура пара в пазе под нижние сегменты регулирующих клапанов уменьшилась за это время с 470 до 440 градусов, то есть почти в 2 раза меньше.

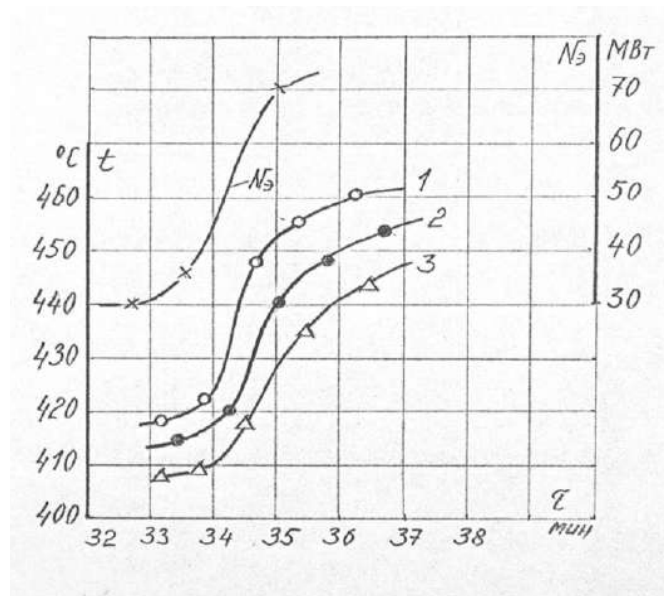
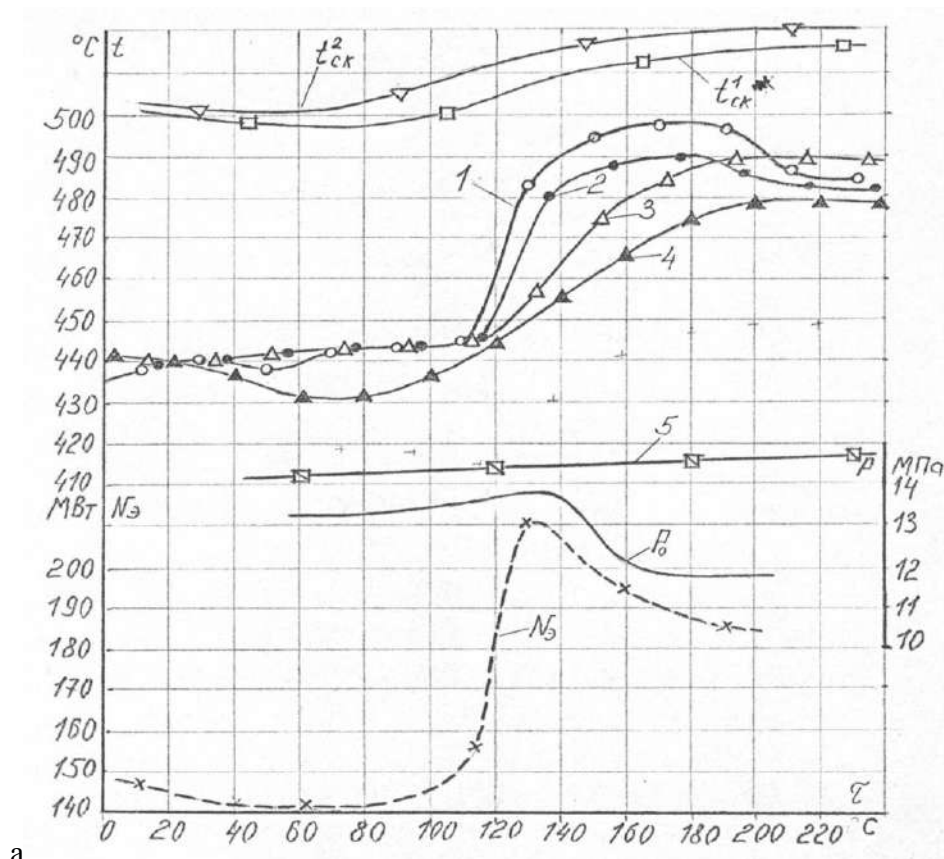


Рисунок 5 – Увеличение температур с экстремальными скоростями в зоне камеры регулирующей ступени и паровпуска турбины К-200-130 ЛМЗ при быстром увеличении электрической нагрузки: а – с 145 до 215 МВт, б – с 30 до 73 МВт,

9 декабря 1981 года на турбоагрегате №10 БуГРЭС при работе на холостом ходу с последующим нагружением и работе при нагрузке 140 МВт с $p_0=13,5$ МПа, при

температуре в стопорных клапанах №1 и №2, равных $t_{СК}^1$ 500 и $t_{СК}^2$ 508 градусов, турбогенератор был нагружен за 30 секунд со 145 до 215 МВт. Этот наброс нагрузки, сопровождался интенсивным ростом температур в паровпуске и в камере регулирующей ступени, показанным на рис 5, а.

На рис. 5 применены следующие обозначения: $t_{СК}^1$, $t_{СК}^2$ – температуры пара в стопорных клапанах №1 и №2 соответственно; 1 – температура пара на расстоянии 20 мм от дна расточки под экранирующий козырек, 2 – температура металла на глубине $3^{\pm 1}$ мм от дна расточки в зоне расположения паровой термопары 1; 3 – температура пара в нижней части корпуса между сопловыми сегментами III-го и IV-го регулирующих клапанов на уровне внутренней поверхности ЦВД с превышением 5мм; 4 – температура металла на глубине $18^{\pm 2}$ мм от дна расточки, 5 – температура металла верхней части ЦВД соответственно на глубине 100 мм от наружной поверхности, $N_{э}$ – электрическая нагрузка.

Температура пара по термометрической вставке в расточке под КРС за 40 секунд повысилась с 445 до 495 градусов, на 50 градусов, со скоростью 1,25 градусов в секунду, или 75 градуса в минуту. Температура металла на глубине $3^{\pm 1}$ мм по этой же вставке за те же 40 секунд увеличилась с 445 до 488 градусов, на 43 градуса, со скоростью 1 градус в секунду, или 60 градусов в минуту. Температура пара по штатной термопаре в расточке под сопловые сегменты в нижней части корпуса ЦВД, увеличилась при этом с тех же 445 градусов максимум до 478, на 33 градуса, со скоростью 0,83 градуса в секунду или 50 градусов в минуту.

Температура металла на глубине $18^{\pm 2}$ от дна расточки увеличилась с 435 до 462^{+3} градусов, на 27-29 градусов, со скоростью 0,68 градусов в секунду или 41 градус в минуту. В результате разница температуры между показаниями термопар, заглубленными в металл на $3^{\pm 1}$ и на $18^{\pm 2}$ мм, достигла 28 градусов. Разница между температурой металла внутренней поверхности (пристенного слоя толщиной около 0,5-1,0 мм) и температурой металла на глубине 20 мм на самом деле была ещё больше, так как термопара на глубине 3 мм всё равно дает некоторое занижение измеряемой температуры внутренней поверхности. Но при очень больших тепловых потоках, как в данном случае, это вряд ли столь имеет большое значение.

Описанный наброс нагрузки сопровождался через минуту снижением давления пара перед турбиной до 12 МПа, повышением его температуры до 515-520 градусов и resultирующим снижением нагрузки до 185 МВт.

Представляет большой практический интерес и темп прогрева камеры регулирующей ступени в пуске из горячего состояния 11-12 августа 1982 года с

быстрым повышением нагрузки с 30 до 73 МВт. Повышение нагрузки было выполнено за 2 (две) минуты, в том числе с 35 МВт до 70 МВт за 1,5 (полторы) мин. Температуры в этом режиме проиллюстрированы на рис 5б. Изменение температуры пара в термометрической вставке за две минуты составило от 420 до 458 градусов, на 38 градусов, при средней скорости за две минуты подъема нагрузки 17 градусов в минуту. Самые высокие скорости наблюдались в интервале от полуминуты после начала подъема нагрузки до 1,5 минут, составили 30 градусов в минуту. Температура металла на глубине $3^{\pm 1}$ мм увеличилась в целом с 415 до 445, на 30 градусов, со скоростью 15 градусов в минуту. За минутный интервал увеличения с наибольшей скоростью – с 417 до 440 градусов, на 23 градуса, со скоростью 23 градуса в минуту. В сравнении с большим уровнем наброса нагрузки и, соответственно, значимо большими расходами пара и тепловыми потоками скорости изменения температуры пара были, как это и должно быть теоретически, существенно больше при изменениях нагрузок с большего изначального уровня. Температура пара по штатной термопаре снизу паровпуска увеличилась на 36 градусов, с 417 до 453.

В [8] авторами исследований модернизированного корпуса ЦВД турбины К-200-130-3 приведены сведения о зависимости напряжений в корпусе ЦВД от средней скорости разогрева корпуса, в увязке с превышением допустимых скоростей изменения температур пара в КРС. Если упомянутые скорости в испытаниях превышают допустимые примерно в 2 раза и равны около 2 градусов в минуту, то напряжения при инструкционной скорости прогрева будут примерно в 2 раза меньше, по отношению к напряжениям, возникающим при увеличенной скорости прогрева до 2 градусов в минуту. Полученные нами скорости прогрева и охлаждения металла при экстремальных нагружениях и в некоторых других режимах превышают допустимые на полтора порядка. Логично предположить, что и напряжения металла на внутренней поверхности корпуса заведомо превысят те, которые замерены при допустимых или близких скоростях изменения температуры пара, примерно в 15 раз. Более точные значения напряжений могут быть получены только при детальном расчете термонапряженного состояния корпусных деталей обоих типоразмеров турбин в таких режимах.

Влияние изменения температуры пара перед турбиной на температурный режим ЦВД в зоне паровпуска КРС зарегистрировано в нескольких режимах. В одном температура пара в стопорных клапанах №1 и №2 снизилась соответственно с 447-445 до 392-365 градусов. После начала снижения температуры пара в СК температура в гильзовых термопарах во вставках КРС уменьшилась за 15 минут с 424 градусов до

344-348 градусов, со скоростью 5 градусов в минуту, а металла – с 412- 406 до 351-356 градусов со скоростью 4 градуса в минуту.

В другом зарегистрированном случае температура в обоих СК уменьшилась за 10 минут соответственно с 560-550 градусов до 490-495, на 70-55 градусов, Этому снижению предшествовал ещё один цикл снижения – подъема температуры в тех же стопорных клапанах. Температура в гильзовых термopax КРС при втором цикле уменьшения температуры в стопорных клапанах уменьшилась за это же время с 510-505 до 445-450 градусов со скоростью от 5,5 до 6,5 градусов в минуту и продолжала далее снижаться уже со скоростью 1-1,5 градусов в минуту ещё 5 минут, когда температура пара в стопорных клапанах уже стабилизировалась.

Выводы

1. Внедренная для уточнения температурного режима в камере регулирующей ступени турбин К-100-90 расширенная и усовершенствованная система измерений сохранила свою работоспособность более 4 месяцев и позволила достичь при исследованиях запланированных результатов. Они были учтены МВК при принятии решения о продлении срока эксплуатации турбин К-100-90 до 250 тыс. часов;

2. Внедренная на турбине К-200-130 ЛМЗ ст. №10 Бурштынской ГРЭС первая оригинальная термометрическая вставка сохраняла полную работоспособность 6 месяцев, вторая – более одного года.

3. С использованием этих систем надежно подтвержден при испытаниях и уточнен ранее выявленный в переменных режимах факт больших скоростей изменения температур пара и металла, в 15-25 раз превышающих допустимую разработчиками и заводами-изготовителями. Причем это не связано с выявленным ранее в других экспериментах Кобзаренко Л.Н. выбросом низкотемпературной среды (конденсата) из манометрических и дренажных трубок в ЦВД при резком изменении давления в камере регулирующей ступени.

4. Выявлено большое нарушение равномерности температурного поля К-100-90 в зоне паровпуска и КРС, в переменных режимах, вызванное особенностью клапанно-соплового регулирования упомянутых турбин и его фактической настройкой. Возникающая при этом окружная неравномерность температур в КРС достигает 120 градусов.

5. Окружная неравномерность формируется и наблюдается в разных диапазонах и с разной скоростью изменения температур, главным образом на К-100-90 при достижении частоты оборотов около 3000 в минуту, при вступлении в работу системы регулирования, при отключении турбины автоматом безопасности в испытаниях

бойков механической системы безопасности, при выводе турбины из моторного в активный режим подачи пара в ЦВД при открытых РК открытием байпасов ГПЗ и самих ГПЗ, и при плавном снижении электрической нагрузки уменьшением степени открытия главного сервомотора.

6. При быстрых наборах оборотов до номинального значения и набросах электрической нагрузки впервые зафиксировано изменение температур пара и металла внутренней поверхности КРС при скоростях, достигающих, казалось бы, теоретически, невероятных экстремальных значений, превышающих допустимые разработчиками и изготовителями турбин в 40-55 раз и равных 50-75 градуса в минуту. Они должны быть проанализированы с проведением детальных расчетов термонапряженного состояния для выявления наличия и степени опасности или отсутствия их опасности для металла, а также последующего уточнения срока службы.

7. В процессе осуществления пусков после капитального ремонта, из неостывшего и горячего состояний обоих типов турбин нередко проявляются недопустимые неисправности, требующие приостановки пусковых операций – отключение турбины со срывом или без срыва вакуума, с полным выбегом роторов и без полного выбега и последующему их возобновлению. За один такой пуск выполняется фактически несколько пусков и остановов. Сведения о таких режимах записываются в оперативные журналы, но не регистрируются в виде отчетных, как отдельные пуски и остановки. Не учитываются при анализе влияния переменных режимов на малоцикловую прочность и срок службы.

Литература

1. Кобзаренко Л.Н., Мадоян А.А., Аракелян Э.К. Оптимизация режимов останова энергоблоков 200 МВт при выводах в резерв на период провала графиков нагрузки. // Теплоэнергетика, 1978, №3, с. 9-12.
2. Хурщудов Х.Г., Сенин В.С., Пригоровский Н.И., Авруцкий Г.Д. Натурные тензометрические и термометрические исследования турбины К-200-130 Бурштынской ГРЭС.// Теплоэнергетика, 1973, №7.
3. Кобзаренко Л.Н., Мадоян А.А., Левченко Б.Л., Зализский А.Г., Алимбочко В.Ф., Текушин В.И. Температурное состояние ЦВД турбины К-200-130 ЛМЗ при переводе в моторный режим. // Электрические станции, 1983, №11.
4. Кобзаренко Л.Н., Шаргородский В.С., Здановский В.Г., Зализский А.Г., Савчак Л.Е. Совершенствование технологии моторного режима на турбине К-200-130 ЛМЗ. // Энергетика и электрификация, 1985, №1.
5. Кобзаренко Л.Н., Мадоян А.А. Пашенко В.В., Гречаный А.Н., Зализский А.Г.,

- Семешко Н.С. Температурное состояние турбины 200МВт при сниженной частоте вращения ротора. //Электрические станции, 1979, №4
6. Щегляев А.В. Паровые турбины. Москва, Энергия, 1976. с 240-241
 7. Преображенский . Теплотехнические измерения и приборы. Москва, Энергия, 1978. 705 с.
 8. Тензометрические и термометрические исследования модернизированного корпуса ЦВД турбины К-200-130-3 при переменных режимах работы / В.С. Сенин, Г.Х. Хуршудов, Г.Д. Авруцкий, В.П. Складчиков.// Теплоэнергетика. 1988. №5. с. 47-50.

УДК 62-932.4

Анализ работы различных компенсаторов давления с ядерными реакторами

Кирсанов Иван Александрович, студент специальности «Атомные станции:

проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

Разуваев Александр Валентинович, доктор технических наук,

профессор кафедры «Атомная энергетика»

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

В статье обсуждаются актуальные системы поддержания и компенсации давления первого контура АЭС. Особое внимание уделяется применению газовых компенсаторов в установках малой мощности, где важны энергоэффективность и быстроедействие. Результаты исследования подчеркивают необходимость компромисса между энергоэффективностью, надёжностью и точностью регулирования при выборе типа компенсатора, а также показывают, что, несмотря на ряд физико-химических ограничений, газовые системы являются предпочтительными для автономных и ограниченных по размерам энергоустановок.

Система компенсации и поддержания давления первого контура играет важную роль в обеспечении безопасной и устойчивой работы ядерных паропроизводящих установок. Её корректное функционирование определяет термогидравлическую стабильность реактора и эффективность отвода тепла от активной зоны. В водородных энергетических реакторах широко применяются паровые компенсаторы давления, принцип действия которых основан на фазовом переходе теплоносителя. В маломощных установках – морских, транспортных, модульных – чаще используются альтернативные решения, например газовые системы компенсации. Причина – специфические требования: ограниченные массогабаритные характеристики, автономность, снижение энергопотребления и стремление к упрощению конструкции.

Газовые компенсаторы давления функционируют за счет использования сжимаемого газа, чаще всего азота, который формирует газовую подушку, взаимодействующую с теплоносителем первого контура. На рисунке 1 представлена схема компоновки оборудования на примере реакторной установки малой мощности КЛТ-40с. Регулирование давления обеспечивается изменением объема газа при изменении объема теплоносителя; это позволяет компенсировать температурные и гидравлические колебания без реализации фазовых переходов.

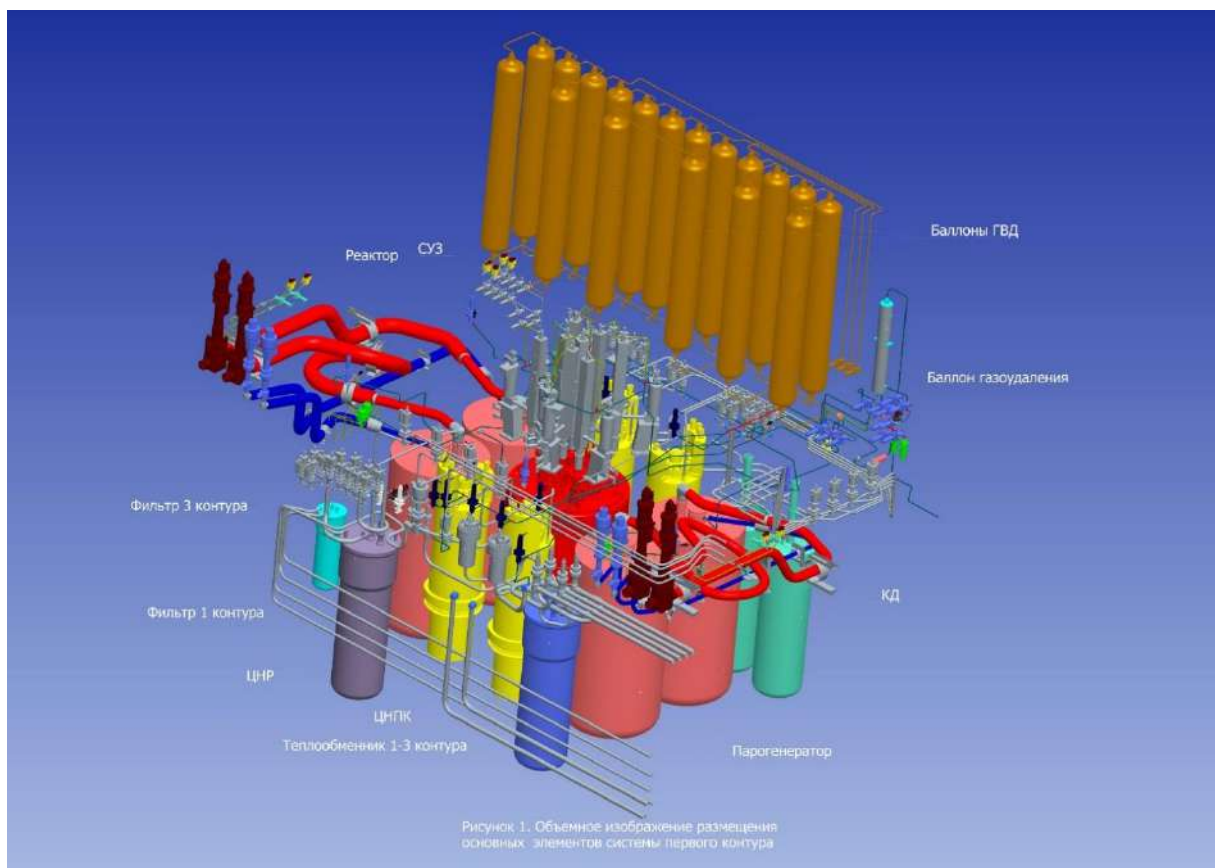


Рисунок 1 – Реакторная установка КЛТ-40с

Паровой компенсатор, в отличие от газового, поддерживает давление за счет равновесия между жидкой и паровой фазами теплоносителя, а регулирование осуществляется с помощью включения трубчатых электронагревателей для увеличения давления и впрыска воды холодных петель для его снижения. Различия между двумя типами компенсаторов носят принципиальный характер и затрагивают как термодинамические, так и эксплуатационные аспекты.

Одно из значимых преимуществ газовых компенсаторов – низкое энергопотребление. Отсутствие электронагревателей и систем впрыска позволяет существенно сократить расход электроэнергии на обеспечение собственных нужд станции. Для АЭС малой мощности это особенно важно, поскольку доля собственных энергозатрат в таких установках относительно велика и напрямую влияет на

экономическую эффективность. В определенных температурных диапазонах газовые системы способны функционировать без постоянной подпитки или продувки газа, что дополнительно упрощает эксплуатацию [3].

Другое важное преимущество – сравнительная простота конструкции компенсатора. Отсутствие сложных тепловых процессов, связанных с кипением и конденсацией, а также меньшее количество активных элементов и управляющих систем приводят к снижению вероятности отказов. Упрощённая конструкция способствует облегчению технического обслуживания и упрощает контроль состояния системы, что особенно важно для автономных энергетических установок, функционирующих в условиях ограниченного доступа.

Одним из ключевых преимуществ газовых систем является высокая динамичность протекающих в них процессов. За счёт высокой сжимаемости газа обеспечивается быстрое реагирование на изменения объёма теплоносителя, возникающие при колебаниях температуры и давления. Это позволяет эффективно сглаживать переходные процессы и снижать риск возникновения гидравлических ударов. Данное свойство приобретает особую значимость для установок, работающих в переменных режимах, где требуется оперативная адаптация к изменению нагрузки. Кроме того, газовые компенсаторы находят применение в реакторах с жидкометаллическими теплоносителями, поскольку использование паровых систем в таких условиях может быть связано с потенциальной опасностью, обусловленной особенностями протекающих физико-химических процессов [2].

В то же время газовые компенсаторы не лишены недостатков, среди которых одним из наиболее существенных является растворимость газа в теплоносителе, увеличивающаяся с ростом давления. Растворение части газа приводит к уменьшению объёма газовой подушки и, как следствие, к снижению эффективности регулирования давления. При последующем понижении давления возможно выделение растворённого газа в виде пузырьков, что может вызвать ухудшение теплообмена на поверхности тепловыделяющих элементов активной зоны, а также привести к повышенной кавитационной нагрузке на главные циркуляционные насосы.

Существенное влияние оказывают и радиационно-химические процессы. В условиях интенсивного нейтронного и гамма-излучения теплоноситель частично подвергается радиолизу и вступает во взаимодействие с растворёнными примесями и газами. Это приводит к нарушению водно-химического режима и ускоряет развитие коррозионных процессов в элементах первого контура. В результате возникает необходимость в дополнительном контроле химического состава среды, а также

повышаются требования к используемым материалам.

К числу недостатков следует отнести и высокие требования к герметичности системы. Даже незначительные утечки газа способны привести к изменению давления и нарушению режима работы компенсатора, что обуславливает необходимость постоянного мониторинга и периодической подпитки. Помимо этого, для поддержания стабильных параметров давления зачастую требуются значительные объёмы газа, что приводит к применению баллонных систем большого объёма. Это, в свою очередь, увеличивает габариты оборудования и усложняет его размещение в ограниченном пространстве, характерном для установок малой мощности.

Следует также учитывать, что при резком расширении газа происходит его интенсивное охлаждение, сопровождающееся образованием конденсата или даже льда. Это может негативно сказываться на работе клапанов и снижать общую надёжность системы защиты.

Паровые компенсаторы давления, несмотря на более сложное конструктивное исполнение, обладают рядом преимуществ. Использование фазового перехода обеспечивает высокую стабильность поддержания давления и точность его регулирования. Такие системы способны эффективно функционировать при значительных тепловых нагрузках и сохраняют устойчивость параметров в широком диапазоне режимов. Однако указанные преимущества достигаются за счёт увеличения энергопотребления, усложнения конструкции и необходимости применения дополнительных систем управления.

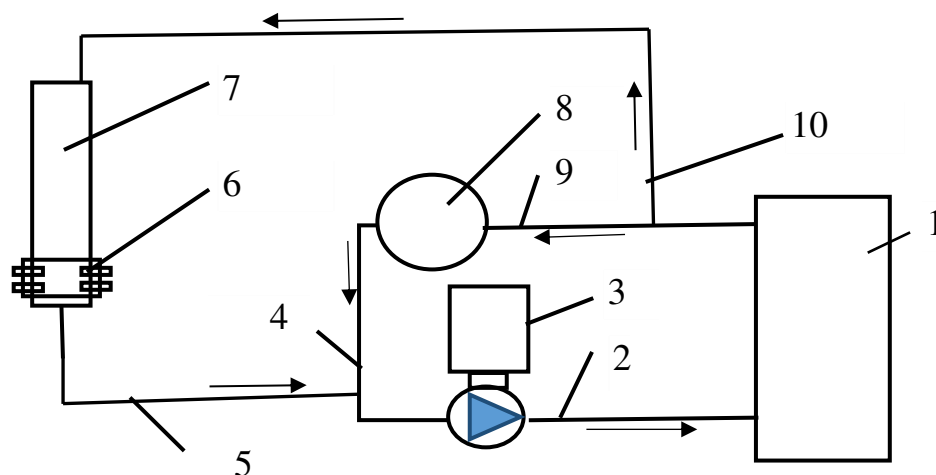


Рисунок 2 – Предлагаемая схема включения компенсатора давления в первый контур системы циркуляции двухконтурной ядерной энергетической установки:

1 – реактор; 2 – холодная нитка ГЦТ; 3 – главный циркуляционный насос; 4 – холодная нитка ГЦТ; 5 – дыхательный трубопровод КД; 6 – трубчатый электронагреватель КД; 7 – компенсатор давления; 8 – парогенератор; 9 – горячая нитка ГЦТ; 10 – дыхательный трубопровод КД

Для повышения эффективности работы парового компенсатора давления на атомных станциях большой мощности профессор Разуваев А. В. предлагает внести конструктивное изменение включения компенсатора давления в состав оборудования первого контура. На рисунке 2 представлена предполагаемая схема включения аппарата.

В заявленном изобретении для достижения данного технического результата является создание устройства первого контура системы циркуляции двухконтурной ядерной энергетической установки. Это достигается тем, что компенсатор давления включен в первый контур энергетической установки таким образом, что через него обеспечивается часть циркуляционной «горячей» воды первого контура.

В ней компенсатор давления подключен параллельно реактору. В этом случае нагретая вода в реакторе подается по трубопроводу в парогенератор, но при этом часть горячей воды по дыхательному трубопроводу подается в верхнюю часть компенсатора давления, а уже от него с нижней части по дыхательному трубопроводу подводится на всас главного циркуляционного насоса.

Часть горячей воды, прошедшей через компенсатор давления, испаряется и тем самым создает давление пара в компенсаторе давления, равным давлению насыщения пара при соответствующей температуре. Таким образом, нет необходимости включать трубчатые электронагреватели или уменьшить их количество, что в свою очередь ведет к экономии потребляемой электроэнергии и снижению стоимости изготовления электронагревательного устройства.

Тем самым предлагаемое техническое решение включения компенсатора давления параллельно реактору в первом контуре системы циркуляции двухконтурной ядерной паро-производящей установки способствует повышению надежности и экономичности энергетической установки относительно имеющегося технического решения прототипа [1].

Таким образом, выбор типа компенсатора давления для АЭС малой мощности представляет собой компромисс между энергоэффективностью, конструкционной простотой, надежностью и точностью регулирования. Газовые компенсаторы оказываются предпочтительными в условиях, когда на первый план выходят снижение энергопотребления, компактность, упрощение конструкции и высокая динамика системы. Паровые компенсаторы сохраняют преимущества в обеспечении стабильности и точности параметров, что делает их более подходящими для установок большой мощности и высокой инерционностью протекающих процессов. В условиях ограниченных массогабаритных характеристик и автономной эксплуатации это делает

газовые компенсаторы более предпочтительными, несмотря на наличие у них ряда эксплуатационных и физико-химических ограничений.

Литература

1. Патент 2685220 Российская Федерация, МПК51 G 21 C 15/00. Устройство первого контура двухконтурной ядерной энергетической установки: заявитель и патентообладатель Разуваев Александр Валентинович. – № 2018114884; заявл. 18.09.17; опубл. 17.04.19, Разуваев А. В. – 6 с.
2. Судовые ядерные энергетические установки: учебник для судомеханических специальностей вузов / А.М. Головизнин, В.А. Кузнецов, Б.Г. Пологих, А.К. Следзюк, Н.С. Хлопкин, Л.С. Цыганков; под ред. В.А. Кузнецова. – Москва : Атомиздат, 1976. – 376 с.
3. КЛТ-40С. Реакторные установки КЛТ-40С для атомных станций малой мощности / АО «ОКБМ Африкантов». – Нижний Новгород : АО «ОКБМ Африкантов», 2022. – 8 с.

УДК 004.22

Постановка задачи разработки информационного обеспечения цеха по ремонту и техническому обслуживанию электрооборудования и электрических сетей предприятия

Корнилова Наталья Валерьевна, к.т.н., доцент кафедры «Атомная энергетика»

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

Обоснована актуальность разработки информационного обеспечения для цеха по ремонту и техническому обслуживанию электрооборудования и электрических сетей. Разработаны контекстная диаграмма AS-IS, диаграмма декомпозиции AS-IS, диаграмма декомпозиции TO-BE и контекстная диаграмма TO-BE. Представлены функции, реализуемые разрабатываемым информационным обеспечением.

Развитие средств вычислительной техники и информационных технологий дало большие возможности создания и широкого применения автоматизированных информационных систем и баз данных различного назначения в качестве информационного сопровождения деятельности. В настоящее время современные методы управления предприятием основываются на сборе и обработке различной информации, и при полном ее наличии управленческий персонал и исполнители работ смогут в полной мере выполнять свои служебные обязанности. Внедрение

информационного обеспечения позволит повысить производительность и эффективность работы, а также сократит время на исполнение производственных задач. Отсутствие информационного обеспечения на производстве является распространенной проблемой, требующей решения.

Профилактическое техническое обслуживание является основой бесперебойной эксплуатации оборудования между плановыми ремонтами. Его цель – обеспечить надёжность работы техники и снизить потребность в ремонтных мероприятиях. Комплекс мер охватывает надзор за эксплуатацией, уход, поддержание работоспособности, а также проведение плановых осмотров, испытаний и регламентных процедур (очистка, промывка, продувка ряд других).

Техническое обслуживание подразделяют на два типа: регламентированное и нерегламентированное.

К нерегламентированному обслуживанию относят:

- постоянный контроль за функционированием оборудования;
- уход в процессе эксплуатации;
- поддержание техники в исправном состоянии.

Регламентированное обслуживание выполняют с периодичностью, зафиксированной в эксплуатационной документации. При этом интервал между процедурами не должен превышать период проведения текущего ремонта минимального объёма.

Работы планируют заранее на основе месячного графика ремонтных мероприятий. Важно, что длительность и трудозатраты на регламентированное обслуживание всегда остаются ниже (или равны) аналогичным показателям для самого простого текущего ремонта.

Основная задача ремонта – восстановить работоспособность и ресурса энергетического оборудования и сетей, а также устранить неисправности, которые возникли в ходе эксплуатации либо были выявлены в процессе технического обслуживания.

Для представления принципа организации работы ремонтного цеха построена модель AS-IS, позволяющая систематизировать протекающие процессы, а также используемые информационные объекты.

Контекстная диаграмма AS-IS представлена на рисунке 1.

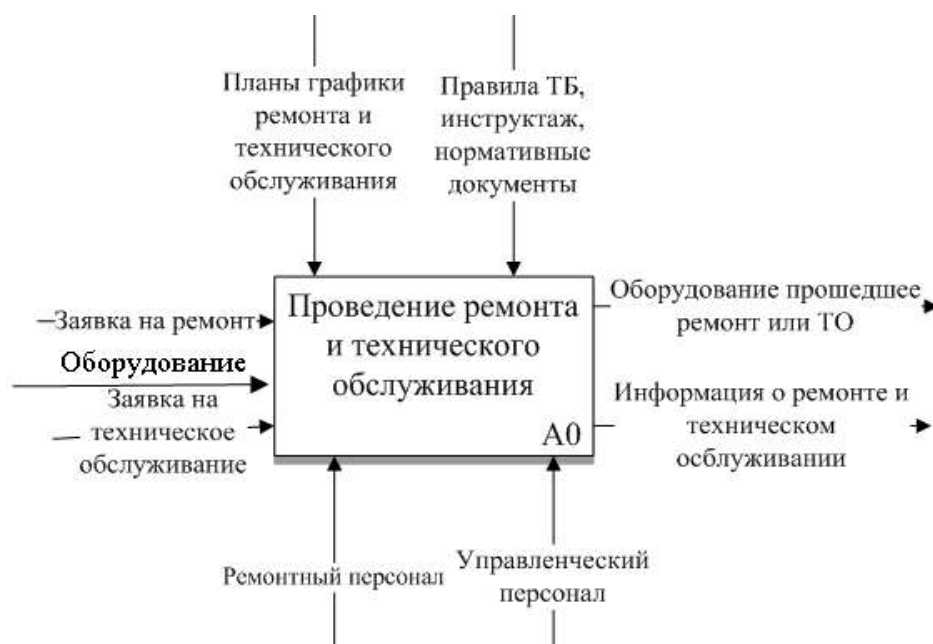


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма AS-IS

Центральный процесс, отображаемый на контекстной диаграмме, – ремонт и техническое обслуживание оборудования.

Для его реализации требуется оформление наряд-допусков, распорядительных документов и заявок на проведение соответствующих работ. При работах с электроустановками критически важно соблюдать нормы, прописанные в регламентирующих актах. В качестве обязательного подготовительного этапа перед выполнением любых операций проводится инструктаж задействованного персонала.

Ресурсами, которые выполняют главный процесс, являются исполнители, ответственные, руководители работ. Результатом выполнения ремонта и технического обслуживания является работоспособное оборудование, пригодное к дальнейшей эксплуатации.

Для реализации функции ремонта и обслуживания необходимо проведение ряда мероприятий:

- мероприятия по подготовке в ремонт;
- мероприятия, обеспечивающие безопасность;
- инструктаж по технике безопасности;
- текущий инструктаж.

Существует необходимость проведения декомпозиции данного процесса. На рисунке 2 представлена диаграмма декомпозиции AS-IS.

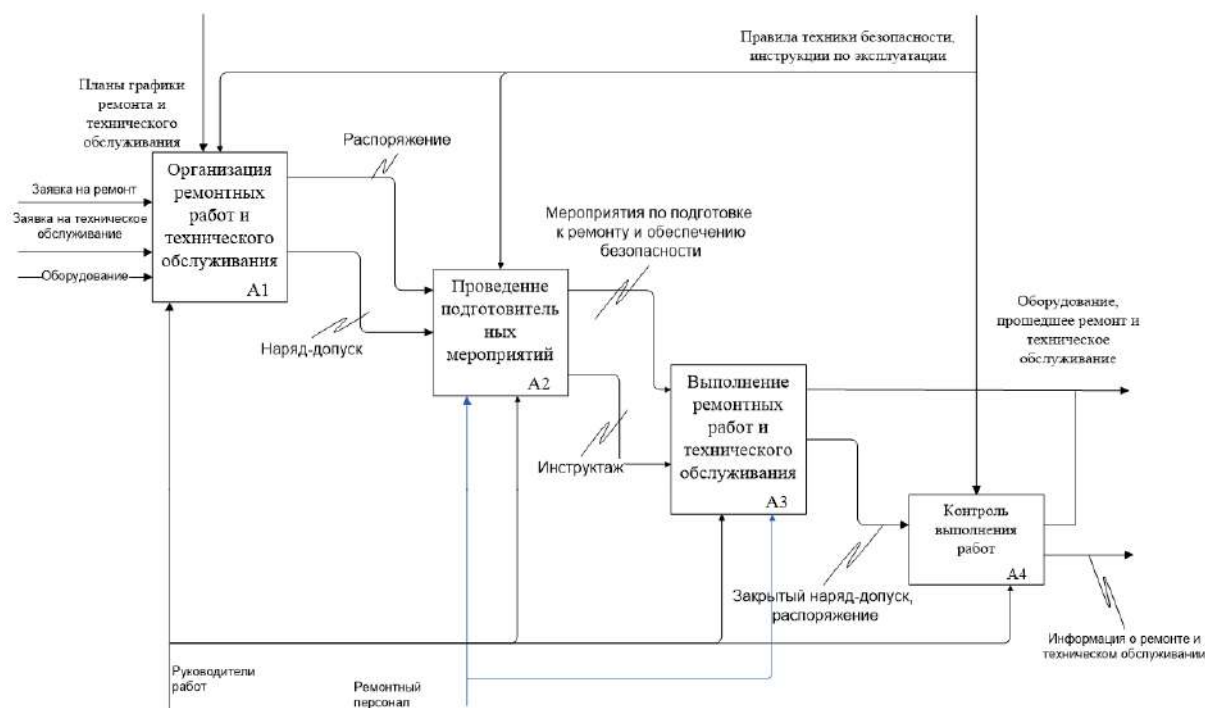


Рисунок 2 – Диаграмма декомпозиции AS-IS

Рассмотрим каждый процесс более подробно. При поступлении заявок на ремонт и обслуживание производится организация ремонтных и технических работ (A1). Уполномоченным персоналом (начальник цеха, мастер участка, мастер смены) формируются распоряжения и/или наряд-допуски.

В соответствии с распоряжением или наряд-допуском производится ряд подготовительных мероприятий (A2): мероприятия по подготовке в ремонт, мероприятия, обеспечивающие безопасность, инструктаж по технике безопасности при выполнении работ, первичный инструктаж. После исполнители работ приступают к ремонту или техническому обслуживанию (A3). После проведения работ наряд-допуск закрывается. Каждый этап контролируется ответственными за проведение работ (A4). Результатом процесса является оборудование, прошедшее ремонт или техническое обслуживание и информация о проведенной работе. На каждом этапе ведутся записи в соответствующих журналах. Наряды-допуски и распоряжения также формируются на бумажных носителях вручную. Это достаточно рутинный процесс. В правилах по охране труда при эксплуатации электроустановок сказано, что формировать журналы учета распоряжений и наряд-допусков можно при помощи автоматизированных систем с применением электронной подписи в соответствии с законодательством РФ.

На рисунках 3 и 4 представлены диаграмма декомпозиции и контекстная диаграмма TO-VE соответственно, которые показывают, какие процессы будут автоматизированы при помощи базы данных (БД). Контекстная диаграмма, модель TO-VE, представляет собой главный процесс ремонтных работ с использованием

информационного обеспечения – базы данных.

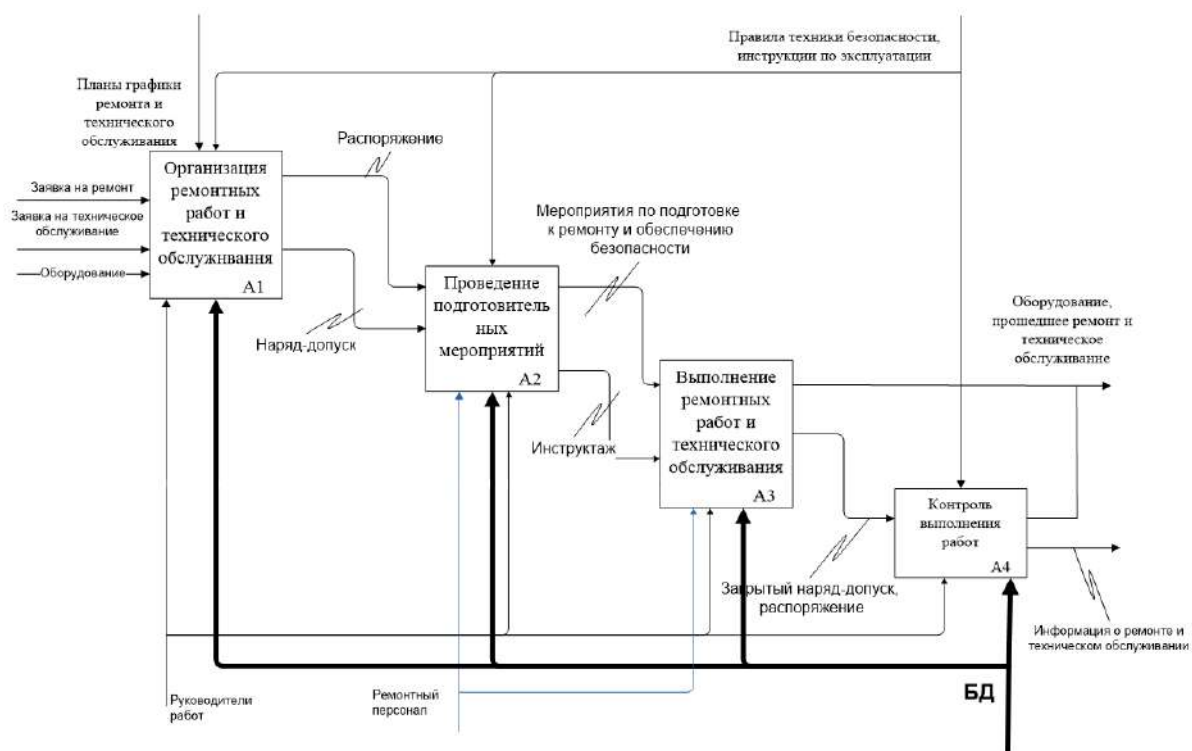


Рисунок 3 – Диаграмма декомпозиции ТО-ВЕ



Рисунок 4 – Контекстная диаграмма ТО-ВЕ

При автоматизации процесса ведения журналов распоряжений и наряд-допусков руководящий персонал сможет своевременно получать достоверную информацию обо всех этапах выполнения работ. Не будет необходимости обращаться к бумажным наряд-допускам и распоряжениям в случае поиска необходимой информации. Достаточно выполнить запрос на выдачу интересующей информации и БД предоставит ее в удобной и наглядной форме за считанные секунды.

Таким образом, внедрение БД обеспечит ряд существенных преимуществ:

- удобный и простой интерфейс для ввода и вывода информации;
- надежное хранение и эффективную обработку массивов данных;
- гибкую систему сортировки данных с учетом потребностей пользователей;
- возможность экспорта информации в офисные программы;
- автоматизированный вывод данных на основе заданных критериев отбора.

Разрабатываемая БД цеха по ремонту и техническому обслуживанию электрооборудования предприятия будет предназначена для автоматизации информационных потоков и должна хранить следующие сведения:

- локации выполнения ремонтных работ;
- перечень выполняемых работ;
- данные о подготовительных мероприятиях;
- информацию об ответственных лицах;
- состав бригад, задействованных в работах.

Функционал разрабатываемой БД включает в себя:

- ввод и получение данных о ремонтных работах;
- учет информации об исполнителях и руководителях работ;
- сбор сведений об электроустановках, в которых проводятся ремонтные мероприятия;
- автоматическое формирование наряд-допусков;
- генерацию отчетной документации.

Создание такой базы данных позволит существенно ускорить процессы учета информации и работы оператора с документацией, которую необходимо формировать при подготовке и выполнении ремонтных работ. Кроме того, ожидается значительное сокращение времени, затрачиваемого на оформление наряд-допусков.

Литература

1. Арбатская, О.А. Системы управления базами данных (СУБД): учебное пособие для иностранных студентов / О.А. Арбатская. – Москва : НИЯУ МИФИ, 2014. – 99 с.
2. Брешенков, А.В. Проектирование баз данных в среде Access: учебное пособие для вузов / А.В. Брешенков, А.М. Губарь. – Москва : Изд-во МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2006. – 180 с.
3. Гайдомакин, Н.А. Автоматизированные информационные системы. Базы и банки данных. Вводный курс : учебное пособие / Н.А. Гайдомакин. – Москва : Гелиос АРВ, 2002. – 368с.
4. Гвоздева, В.А. Информатика, автоматизированные информационные технологии и системы: учебник / В.А. Гвоздева. – Москва : ИД ФОРУМ, НИЦ ИНФРА-М, 2013.

– 544 с.

5. Емельянова, Н.З. Основы построения автоматизированных информационных систем : учебное пособие / Н.З. Емельянова, Т.Л. Партыка, И.И. Попов. – Москва : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. – 416 с.

УДК 621.867

**Импульсный инерционный конвейер с грузонесущими роликами:
конструктивные особенности и возможности**

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

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

Рассмотрены вопросы определения минимальной массы штучного груза при горизонтальном и пологонаклонном расположении импульсного инерционного конвейера с грузонесущими роликами, при которой возможно перемещение груза, а также определения зависимости максимально возможного угла наклона конвейера и его расположения относительно плоскости транспортирования.

Многие производственные предприятия и склады имеют в своем арсенале технологический транспорт. Одними из самых распространенных являются приводные конвейеры различных типов, с помощью которых осуществляются транспортно-технологические операции со штучными грузами, связанные с загрузкой-выгрузкой полуфабрикатами и готовыми изделиями на технологическое оборудование.

Одним из видов всего многообразия транспортно-технологических конвейеров являются приводные и не приводные роликовые конвейеры [1, 2], предназначенные для транспортирования преимущественно штучных грузов или сыпучих и наливных, но в таре. Достоинства применения роликовых конвейеров делают их предпочтительными перед другими типами за счет простоты конструкции, сравнительно низкой энергоёмкости транспортных процессов (при применении не приводных роликовых конвейеров – вообще нулевой), относительно высокой производительности. Ограничением в их применении может быть соблюдение требования по наличию плоской опорной поверхности транспортируемых грузов.

В качестве конкурента приводным роликовым конвейерам можно предложить импульсный инерционный конвейер с грузонесущими роликами [3], входящий в семейство импульсных инерционных конвейеров [4, 5]. Большинство типов

импульсных инерционных конвейеров имеют ограниченный до 10^0 угол наклона при перемещении груза вверх. Этот недостаток возможно устранить применением импульсного инерционного конвейера с грузонесущими роликами (ИИГР).

ИИГР (рис. 1) имеет качающуюся раму 1, установленную на опорных катках 2. Возвратно-поступательное движение рамы обеспечивается кривошипно-шатунным приводом 3. На раме установлено на каждой оси 4 на опорах качения 5, по два ролика 6, между которыми к осям 4 жестко закреплена планка 7 с расположенными на ней с возможностью поворота через ось 8 упорами 9 и пружинами 10.

Для перемещения груза включается привод 3, рама 1 начинает совершать прямолинейное возвратно-поступательное движение в направлении транспортирования.

При ходе рамы в направлении транспортирования, сила инерции груза и его сила тяжести стремятся переместить его в противоположном направлении, но этому препятствует упор 9, воздействуя на нижнюю часть груза, вовлекая его в движение вместе с рамой.

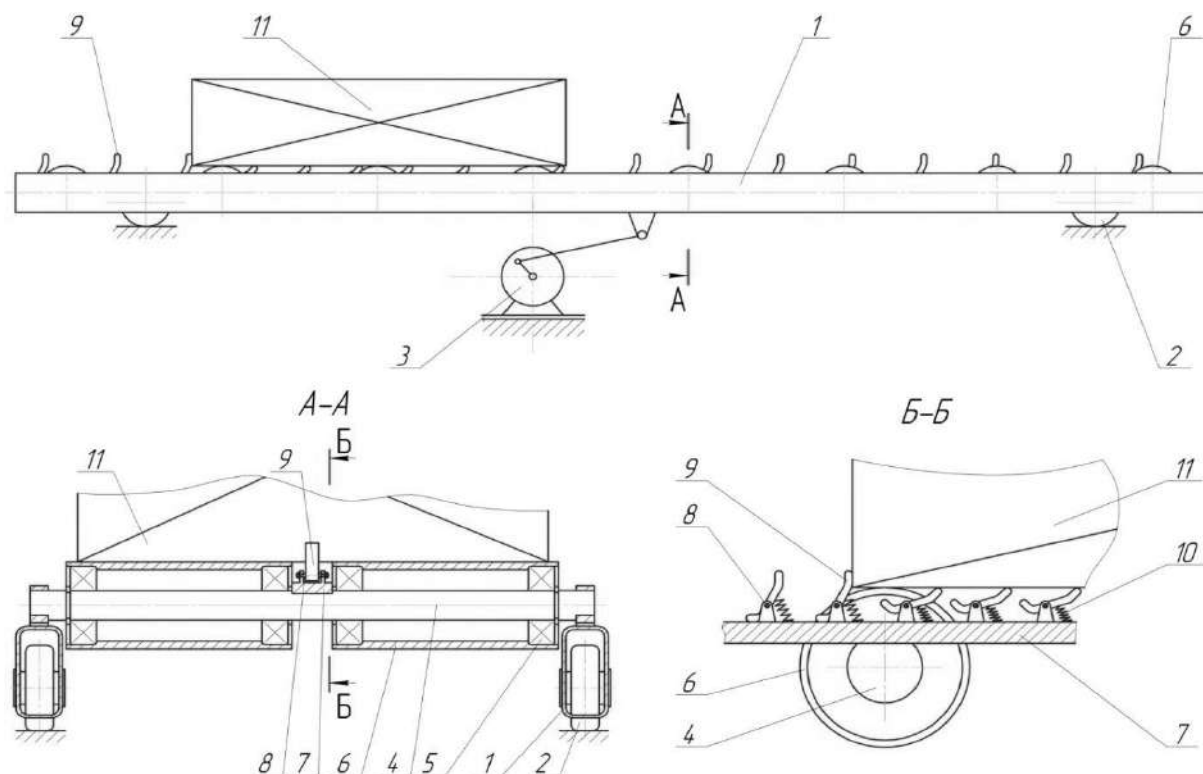


Рисунок 1 – Конструктивная схема импульсного инерционного конвейера с грузонесущими роликами

В противоположном транспортированию движению рамы груз под воздействием силы инерции преодолевает сопротивление инерции и перемещения по роликоопорам и в цапфах, продолжает двигаться в сторону транспортирования. Это объясняется тем, что упоры 9, сжимая пружины 10, поворачиваясь на оси 8, не препятствуют его

движению в сторону транспортирования. Для возврата упора в исходное положение служит пружина 10, предотвращая откат груза.

Процесс перемещения штучных грузов известными видами конвейеров не вызывает вопроса об определении минимальной массы транспортируемого груза. Исключение могут составлять некоторые типы импульсных инерционных конвейеров, к которым относится рассматриваемый конвейер, однако и он соответствует основным рациональным принципам комплексной механизации, которые подразумевают использование укрупненных грузовых с использованием универсальной или специальной тары, пакетов или контейнеров. Не всегда указанные принципы соответствуют задачам по транспортно-технологическим операциям, связанным с перемещением изделий, если они не обрабатываются в специальной таре.

Перемещение грузов на известных приводных роликовых конвейерах осуществляется преобразованием вращения роликов в совместное поступательное движение груза за счет силы трения, возникающей между опорной поверхностью груза и обечайкой ролика. При этом подбор роликоопор производится по допускаемой нагрузке, зависящей, в том числе, от массы перемещаемого груза.

Принцип действия импульсных роликовых конвейеров [4] и особенностей перемещения штучных грузов: на них предполагают определение минимальной массы транспортируемого груза, так как груз движется по роликам за счёт собственной силы тяжести и силы трения между его опорной поверхностью и обечайкой ролика и должен сообщить ему кинетическую энергию на вращение. При транспортировании груза на ИИГР сила трения между опорной поверхностью груза и ролика не оказывает влияния на процесс перемещения, т.к. имеется упор 9 и важно преодолеть только сопротивления, возникающие при перемещении груза, учитывая инерцию вращающихся частей роликоопор, т.е.:

$$F_{\text{игр}} \geq W_{\text{гр1}}, \quad (1)$$

где $F_{\text{игр}}$ – сила инерции транспортируемого груза при максимальном ускорении рамы конвейера, движущейся по гармоническому закону [4];

$W_{\text{гр1}}$ – сила сопротивления движению груза по роликам без учета сопротивления преодоления грузом отклонения плоскостности установки роликов W_n .

Таким образом, неравенство 1 запишется в виде:

$$m_{\text{гр}} A \omega^2 \geq (m_{\text{гр}} + m_{\text{р}} z_{\text{р}}) \frac{g d_{\text{ц}}}{D_{\text{р}}} f_1 + m_{\text{гр}} g \frac{2 \mu}{D_{\text{р}}},$$

и минимальная масса груза из условия отсутствия скольжения относительно роликов

определится:

$$m_{\text{гп}}^{\min} \geq \frac{m_{\text{р}} z_{\text{р}} \frac{d_{\text{ц}}}{D_{\text{р}}} f_1}{A \omega^2 - \frac{g}{D_{\text{р}}} (d_{\text{ц}} f_1 + 2 \mu)} . \quad (2)$$

В качестве примера возможно принять, что рама ИИГР имеет амплитуду колебания рамы $A=20$ мм, угловую скорость кривошипно-шатунного привода $\omega=20$ рад/с, штучный груз распложен и перемещается на поддоне, имеющем деревянную опорную поверхность, опирается на как минимум две пары роликов со стальной обечайкой; массой вращающихся частей каждого из роликов $m_{\text{р}}=0,3$ кг, диаметром цапфы ролика $d_{\text{ц}}=40$ мм, диаметром ролика $D_{\text{р}}=60$ мм; коэффициентом трения, приведенного к диаметру цапфы ролика $f_1=0,04$, приведенным коэффициентом трения качения груза $\mu=5 \cdot 10^{-4}$ м, коэффициентом трения $f=0,6$ (дерево по стали). По результатам расчёта минимальная масса транспортируемого груза должна быть не менее $m_{\text{гп}}^{\min} = 0,004$ кг. На импульсном инерционном роликовом конвейере [4] масса транспортируемого груза при тех условиях должна быть не менее 3,8 кг, что в 950 раз больше.

Условием совместного движения груза и рамы вверх, является то, чтобы сила инерции груза была больше возникающей силы сопротивления движению груза по роликоопорам при максимальных значениях ускорения настила ИИПК (рис. 3).

Максимальный угол установки рамы ИИГР в зависимости от параметров конвейера определится по формуле:

$$\beta = \arcsin \frac{A \omega^2}{g} . \quad (3)$$

По примеру с данными, указанными выше, максимальный угол наклона составит более 54 градусов, что минимум как в 10 раз больше, чем на импульсном инерционном роликовом конвейере [4].

Внедрение в эксплуатацию импульсных инерционных конвейеров с грузонесущим роликовым настилом позволит перемещать грузы малой массы с максимальным углом наклона конвейера, ограничивающимся только условиями переворотом или падением вниз, удовлетворяя требования современных производств в транспортных процессах, конкурируя с известными видами транспортирующих устройств.

Литература

1. Ромакин, Н.Е. Машины непрерывного транспорта : учебное пособие для студ.

- высш. учеб. заведений / Н.Е.Ромакин. – Москва : Издательский центр «Академия», 2008. – 432 с.
2. Ивановский, К.Е. Теоретические основы перемещения штучных грузов / Ивановский К.Е. – Москва : Машиностроение, 1969 – 166 с.
 3. Патент №2271326 Российская Федерация. Инерционный роликовый конвейер для перемещения штучных грузов: №2004116023/11: заявл. 25.05.2004: опубл. 10.03.2006 / О.А.Лускань, Н.Е.Ромакин // Бюл. №7, 2006.
 2. Лускань, О.А. Теоретические основы перемещения грузов импульсными конвейерами: монография / О.А. Лускань. – Саратов : Сарат. гос. техн. ун-т, 2010. – 99 с.
 3. Лускань, О.А. Инженерный расчет импульсных конвейеров : монография / О.А. Лускань. – Саратов : Сарат. гос. техн. ун-т, 2011. – 80 с.

УДК 621.791

Изучение зависимости стабильности процесса автоматической сварки под флюсом пульсирующей дугой от параметров конвенционального режима

¹Набокин Артем Олегович, студент специальности 15.03.01 «Машиностроение»;

²Мельник Максим Андреевич, студент специальности 15.03.01 «Машиностроение»;

³Погоньшев Денис Сергеевич, студент специальности 15.03.01 «Машиностроение»;

⁴Винныйчук Виталий Александрович, старший преподаватель кафедры
машиностроения и прикладной механики

^{1,2,3,4}Волгодонский инженерно-технический институт – филиал ФГАОУ ВО
«Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск

В статье рассмотрено влияние амплитуды импульсного тока на формирование сварного шва при автоматической сварке под слоем флюса (АСФ) на пульсирующем режиме. Проведены экспериментальные исследования при базовом токе 700 А и напряжении 40 В. Установлены закономерности изменения геометрии сварочного валика и стабильности процесса в зависимости от параметров импульса.

В современных условиях к качеству сварных соединений предъявляются повышенные требования, особенно в машиностроении и энергетике. Автоматическая сварка под слоем флюса является одним из наиболее эффективных процессов, однако традиционные режимы с постоянным током ограничены по возможностям управления тепловложением. В этой связи применение пульсирующего тока позволяет более точно регулировать процесс формирования сварочной ванны [1].

Установка АСФ включает источник питания, механизм подачи электродной проволоки, сварочную головку, систему подачи флюса и механизм перемещения.

Сварка осуществляется под слоем флюса, который защищает расплавленный металл от воздействия окружающей среды и стабилизирует дугу.

Основными параметрами являются ток, напряжение и скорость сварки.

С физической точки зрения сварочная ванна представляет собой динамическую систему, в которой процессы плавления и кристаллизации зависят от теплового воздействия дуги[2]. Пульсирующий ток позволяет управлять этим процессом за счёт чередования фаз повышенного и пониженного тепловложения.

С теоретической точки зрения шаг тока (разность между импульсным током первого полупериода и пониженным током второго полупериода) оказывает существенное влияние на формирование сварочной ванны. При увеличении шага тока возрастает контраст между фазами нагрева и охлаждения: в импульсной фазе происходит интенсивное плавление и рост объёма ванны, а в фазе пониженного тока – снижение тепловложения, уменьшение текучести и частичная кристаллизация металла. В результате формируется циклический процесс «нагрев – перенос – стабилизация», обеспечивающий более управляемое формирование валика и повышение стабильности сварки.

В данной работе в качестве конвенционального режима использовался ток 700А при напряжении 40В. Пульсирующий режим задавался для 1-го полупериода (пиковый): ток изменялся, напряжение 40В, длительность 50мс; 2-го полупериода (базовый): ток 250А, напряжение 40В, длительность 20мс. Было проведено изменение только тока первого полупериода. Режимы работы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Режимы параметров пикового тока

Номер опыта	Значения пикового тока	Напряжение	Длительность
1	750	40	50
2	700	40	50
3	650	40	50
4	600	40	50
5	587	40	50



Рисунок 1 – Фото эксперимента

В ходе проведения экспериментов имеем следующие сварные швы (рис.1).

В ходе экспериментов выполнялась наплавка валиков с последующим анализом их геометрии и стабильности формирования.

Анализ показал, что изменение амплитуды импульсного тока оказывает существенное влияние на процесс сварки.

При импульсном токе 750А наблюдается избыточное тепловложение в фазе импульса. Сварочная ванна становится чрезмерно жидкой, что приводит к растеканию металла и ухудшению формы валика. Несмотря на стабильность дуги, контроль процесса снижается.

При токе 700А, соответствующем базовому уровню, процесс характеризуется устойчивостью. Валик формируется равномерно, обеспечивается хорошее смачивание и достаточная глубина проплавления. Однако влияние пульсации выражено умеренно.

При токе 650А наблюдается более выраженное влияние пульсирующего режима. Улучшается управляемость процесса, валик становится более равномерным, однако уменьшается тепловложение.

При токе 600А достигается оптимальный режим. Пульсация эффективно управляет переносом металла, формируется устойчивый и равномерный валик с минимальным количеством дефектов.

При токе 587А процесс приближается к границе устойчивости. Тепловложение недостаточно – ухудшается смачивание кромок, после чего начинается залипание электрода и нарушение стабильности дуги.

Таким образом, установлено, что не абсолютное значение тока, а соотношение параметров импульсного и базового режимов определяет стабильность процесса. Снижение амплитуды импульса повышает управляемость сварочной ванны, однако чрезмерное снижение приводит к потере устойчивости.

В результате исследований определено, что оптимальный диапазон импульсного тока составляет 600-650А при базовом токе 700А и напряжении 40В.

Полученные результаты подтверждают эффективность применения пульсирующего режима для управления процессом сварки и могут быть использованы при разработке технологических процессов автоматической сварки под флюсом.

Литература

1. Астафьева, Н.А., Балановский, А.Е., Тихонов, А.Г. Технология сварки плавлением и давлением: учебное пособие / Н.А. Астафьева, А.Е. Балановский, А.Г. Тихонов. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2021. – 188 с.

2. Овчинников, В.В., Гуреева, М.А. Технология сварочных работ : учебник / В.В. Овчинников, М.А. Гуреева. – Москва: «Инфра-Инженерия», 2024 – 360 с.
3. Банов, М.Д., Масаков, В.В., Плюскина, Н.П. Специальные способы сварки и резки : книга / М.Д. Банов, В.В. Мусаков, Н.П. Плюскина. – Москва : Издательский центр «Академия», 2009 – 208 с.

УДК 681.5

Разработка алгоритмов управления электродвигателями на базе контроллера LiveTronic в среде Scratch

¹Назаров Андрей Сергеевич, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

²Мищенко Богдан Александрович, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

³Мордакин Кирилл Алексеевич, студент группы специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

⁴Щеголев Сергей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Атомная энергетика»

^{1,2,3,4}Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

В статье рассматривается применение визуальной среды Scratch для разработки алгоритмов управления электродвигателями на базе контроллера LiveTronic. Анализируются особенности аппаратной платформы, типы подключаемых двигателей и датчиков, а также принципы блочного программирования. Особое внимание уделяется пошаговому созданию управляющей программы, настройке портов, реализации движения, разворота и реакции робота на препятствие.

В условиях, когда основным язык программирования arduino-совместимого контроллера – C/C++ имеет достаточно высокий порог вхождения, связка «контроллер LiveTronic – среда Scratch» являются техническим компромиссом, позволяющим сконцентрироваться на алгоритмической сути задачи, абстрагируясь от низкоуровневых деталей работы регистров и таймеров. Практическая ценность заключается в предоставлении пошагового алгоритма разработки и загрузки управляющей программы в контроллер.

На первый взгляд Среда разработки Scratch ассоциируется прежде всего с разноцветными программными блоками и простыми учебными проектами, ориентированными на школьников. Действительно, данная среда была разработана как

инструмент начального обучения программированию для пользователей, ранее не имевших опыта в данной области. Однако за внешней простотой и наглядностью Scratch скрывается важная методическая задача: сформировать у обучающихся представление об алгоритмической структуре программ, а также обеспечить понимание базовых принципов взаимодействия программного обеспечения с физическими устройствами, в частности с микроконтроллерами.

Одной из основных трудностей при обучении робототехнике является необходимость использования текстовых языков программирования, освоение которых на начальном этапе может вызывать затруднения и снижать интерес обучающихся к работе с аппаратной частью. При этом без программного управления робототехническое устройство не может выполнять заданные функции и фактически остаётся лишь набором механических и электронных компонентов [1].

Среда Scratch позволяет частично преодолеть данное противоречие за счёт применения визуального блочного программирования. Использование графических блоков, отражающих основные алгоритмические конструкции, делает процесс создания программ более доступным и понятным для начинающих пользователей. Такой подход способствует формированию алгоритмического мышления, снижает порог вхождения в программирование и повышает мотивацию к изучению робототехники и микроконтроллерных систем. Единственным минусом, характерным для любой среды разработки, является отсутствие более низкоуровневой работы с программой, то есть работы с памятью, что дают языки семейства C.

Актуальность среды разработки Scratch базируется на трёх основных принципах:

- простота и понятность – программист не работает с большим объёмом кода, а оперирует смысловыми единицами и обсуждает алгоритм;
- визуализация данных в реальном времени – scratch может служить панелью, куда выводятся требуемые показатели: скорость, расстояние, возможно, нужные кнопки управления;
- быстрота «написания» кода – в данной среде разработки код состоит из блоков – спрайтов. Перетаскиванием спрайтов на рабочее поле создается программа в виде блок-схемы. Все блоки условно разделены на движение, звук, внешний вид, события, управление и другие [2].

Аппаратная платформа LiveTronic – это учебный Arduino-совместимый контроллер с интегрированным драйвером моторов, шиной датчиков и системой питания.

Технические характеристики серии микроконтроллеров Livetronic:

- напряжение питания: 5 В или 3,3 В;
- тактовая частота: 48–168 МГц;
- объём памяти Flash – 64–512 КБ, RAM – 8–64 КБ;
- микроконтроллер: на базе ARM Cortex M или Atmega;
- двухканальный H-мост (например, TB6612FNG или более старая L298N);
- ток потребления: до 50 мА в активном режиме;
- диапазон рабочих температур: 0–70 °С.

Точные параметры зависят от модели.

Интерфейсы ввода вывода:

- аналоговые входы (АЦП) для чтения значений с потенциометров, датчиков освещённости и так далее;
- цифровые входы/выходы (GPIO) для подключения кнопок, светодиодов, реле;
- ШИМ выходы (PWM) для плавного управления моторами, яркостью светодиодов;
- интерфейсы связи: UART (Serial), I²C, SPI для подключения периферийных устройств и обмена данными с ПК;
- USB порт для программирования и питания.

Актуальность данного контроллера выходит за рамки простого школьного класса:

- мобильная робототехника: роботы роверы, исследовательские платформы;
- стенды прототипирования: перед тем как использовать дорогостоящее оборудование, инженер может проверить работу устройства с простым и понятным livetronic;
- модули системы «умный дом»: умный свет автоматические шторы и многое другое.

Алгоритм создания программы управления двигателями.

В наборе LiveTronic могут быть два типа электродвигателей:

1. Редукторные двигатели постоянного тока (DC Gear Motors). Мотор с пластиковым редуктором. Обеспечивает 200 об/мин.
2. Сервомоторы (servo). В отличие от двигателя постоянного тока эти двигатели могут поворачиваться на требуемый угол.

Представим, что перед нами стоит конкретная техническая задача: робот должен стартовать по включении, двигаться вперёд в течение 3 секунд, остановиться, выполнить разворот на месте на 180 градусов и затем отреагировать на препятствие – остановиться, если ультразвуковой датчик зафиксирует объект на расстоянии менее 15 см.

Разберём реализацию этого смешанного алгоритма по блокам. Вся работа ведётся в специализированной сборке Scratch для Livetronic, где присутствует группа блоков «Робот» или «Livetronic».

Шаг 1. Инициализация и блок «Событие»

Любая программа встраиваемой системы должна иметь чёткую точку входа. В текстовых языках это `void setup()` и `void loop()`, в Scratch – шапка из желтых блоков событий.

Используемый блок: Когда флажок нажат (из раздела «События»). Инженерный смысл: Это аналог прерывания по старту. Пока флажок не нажат, контроллер находится в режиме ожидания (Idle), моторы обесточены.

Шаг 2. Настройка портов и начальное состояние (Блоки «Робот»)

Первым делом нужно явно указать контроллеру, что к пинам подключены моторы. Это заменяет функцию `pinMode` в Arduino.

Используемые блоки: Установить мотор M1 на пин (скорость) D5 (направление) D4. Установить мотор M2 на пин (скорость) D6 (направление) D7. Номера пинов могут отличаться в зависимости от ревизии платы, но в среде Livetronic они обычно уже предпрописаны в выпадающем списке блока.

Если используется захват, добавляется блок Сервопривод пин D9 угол 0 градусов.

Шаг 3. Движение по прямой с заданной скоростью (ШИМ-управление)

Для управления коллекторными моторами мы будем использовать блоки движения не в режиме «полный вперёд», а с указанием процента мощности (ШИМ-сигнал).

Используемые блоки: Фиолетовые блоки Livetronic / Моторы:

- Мотор M1: скорость 80%, направление «Вперёд».
- Мотор M2: скорость 80%, направление «Вперёд».

Для парных колёс направление может быть разным. Если моторы стоят зеркально на шасси, правый мотор (M2) для движения вперёд может требовать команду «Назад». Если робот крутится на месте – код надо адаптировать, не меняя проводов местами.

Сразу под блоками моторов ставится блок «Ждать 3 секунд» (оранжевый, «Управление»). Контроллер отработает цикл задержки `delay (3000)`.

Шаг 4. Реализация разворота (Реверс и дифференциальный поворот)

Разворот на месте достигается подачей разнонаправленных сигналов на шасси.

Последовательность блоков:

1. Мотор M1: скорость 60% направление Назад
2. Мотор M2: скорость 60% направление Вперёд
3. Ждать 0.9 секунд
4. Мотор M1 Стоп
5. Мотор M2 Стоп

Время 0.9 секунды – эмпирическая величина. Если нужен поворот строго на 180 градусов, используется сервопривод или датчик энкодера (гироскоп).

Шаг 5. Главный цикл: алгоритм объезда препятствия (Обратная связь)

После разворота программа не должна завершиться. Она переходит в бесконечный цикл опроса датчика. Используемый блок: Повторять всегда (оранжевый).

Для добавления условий используется блок «Если ... Иначе ...» (оранжевый).

Условие (ЕСЛИ) заключается в сравнении с пороговым значением.

1. Блок $\dots < \dots$ (зелёный, «Операторы»).
2. Левая часть: Голубой сенсор Расстояние (УЗ датчик Trig D2 Echo D3).
3. Правая часть: Число 15.

Ветка «Тогда» (препятствие близко):

1. Мотор M1 Стоп / Мотор M2 Стоп (остановка).
2. Ждать 0.5 секунды.

Ветка «Иначе» (путь свободен):

1. Мотор M1: скорость 70% Вперёд
2. Мотор M2: скорость 70% Вперёд.

Шаг 6. Визуальная обратная связь

В этом же коде, параллельно, мы создадим ещё один скрипт, который будет рисовать интерфейс оператора на экране компьютера при USB-подключении.

Используемые блоки: Фиолетовые «Внешний вид», оранжевый «Управление».

Скрипт для спрайта (например, лампочки):

1. Когда флажок нажат (второй независимый скрипт).
2. Повторять всегда
3. Если $< (\text{Расстояние УЗ}) < 15 >$ тогда:
4. Изменить костюм на Красный
5. Говорить «Опасность! Остановка двигателей!»
6. Иначе изменить костюм на Зеленый
7. Говорить «Движение разрешено»

Шаг 7. Компиляция и загрузка (взаимодействие со средой)

Финальный этап. Скрипт превращается в машинный код [2, 3].

Перед загрузкой убедитесь, что в меню «Подключения» выбран правильный COM-порт и тип платы («Livetronic»).

Нажмите кнопку «Загрузить код». В отличие от чистого Scratch, где проекты просто запускаются, здесь начнётся процесс компиляции.

Анализ ошибок: Если среда выдала предупреждение об отсутствии драйвера или ошибке компиляции, проверьте, что в скрипте не осталось стандартных блоков Scratch.

По завершении загрузки отключите USB-кабель и подайте питание на силовую часть. Робот выполнит алгоритм автономно.

Эта инструкция демонстрирует, что программирование микроконтроллера – это строгая последовательная логика работы с вводом (сенсоры), обработкой (логические блоки) и выводом (управление моторами).

В ходе работы была изучена среда разработки Scratch, создан алгоритм управления электродвигателями на базе контроллера LiveTronic. На основе алгоритма создана программа в среде разработки. На основе работы сделаны выводы: связка Livetronic и Scratch является мощным образовательным инструментом. Она позволяет сфокусироваться на сути управления электродвигателями – алгоритмическом мышлении, исключая синтаксические ошибки. Несмотря на некоторые ограничения в вычислительной гибкости, для задач следования по линии, маневрирования и базового взаимодействия с датчиками данная платформа оптимальна.

Литература

1. Пашковская, Ю. В. Программирование на Scratch для детей. Уровень 1: учебное пособие / Ю. В. Пашковская. — Москва: Лаборатория знаний, 2024. — 227 с. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/400127> (дата обращения: 04.05.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Трофимов, П. А. Игры в Scratch для детей / П. А. Трофимов. — Москва : ДМК Пресс, 2019. — 182 с. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/131694> (дата обращения: 04.05.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Пустыльник, П. Н. Педагогика. Образовательная робототехника: учебное пособие для вузов / П. Н. Пустыльник. — Санкт-Петербург: Лань, 2026. — 88 с. — Текст : электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/512017> (дата обращения: 04.05.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. МакКомб, Г. Робот на Arduino / Г. МакКомб; перевод с английского Н. Чередниченко. — Москва: ДМК Пресс, 2018. — 52 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/107893> (дата обращения: 04.05.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Повышение эффективности парового котла на объекте эксплуатации

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

Акинфиева Алена Андреевна, преподаватель кафедры
«Физика и естественнонаучные дисциплины»;

Майер Анастасия Владимировна, студент направления «Теплоэнергетика и теплотехника»;

Колмаков Юрий Николаевич, 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 работе рассмотрены вопросы повышения эффективности эксплуатации парового котла за счёт утилизации теплоты уходящих дымовых газов. Проанализированы особенности тепловых потерь с дымовыми газами и обоснована возможность их частичного использования с применением котла-утилизатора. Представлена расчётная оценка эффективности предложенного технического решения и определены основные направления повышения энергоэффективности котельных установок.

В настоящее время в теплоэнергетике эксплуатируется значительное количество водогрейных и паровых котлов. Данные установки обеспечивают теплоснабжение объектов жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), в частности отопление зданий в течение отопительного периода календарного года. Кроме того, тепловая энергия и горячая вода используются для технологических нужд на промышленных предприятиях. Котельные установки могут обслуживать как группу потребителей, так и функционировать в составе индивидуальных источников теплоснабжения отдельных организаций.

Современные котлы характеризуются коэффициентом полезного действия (КПД) на уровне 92–94%. В качестве топлива используются различные виды энергоносителей, свойства которых определяют параметры процесса сгорания, включая расход дымовых газов и их температуру.

Одним из направлений модернизации и повышения эффективности водогрейных и паровых котлов является внедрение котлов-утилизаторов, позволяющих использовать теплоту отходящих дымовых газов. В схеме, представленной на рисунке 1, основной котел выполняет свою штатную функцию по выработке тепловой энергии, в то время как дополнительная теплота, утилизируемая из отработавших газов, может быть использована для повышения общей эффективности теплоснабжения объекта эксплуатации.

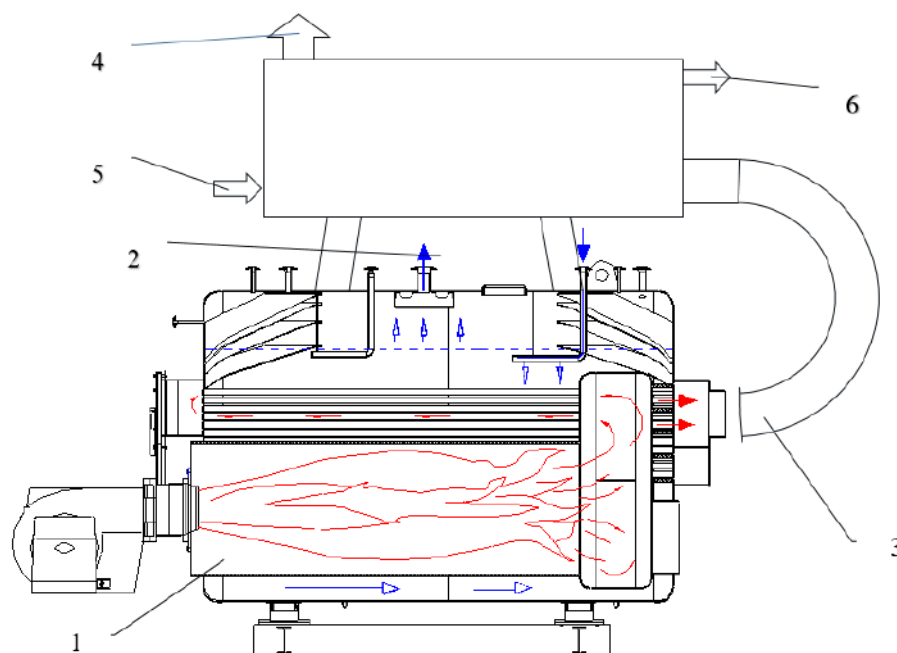


Рисунок 1 – Принципиальная схема водогрейного (парового) котла и котла-утилизатора в единой конструкции: 1 – водогрейный (паровой) котел; 2 – отвод горячей воды (пара); 3 – отвод отходящих газов в котел – утилизатор; 4 – отвод отходящих газов из котла – утилизатора; 5 – подвод воды в котел-утилизатор; 6 – отвод воды из котла-утилизатора

Альтернативным направлением использования теплоты отходящих дымовых газов в котле-утилизаторе является их применение для догрева воды или пара с последующим использованием по технологическому назначению. Реализация данного подхода обеспечивает более полное использование теплоты сгорания топлива, что способствует повышению энергоэффективности основного (первичного) котла.

Определение расхода отходящих дымовых газов осуществляется на основе расхода топлива. Для парового котла расход продуктов сгорания (дымовых газов) приближенно можно определить через расход топлива. Для определения тепловой мощности котла используются значения энтальпии пара и питательной воды [4]. Давление пара: $p=12 \text{ атм} \approx 1,18 \text{ МПа}$ (принимаем среднее 12 - 15 атм);

Температура пара: $t=190^\circ\text{C}$ (принимаем среднее 185 - 200°C);

Тип топлива: природный газ (для расчета температуры точки росы).

Тепловая мощность котла определяется по формуле:

$$Q_{\text{котла}} = D \cdot (h_{\text{п}} - h_{\text{пв}}), \quad (1)$$

где D – расход пара, кг/с;

$h_{\text{п}}$ – энтальпия пара, кДж/кг;

$h_{\text{пв}}$ – энтальпия питательной воды, кДж/кг.

Для оценки эффективности предложенного технического решения проведем расчет с использованием следующих исходных данных:

$$D=2000 \text{ кг/час}=0,5556 \text{ кг/с};$$

$$h_{\text{п}} \approx 2780 \text{ кДж/кг (при давлении } p=1,18 \text{ МПа и } t=190^{\circ}\text{C});$$

$$h_{\text{пв}} \approx 209 \text{ кДж/кг (при температуре питательной воды } t_{\text{пв}}=50^{\circ}\text{C}).$$

Тогда, по формуле (1) тепловая мощность котла:

$$Q_{\text{котла}} = 0,5556 \text{ кг/с} \cdot (2780 \text{ кДж/кг} - 209 \text{ кДж/кг}) = 0,5556 \text{ кг/с} \cdot 2571 \text{ кДж/кг} = 1428,6 \text{ кВт}$$

Расход топлива рассчитывается по формуле, приведенной ниже:

$$B = \frac{Q_{\text{котла}}}{(Q_{\text{нр}} \cdot \eta_{\text{к}})}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{нр}}$ – низшая теплота сгорания топлива, кДж/м³;

$\eta_{\text{к}}$ – КПД котла, %.

Примем, что котел работает на природном газе с теплотой сгорания $Q_{\text{нр}} = 35500$ кДж/м³, при КПД котла $\eta_{\text{к}} = 92\%$, исходя из формулы (2) получим:

$$B = \frac{1428,6 \text{ кВт}}{(35500 \text{ кДж/м}^3 \cdot 0,92)} = 0,0437 \text{ м}^3/\text{с} = 157,3 \text{ м}^3/\text{час}$$

Массовый расход продуктов сгорания:

$$G_{\text{г}} = V_{\text{г}} \cdot \rho_{\text{г}}, \quad (3)$$

где $G_{\text{г}}$ – массовый расход продуктов сгорания, кг/с;

B – расход топлива, м³/с;

$V_{\text{г}}$ – удельный объем продуктов сгорания, м³/м³ топлива;

$\rho_{\text{г}}$ – плотность продуктов сгорания, кг/м³, (при нормальных условиях $\rho_{\text{г}} \approx 1,3 \text{ кг/м}^3$).

Объем продуктов сгорания, приходящийся на 1 м³ природного газа, определяется с учетом коэффициента избытка воздуха:

$$V_{\text{г}} = V_0 \cdot \alpha, \quad (4)$$

где $V_0 \approx 10,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ газа – теоретический объем продуктов сгорания природного газа;

α – коэффициента избытка воздуха, равный 1,1.

Тогда удельный объем продуктов сгорания составит:

$$V_{\text{г}} = 10,5 \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ газа} \cdot 1,1 = 11,55 \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ газа}$$

Объемный расход продуктов сгорания определяется на основе расхода топлива:

$$V_{\text{г}} = B \cdot V_{\text{г}}, \quad (5)$$

откуда

$$V_{\text{г}} = 0,0437 \text{ м}^3/\text{с} \cdot 11,55 \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ газа} = 0,505 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Массовый расход продуктов сгорания определяется по формуле (3):

$$G_{\text{г}} = 0,505 \text{ м}^3/\text{с} \cdot 1,3 \text{ кг/м}^3 = 0,656 \text{ кг/с}$$

Температура уходящих газов за котлом для современных котлов средней производительности, как правило, находится в диапазоне 150–210 °С. В рамках данного расчета принимается значение температуры уходящих газов: $t_{\text{yx}} = 180^{\circ}\text{C}$.

Минимально допустимая температура уходящих газов определяется условиями предотвращения низкотемпературной коррозии поверхностей нагрева, обусловленной конденсацией кислотных компонентов дымовых газов.

При сжигании природного газа, характеризующегося низким содержанием серы, температура точки росы составляет порядка 54–60 °С. Однако для предотвращения коррозионных процессов температура поверхности теплообмена должна превышать температуру точки росы не менее чем на 10 °С.

С учетом того, что в водогрейных котлах температура поверхности нагрева близка к температуре теплоносителя, рекомендуется поддерживать температуру уходящих газов на уровне не ниже 150 °С, в том числе в переходные периоды эксплуатации [5].

Количество теплоты, отводимой с дымовыми газами, может быть определено по следующей формуле:

$$Q_{yx} = G_r \cdot c_{p,r} \cdot (t_{yx} - t_0), \quad (6)$$

где G_r – массовый расход газов, кг/с; 0,656 кг/с – массовый расход газов

$c_{p,r}$ – средняя удельная теплоемкость продуктов сгорания, кДж/(кг·К);

t_{yx} – температура уходящих газов, °С;

t_0 – температура воздуха в котельной (температура отсчета), °С.

Для продуктов сгорания природного газа в диапазоне 100...200 °С принимаем $c_{p,r} \approx 1,12$ кДж/(кг·К), $t_{yx} = 180$ °С, $t_0 = 20$ °С, $G_r = 0,656$ кг/с.

Тогда полное количество теплоты, уносимой дымовыми газами, составляет:

$$Q_{yx} = 0,656 \text{ кг/с} \cdot 1,12 \text{ кДж/(кг·К)} \cdot (180^\circ\text{С} - 20^\circ\text{С}) = 117,5 \text{ кВт}$$

Полученное значение характеризует общий тепловой потенциал уходящих газов относительно температуры окружающей среды. Однако в реальных условиях охлаждение газов до температуры 20 °С является нецелесообразным, поскольку во избежание конденсации влаги и развития низкотемпературной коррозии их конечная температура после котла-утилизатора должна превышать температуры точки росы [1, 2].

Принимая температуру газов после котла-утилизатора $t_{yx}' = 80$ °С, количество реально утилизируемой теплоты составит:

$$Q_{\text{утил}} = G_r \cdot c_{p,r} \cdot (t_{yx} - t_{yx}') = 0,656 \text{ кг/с} \cdot 1,12 \text{ кДж/(кг·К)} \cdot (180^\circ\text{С} - 80^\circ\text{С}) = 73,5 \text{ кВт}$$

На основании проведенного анализа можно сделать вывод о том, что модернизация парового котла путём установки котла-утилизатора позволяет увеличить его тепловую мощность примерно на 73,5 кВт [3].

Реализация данного технического решения обеспечивает снижение расхода топлива приблизительно на 8,1 м³/ч природного газа, что при годовой наработке 7200

часов соответствует экономии порядка 58 320 м³/год.

В стоимостном выражении это приводит к снижению эксплуатационных затрат на топливо примерно на 1 166 400 рублей за отопительный период (при ориентировочной стоимости природного газа 20 руб./м³).

В ходе работы обоснована возможность повышения эффективности парового котла за счёт утилизации теплоты уходящих дымовых газов. Показано, что использование котла-утилизатора позволяет вовлечь в полезное использование часть тепловой энергии, ранее теряемой с дымовыми газами.

Установлено, что внедрение данного технического решения обеспечивает дополнительное использование порядка 73,5 кВт тепловой мощности, что приводит к снижению расхода природного газа и повышению общей энергоэффективности котельной установки.

Оценка экономической эффективности подтверждает целесообразность применения котлов-утилизаторов, поскольку их использование способствует снижению эксплуатационных затрат и повышению эффективности систем теплоснабжения.

Литература

1. Кислотная точка росы дымовых газов котла: влияние на оборудование [Электронный ресурс] / Сайт Solidat. – 2024. – URL: <https://ru.solidat.net/news/boiler-flue-gas-acid-dew-point-affecting-equi-78773841.html> (дата обращения: 27.02.2026).
2. Лившиц, С.А., Лебедев, В.А., Лебедев, Р.В. Методика расчета температуры точки росы уходящих газов при смешанном сжигании газа и мазута в топках котлов / С.А. Лившиц, В.А. Лебедев, Р.В. Лебедев. // Проблемы энергетики. – 2008. – № 3–4. – С. 51–57.
3. Министерство энергетики Российской Федерации. Методические рекомендации по повышению энергетической эффективности систем теплоснабжения / Министерство энергетики Российской Федерации. – Москва, 2015. – 120 с.
4. СП 89.13330.2016. Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35-76 / Минстрой России. – Москва: Минстрой России, 2016. – 94 с.
5. Тепловой и аэродинамический расчеты котельных установок: учебное пособие / С.Н. Смородин [и др.]. – 5-е изд. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2018. – 200 с.

Автоматизированный контроль технического состояния оборудования АЭС

Тихонов Сергей Александрович, 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 представлен комплексный анализ структуры, функциональных задач и требований к современным автоматизированным системам контроля технического состояния оборудования АЭС, обоснована их роль в обеспечении ядерной безопасности и рассмотрена практическая реализация на примере СВРК для атомных станций с реакторами ВВЭР-1000.

Безопасная эксплуатация атомных электростанций невозможна без непрерывного мониторинга технологических процессов и технического состояния оборудования. Автоматизированные системы контроля на современных энергоблоках представляют собой сложные комплексы, обеспечивающие не только сбор данных, но и поддержку принятия решений оперативным персоналом.

Автоматизированные системы контроля (АСК) технического состояния оборудования – это комплексы программно-аппаратных средств, предназначенные для сбора, обработки, анализа и отображения информации о фактическом состоянии оборудования в реальном времени или с заданной периодичностью без его остановки.

Комплекс АСК на АЭС включает в себя ряд подсистем, которые критически важны для ядерной и радиационной безопасности. Основные из них:

- система технологического контроля – осуществляет первичный сбор и обработку измеряемых параметров, регистрацию срабатывания защит и блокировок, ведение архива аварийных событий;
- система внутриреакторного контроля – мониторинг активной зоны, расчет распределения энерговыделения, контроль выгорания топлива и баланса реактивности;
- система радиационного технологического контроля – мониторинг радиационного состояния технологических сред и предоставление информации оператору;
- система технологической и аварийной сигнализации – оперативное уведомление персонала об отклонении параметров от регламентных значений;
- система контроля герметичности тепловыделяющих элементов – обнаруживает

нарушения герметичности оболочек тепловыделяющих элементов, предотвращая выход радиоактивных продуктов в теплоноситель [1].

Основной целью применения АСК является повышение коэффициента готовности объекта за счет:

- объективной оценки соответствия характеристик систем установленным требованиям;
- снижения времени восстановления за счет оперативной локализации неисправного элемента;
- повышения ремонтпригодности путем рационального сегментирования объекта на обслуживаемые блоки;
- прогностического анализа, позволяющего предотвращать отказы на ранней стадии их развития [1].

Ключевые задачи АСК включают техническую диагностику, прогнозирование ресурса и накопление статистических данных для оптимизации регламентов обслуживания.

В общем виде АСК представляет собой иерархическую цепочку, преобразующую физические параметры оборудования в сигналы управления, замыкая контур регулирования. Автоматизированную систему контроля можно представить в виде функциональных блоков, взаимодействующих между собой (рис. 1).

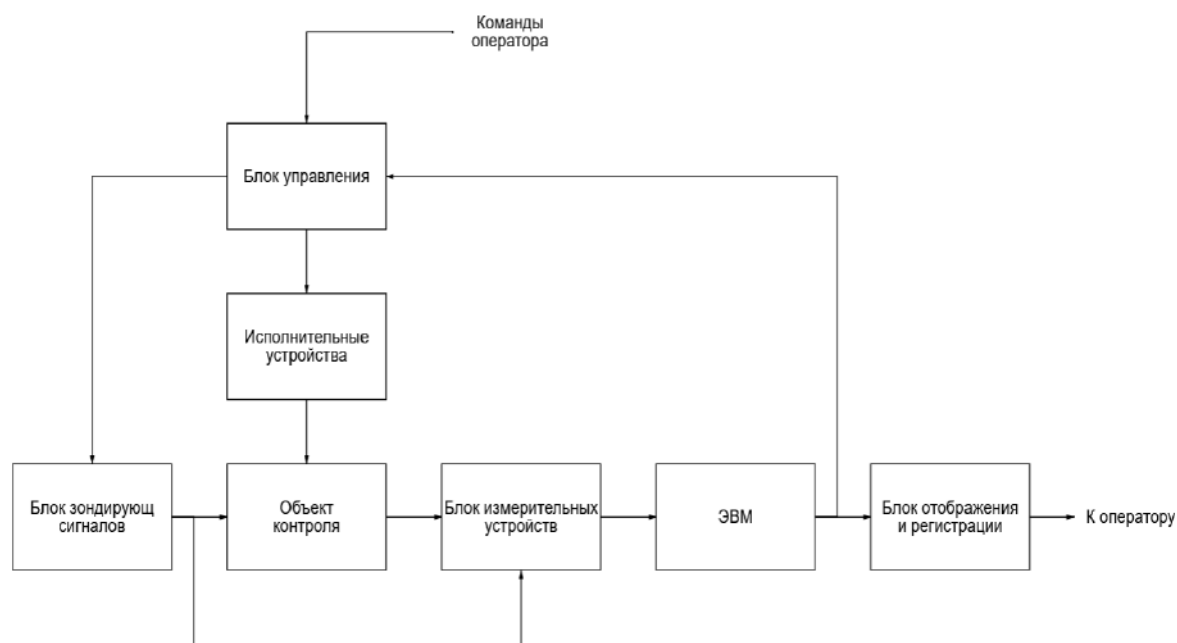


Рисунок 1 – Общий вид автоматизированной системы контроля

Функциональные блоки автоматизированной системы контроля:

- объект контроля;
- блок измерительных устройств – фиксирует контролируемые параметры посредством

датчиков, обычно имеет в своем составе вторичные преобразователи, которые усиливают сигнал и очищают его от помех;

- блок зондирующих сигналов – позволяет обнаружить скрытые дефекты системы; он подает на вход оборудования специальные тестовые воздействия, чтобы проверить реакцию системы;

- вычислительный блок (ЭВМ) – обрабатывает данные, т.е. сравнивает текущие данные с уставками, выполняет диагностические алгоритмы для поиска места и причины отказа, проверяет исправность датчиков и прогнозирует дальнейшее изменение параметров;

- блок управления – согласовывает работу всей АСК, переключает режимы контроля, управляет очередностью опроса датчиков;

- исполнительные устройства – выполняют автоматическое воздействие на объект управления по результатам контроля;

- блок отображения и регистрации – предоставляет данные оператору и ведет архивы для последующего расследования инцидентов и анализа статистики [1].

Обобщенная схема взаимодействия: объект контроля выдает параметры через датчики, ЭВМ получает эти данные, при необходимости запрашивает «тест» через блок зондирующих сигналов; если зафиксировано отклонение, блок управления задействует исполнительные устройства, оператор видит отчет о состоянии на мониторе и принимает окончательное решение.

Требования к АСК формируются из необходимости обеспечить максимальную надежность оборудования при минимальных затратах на его обслуживание. В современной промышленности, особенно на таких критически важных объектах, как атомная станция, к этим системам предъявляется ряд жестких условий, которые можно разделить на несколько групп, представленных в таблице 1 [2].

Рассмотрена автоматизированная система контроля технического состояния оборудования на примере системы внутриреакторного контроля (СВРК) для серийных реакторов ВВЭР-1000. Структура системы представлена на рисунке 2.

СВРК обеспечивает контроль энерговыделения в активной зоне при работе реактора на уровне мощности от 10 до 110 % от номинального значения. Система является полнофункциональной, самостоятельно реализующей все операции сбора и обработки информации, ее контроля и анализа, регистрации и предоставления на блочный щит управления. В то же время, являясь одной из систем контроля и управления энергоблоком, она поддерживает информационный обмен со смежными подсистемами и может передавать данные в общую сеть для их использования в

Таблица 1 – Требования к современным АСК

```

graph TD
    ZVK[Вычислительный комплекс (ЭВМ)] <--> IIA[Информационно-измерительная аппаратура (блок управления и блок отображения)]
    OP[Оператор] <--> IIA
    IIA --> SAU[Система автоматического контроля]
    SAU --> IIA
    IIA --> SUD[Система управления и защиты]
    SUD --> IIA
    IIA --> ANP[Автоматический контроль нейтронного потока]
    ANP --> IIA
    IIA --> PP[Преобразователи параметров (от приборов 1-го и 2-го контуров)]
    PP --> IIA
    IIA --> BIZ[Блок измерительных устройств (ДПЗ, ТП, ТС)]
    BIZ --> IIA
  
```

Таким образом, автоматизированные системы контроля технического состояния оборудования АЭС являются неотъемлемой частью системы управления безопасностью и эффективностью эксплуатации атомной станции и решают комплекс

ключевых задач:

- мониторинг параметров оборудования в реальном времени позволяет обнаружить отклонения на ранней стадии;
- переход от планово-предупредительных ремонтов к ремонтам по фактическому техническому состоянию оборудования оптимизирует затраты на его обслуживание;
- сбор и анализ данных позволяет анализировать поведение оборудования, повышая надежность его работы.

Литература.

1. Острейковский, В.А. Эксплуатация атомных станций: учебник для вузов / В.А. Острейковский. – Москва: Энергоатомиздат, 1999. – 94 с.
2. ГОСТ 24.104-2023. Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – М.: Российский институт стандартизации, 2023. – 22 с.
3. Брагин, В.А. Системы внутриреакторного контроля АЭС с реакторами ВВЭР. / В.А. Брагин, И.В. Батенин, М.Н. Голованов и др. – Москва : Энергоатомиздат. 1987. – 128 с.

УДК 615.825.1:796.015.52

Разработка конструкции тренажёра для реабилитации и развития силовой выносливости мышц кисти и предплечья у оперативного персонала АЭС

Ясаков Владислав Петрович, студент направления «Теплоэнергетика и теплотехника»;

Устинов Николай Александрович, кандидаты технических наук,
доцент кафедры «Атомная энергетика»;

Краснолудский Николай Викторович, кандидаты технических наук,
доценты кафедры «Атомная энергетика»;

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

Статья посвящена обоснованию и описанию оригинальной конструкции тренажёра для тренировки и реабилитации мышц кисти и предплечья. Анализируются анатомо-функциональные особенности кисти, выявляются недостатки существующих тренажёрных устройств (дискретная регулировка нагрузки) и предлагается механическое решение с бесступенчатым изменением сопротивления за счёт смещения центра тяжести пользователя. Приводятся результаты апробации прототипа, подтверждающие рост силовой выносливости на 20% за месяц тренировок.

В современной реабилитационной и спортивной практике всё большее внимание уделяется восстановлению и развитию мелкой моторики, силы и силовой выносливости кисти и предплечья. Кисть человека является не только сложнейшим биомеханическим органом, но и ключевым инструментом профессиональной деятельности – от оператора АЭС до хирурга или музыканта. Однако рынок тренажёрных устройств для этих мышечных групп представлен в основном кистевыми эспандерами с фиксированной или ступенчатой жесткостью, а также редкими блочными конструкциями. Это создаёт проблему «силового разрыва»: переход на следующую ступень нагрузки часто оказывается чрезмерным для пациента после травмы или для начинающего спортсмена, что снижает эффективность занятий и повышает риск ретравматизации.

Особенностью работы операторов, инженеров управления и ремонтного персонала атомных станций является длительное статическое напряжение мышц кисти в сочетании с необходимостью выполнения точных движений (нажатие кнопок, поворот переключателей, работа с ручным инструментом). Часто эти действия выполняются в толстых защитных перчатках, что дополнительно увеличивает нагрузку на мышцы-сгибатели и снижает тактильную чувствительность. По данным медицинской статистики, профессиональные заболевания кисти и предплечья (туннельные синдромы, тендиниты, хронические миалгии) составляют до 15% всех случаев временной нетрудоспособности среди оперативного персонала АЭС.

Понимание и проведенный анализ анатомии позволил нам определить критерии для нашего будущего тренажёра:

- изолированная и комбинированная нагрузка на разные группы мышц;
- регулировка амплитуды и вектора усилия;
- дозированная прогрессия нагрузки для развития силовой выносливости – ключевого качества для длительных смен на АЭС».

Далее будет рассматриваться конструкция тренажёра, лишённая этого недостатка. Основная идея – использование собственного веса пользователя как источника нагрузки и возможность плавного её изменения за счёт перемещения тела относительно точки опоры.

Но первоначально проанализируем анатомо-функциональные особенности кисти как основу для проектирования конструкции будущего тренажёра.

Кисть представляет собой комплексную биомеханическую систему, включающую 27 костей, объединённых в запястье, пясть и пальцы. По мнению М.Г. Привеса и Н.К. Лысенкова, «кисть является полифункциональным органом, в котором сочетаются требования высокой точности движений и способность выдерживать

значительные силовые нагрузки» [1].

С точки зрения кинематики, кисть построена по принципу «модульного конструктора»:

- проксимальный модуль (запястье) – несущая платформа из 8 костей, обеспечивающая сгибание-разгибание и отведение-приведение;
- центральный модуль (пястье) – силовые рычаги, где II пястная кость выполняет роль центральной колонны стабильности;
- дистальный модуль (пальцы) – исполнительные механизмы с возрастающей подвижностью к дистальным фалангам.

Мышечно-сухожильный аппарат кисти организован по принципу дистанционного и локального управления: внешние мышцы предплечья (сгибатели и разгибатели) обеспечивают основное силовое усилие, а внутренние мышцы (тенар, гипотенар, межкостные, червеобразные) – тонкую настройку движения. Именно эта сложная архитектура требует тренировочных устройств, способных создавать дозированную нагрузку на все задействованные группы. Как отмечает М.Ф. Иваницкий, «понимание динамической анатомии кисти необходимо для разработки эффективных реабилитационных тренажёров, имитирующих естественные биомеханические режимы» [2].

Проведем критический анализ существующих методов развития кисти. Традиционно для развития силы и выносливости кисти применяются следующие упражнения:

- удержание и поднятие отягощений (гантелей, блинов);
- работа с кистевыми эспандерами (резиновыми, пружинными);
- упражнения на пронацию/супинацию с регулируемым сопротивлением.

Однако все эти методы обладают общим недостатком – дискретностью нагрузки. Эспандеры имеют фиксированную жёсткость (или переключаются между 2-3 уровнями), а переход к более тяжёлому снаряду часто невозможен плавно. В.М. Зациорский указывает: «Для развития силовой выносливости наиболее эффективна нагрузка в диапазоне 60-80% от максимальной, но её точное дозирование требует бесступенчатой регулировки сопротивления» [3].

В реабилитационной практике это особенно критично: пациент после перелома или туннельного синдрома не может сразу перейти от минимального сопротивления к следующему, даже небольшому, скачку. Поэтому создание тренажёра с плавно изменяемой нагрузкой является актуальной.

В связи с этим, на первом этапе, авторами была разработана принципиальная

схема будущего тренажера, состоящая из:

- 1 – несущей рамы;
- 2 – поворотной платформы для размещения пользователя;
- 3 – подвижной рукояти, соединённой с платформой через тросиковую передачу и систему роликов;
- 4 – неподвижной рукояти для стабилизации (упора) второй руки.

Пользователь встаёт на платформу и перемещает подвижную рукоять как можно ближе к неподвижной рукояти. При этом нагрузка на мышцы кисти и предплечья создаётся за счёт силы реакции опоры: чем дальше от точки крепления поворотной платформы располагается пользователь, тем больше плечо силы тяжести и тем выше сопротивление при сжатии рукояти. Таким образом, меняя положение ног, можно бесступенчато регулировать нагрузку: от минимальной (носки у точки крепления края поворотной платформы) до максимальной, когда пользователь полностью стоит на платформе ближе к ее свободному концу.

Использование собственного веса в качестве источника сопротивления позволяет отказаться от дорогостоящих блочных систем, наборов грузов или сложных пружинных механизмов, что делает тренажёр доступным и надёжным.

На рисунке 1 представлена конструктивная схема будущего тренажёра.

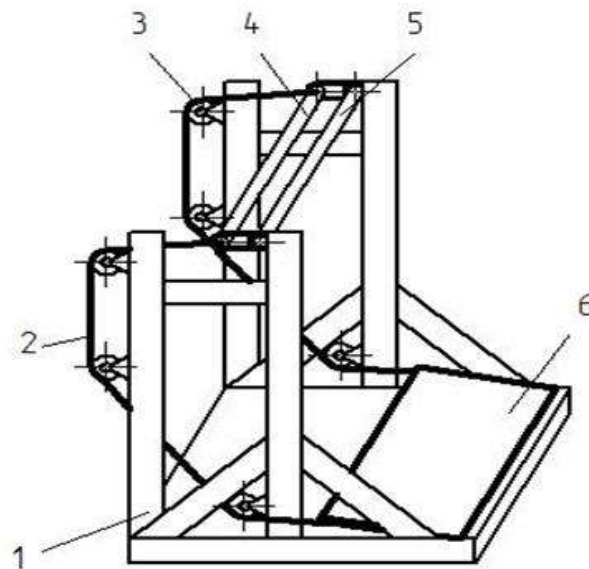


Рисунок 1 – Конструктивная схема тренажера:

- 1- рама основная; 2- тросик металлический; 3- ролик (6 штук); 4- подвижная рукоять;
5- неподвижная рукоять; 6- поворотная платформа

В отличие от классических эспандеров, предлагаемый тренажёр позволяет:

- плавно изменять нагрузку в широком диапазоне (от 0 до 80% массы тела);
- использовать его на всех этапах реабилитации: от пассивной разработки суставов до тренировки максимальной силы;

- развивать как концентрическую (сжатие), так и эксцентрическую (контролируемое разжатие) силу;

- вовлекать не только поверхностные сгибатели пальцев, но и глубокие мышцы предплечья, а также мелкие мышцы кисти.

При выполнении упражнения работают червеобразные и межкостные мышцы; мышцы возвышения большого пальца (тенар) и мизинца (гипотенар); короткий сгибатель и приводящая мышца большого пальца; мышца, противопоставляющая мизинец; а также длинные сгибатели и разгибатели пальцев и запястья.

Для подтверждения всего выше заявленного был изготовлен и испытан функциональный прототип тренажёра из общедоступных материалов, таких как фанера, троса, ролики, пластиковые трубы и деревянные бруски (рис.2).

В течение одного месяца один из авторов проекта проводил тренировки по следующей схеме:

- разминка – 2-3 минуты вращательных движений в суставах;
- основная часть – 4 подхода по 8-12 повторений с отдыхом 2 минуты между ними;
- регулировка нагрузки – положение ног выбиралось так, чтобы последние 2-3 повторения в подходе выполнялись с явным, но не предельным усилием.



Рисунок 2 – Общий вид тренажера

В результате силовая выносливость (максимальное количество повторений с фиксированной нагрузкой) увеличилась на 20% по сравнению с исходным уровнем. При этом не было зафиксировано болевых ощущений в лучезапястных суставах или признаков перетренированности.

Для развития максимальной силы рекомендуется выполнять 4-5 подходов по 5-7 повторений, располагаясь ближе к переднему краю платформы. Для реабилитации

(первые 2-3 недели после снятия иммобилизации) – стоя у заднего края платформы, выполнять 3-4 подхода по 15-20 повторений в медленном темпе (рис.3).



Рисунок 3 – Постановка рук на рукояти при выполнении упражнения (в начальный момент)

В дальнейшем для усовершенствования предлагаемой конструкции тренажера, планируется:

- добавить тензодатчики для цифрового контроля усилия и обратной связи (аналогично пневмоприводам с датчиками положения);
- разработать дополнительное устройство к данному тренажёру для вовлечения в работу мышц-разгибателей (обратный хват);
- выполнить интеграцию с мобильным приложением для отслеживания прогресса.

Как отмечает Н.Н. Лебедев в отношении тренировочных устройств: «Будущее персональной реабилитации – в интеллектуальных механических системах, адаптирующихся к пользователю в реальном времени» [4]. Предложенный тренажёр, благодаря простоте и плавной регулировке, может стать основой для такого «интеллектуального» исполнения при минимальной доработке.

В итоге решена актуальная задача создания тренажёра для развития силы и силовой выносливости мышц кисти и предплечья с бесступенчатой регулировкой нагрузки. Предложенный тренажёр может найти применение в реабилитационных центрах, спортивных залах, а также в корпоративных программах профилактики профессиональных заболеваний кисти (для операторов АЭС, сотрудников офисов, сборщиков мелких деталей).

Литература

1. Привес, М.Г. Анатомия человека / М.Г. Привес, Н.К. Лысенков. – Санкт-Петербург: Гиппократ, 2020. – 704 с.
2. Иваницкий, М.Ф. Анатомия человека (с основами динамической и спортивной

- морфологии) / М.Ф. Иваницкий. – Москва: Советский спорт, 2025. – 626 с.
3. Зациорский, В.М. Физические качества спортсмена: основы теории и методики воспитания / В.М. Зациорский. – Москва: Советский спорт, 2019. – 200 с.
 4. Лебедев, Н.Н. Интеллектуальные системы управления в биомеханике / Н.Н. Лебедев. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 184 с.

УДК 004.04

**Организация контроля деятельности обучающихся
в дополнительном образовании**

¹Жуматий Екатерина Витальевна, студент направления

«Информационные системы и технологии»;

² Виштак Ольга Васильевна, доктор педагогических наук, декан факультета повышения
квалификации и профессиональной переподготовки

^{1,2} Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

В статье обосновывается актуальность дополнительного образования как ресурса развития человеческого капитала. Выявлены особенности контроля в данной сфере, обусловленные добровольностью участия и безотметочным характером обучения, отличающие его от контроля в общем образовании. Проведен анализ задач, функций и требований к интерактивной системе учета достижений обучающихся. Представлены результаты моделирования процессов системы, включающие выделение субъектов взаимодействия и этапов цикла контроля. Сделан вывод о необходимости внедрения цифровых инструментов для повышения эффективности управления и мотивации обучающихся.

В эпоху динамичных технологических изменений, трансформации рынка труда и пересмотра образовательных стандартов дополнительное образование перестало восприниматься как второстепенная «кружковая» деятельность. Сегодня оно выходит на передний план как ключевой ресурс развития человеческого капитала, становясь неотъемлемой частью системы воспитания и социализации подрастающего поколения [1, 6 и др.].

Актуальность дополнительного образования обусловлена его уникальной гибкостью. Если школьное образование в силу законодательных норм стремится к унификации, то дополнительное образование предлагает персонализированный подход. Оно позволяет учитывать индивидуальные образовательные запросы семьи, выявлять и развивать одаренность в тех сферах, которые остаются «за рамками» обязательной школьной программы [9]. В условиях реализации Федерального проекта «Успех каждого ребенка» национального проекта «Образование» дополнительное образование выступает главным инструментом построения бесшовной системы сопровождения

талантов.

Более того, современное дополнительное образование берет на себя важнейшую миссию профессиональной навигации. В условиях неопределенности будущего именно раннее погружение в практико-ориентированную деятельность позволяет обучающимся к 14–17 годам сформировать осознанный запрос на будущую профессию [1, 6 и др.].

Контроль в дополнительном образовании детей принципиально отличается от контроля в общем образовании. В школе он нацелен на проверку усвоения обязательной программы и фиксацию отметки. В дополнительном образовании контроль выполняет метапредметные, личностно-ориентированные и пролонгированные функции, что обусловлено неформальным характером данной сферы и добровольностью участия обучающихся [3, 4, 5, 8 и др.].

Отсутствие жестких государственных образовательных стандартов исключает унификацию контрольно-оценочных процедур. Критерии успешности варьируются в зависимости от направленности программы, что требует от педагога конструирования оценочного инструментария с учетом специфики вида деятельности.

Добровольный характер обучения определяет отказ от традиционных форм контроля, которые воспринимаются как давление. Контроль ориентирован на выявление зоны ближайшего развития, поддержание мотивации и фиксацию индивидуального прогресса, а не на ранжирование обучающихся.

Целевое назначение контроля смещается с проверочной функции на диагностическую и прогностическую. В условиях разноуровневых групп контроль реализуется в формах стартовой диагностики, текущего мониторинга динамики освоения навыков и итоговой рефлексии. Основным объектом оценивания выступает индивидуальный прогресс.

Приоритетными результатами контроля являются личностные и метапредметные изменения: динамика мотивации, формирование навыков командной работы, ответственности, способности к завершению проекта. Контроль выступает инструментом отслеживания гибких навыков.

Формы контроля определяются спецификой деятельности. К ним относятся открытые показы, защита проектов, конкурсы и фестивали как формы внешнего независимого оценивания. Портфолио выполняет функцию динамичной фиксации личностного роста, включая фото- и видеоматериалы, рефлексивные записи и внешние отзывы [8, 11, 12 и др.].

Проблема субъективности оценивания решается посредством создания

экспертных советов, разработки четких критериев, а также внедрения самооценки и самооценки, что переводит контроль в рефлексивную практику.

Внедрение персонифицированного финансирования привело к усилению управленческой составляющей контроля: организации унифицируют оценочные процедуры для подтверждения освоения программ. При этом сохраняется риск бюрократизации, при котором формальные показатели превалируют над содержательными результатами.

Психологической основой контроля выступает безотметочное обучение. Используются качественные вербальные формы: словесная аналитическая оценка, карты успеха, возможность отсроченного результата. Данный подход способствует сохранению психологического здоровья, снижению тревожности и удержанию контингента.

Традиционные способы фиксации результатов в дополнительном образовании – бумажные журналы, разрозненные портфолио, электронные таблицы – не обеспечивают оперативного доступа к данным, затрудняют анализ динамики развития обучающихся и не позволяют выстроить эффективную коммуникацию между участниками образовательного процесса. Возникает необходимость в создании интерактивной системы контроля и учета достижений, интегрирующей педагогические, управленческие и коммуникационные функции. Анализ задач, функций и требований к такой системе является необходимым этапом проектирования, позволяющим определить ее архитектуру и критерии эффективности с учетом специфики дополнительного образования: отсутствия жестких стандартов, добровольности участия, акцента на личностных результатах и безотметочного характера обучения [7, 8 и др.].

Задачи интерактивной системы определяются потребностями всех участников образовательных отношений. Информационно-фиксационная задача заключается в обеспечении надежного хранения и оперативного доступа к данным о составе обучающихся, посещаемости, результатах контроля и достижениях. Диагностико-аналитическая задача состоит в отслеживании индивидуальной динамики развития каждого обучающегося, фиксации промежуточных показателей и визуализации изменений. Рефлексивно-мотивационная задача связана с вовлечением обучающегося в процесс самооценки: система должна предоставлять ребенку возможность видеть собственный прогресс и получать обратную связь. Коммуникационная задача обеспечивает информационное взаимодействие педагогов, родителей, обучающихся и администрации. Управленческая задача обусловлена требованиями персонифицированного финансирования и необходимостью формирования отчетности,

подтверждающей освоение программ.

Функциональный состав системы реализует перечисленные задачи. Блок учета и фиксации включает ведение электронного журнала посещаемости, фиксацию результатов выполнения заданий, формирование цифрового портфолио обучающегося с возможностью прикрепления подтверждающих документов. Блок диагностики и мониторинга обеспечивает проведение стартовой, промежуточной и итоговой диагностики, ввод критериально-ориентированных оценок, построение отчетов об индивидуальном прогрессе. Блок коммуникации реализует функции информирования через уведомления, обмена сообщениями, публикации новостей и формирования рефлексивных отчетов. Блок управления и отчетности обеспечивает формирование сводных данных по организации, программам и педагогам, экспорт информации для внешней отчетности.

Требования к системе могут быть систематизированы по нескольким группам. Технические требования включают надежность, отказоустойчивость, функционирование на различных устройствах и операционных системах, защиту персональных данных и разграничение прав доступа. Интерфейсные требования ориентированы на интуитивную понятность, адаптацию для пользователей с разным уровнем цифровой грамотности, визуализацию данных. Педагогические требования являются наиболее специфичными: система должна поддерживать гибкость оценочных процедур, позволяя настраивать критерии под конкретную программу, ориентироваться на личностные и метапредметные результаты, фиксировать участие в конкурсах и мероприятиях, обеспечивать безотметочный характер оценивания с использованием качественных шкал и вербальных комментариев. Интеграционные требования предполагают взаимодействие с региональными навигаторами дополнительного образования и государственными информационными системами в рамках персонифицированного финансирования. Масштабируемость обеспечивает возможность применения системы, как в отдельном учреждении, так и на муниципальном или региональном уровне.

Современные подходы к разработке таких систем ориентируются на использование облачных технологий, обеспечивающих доступность данных из любой точки. Востребованными становятся элементы геймификации как инструмент повышения мотивации, а также использование элементов искусственного интеллекта для автоматизации анализа динамики развития. При этом ведущая роль педагога как интерпретатора результатов и источника качественной обратной связи сохраняется.

Моделирование процессов интерактивной системы контроля и учета

достижений обучающихся представляет собой этап проектирования, в ходе которого определяются структурные элементы системы, их взаимосвязи, последовательность операций и потоки данных [10]. Целью моделирования является создание формализованного описания, позволяющего перейти от концептуальных требований к практической реализации системы, обеспечивающей эффективное решение задач, сформулированных в предыдущем разделе. В контексте дополнительного образования, характеризующегося многообразием программ, вариативностью форм контроля и многосубъектностью взаимодействия, моделирование процессов приобретает особое значение, поскольку позволяет учесть специфику данной сферы и избежать излишней унификации, противоречащей ее природе [10].

Моделирование процессов начинается с выделения ключевых субъектов взаимодействия в рамках системы. К ним относятся обучающиеся, родители (законные представители), педагоги дополнительного образования, администрация образовательной организации, а также внешние субъекты: органы управления образованием и операторы региональных навигаторов дополнительного образования. Каждый из субъектов обладает специфическим набором функций, прав доступа и информационных потребностей. Обучающийся выступает основным субъектом, в отношении которого осуществляется контроль и учет, при этом современные подходы предполагают его активную позицию – возможность самооценки, рефлексии и планирования собственных образовательных результатов. Родители выполняют функцию контроля и поддержки, их интерес сосредоточен на объективной информации об успехах ребенка и возможностях его дальнейшего развития. Педагог является ключевым оператором системы: он вносит данные о посещаемости, результатах диагностики и достижениях, формирует обратную связь, интерпретирует результаты и корректирует образовательный процесс на основе полученных данных [3]. Администрация использует систему для мониторинга эффективности реализации программ, контроля загрузки педагогов, формирования отчетности и принятия управленческих решений. Внешние субъекты получают агрегированные данные для оценки результативности системы дополнительного образования в целом.

Процессная модель интерактивной системы может быть представлена в виде последовательности взаимосвязанных этапов, образующих полный цикл контроля и учета достижений. Первый этап, организационно-установочный, включает регистрацию обучающихся в системе, зачисление их в объединения, ознакомление с формами, сроками и критериями контроля, предусмотренными дополнительной общеобразовательной программой. На данном этапе формируется базовая структура

данных: личные дела обучающихся, состав групп, распределение по программам. Важным элементом является проведение стартовой диагностики, позволяющей зафиксировать исходный уровень подготовки, мотивации и способностей каждого обучающегося. Результаты стартовой диагностики служат точкой отсчета для последующего отслеживания динамики.

Второй этап, текущий мониторинг и учет, охватывает весь период реализации программы. Система фиксирует посещаемость занятий, что является не только административным требованием, но и важным индикатором сохранности контингента и устойчивости интереса обучающегося. Одновременно вносятся данные о результатах выполнения учебных заданий, освоении отдельных тем и модулей. В отличие от традиционной балльной системы, в интерактивной системе используются критериально-ориентированные шкалы, отражающие уровни освоения: начальный, базовый, продвинутый, экспертный. Каждому уровню соответствуют конкретные дескрипторы – описания того, что обучающийся знает, умеет и может продемонстрировать. Такой подход позволяет сохранить безотметочный характер обучения, обеспечивая при этом дифференцированную оценку результатов.

Третий этап, промежуточная и итоговая аттестация, реализуется в соответствии с графиком, предусмотренным программой. Система обеспечивает планирование аттестационных мероприятий, фиксацию результатов и их интерпретацию. Система должна поддерживать гибкость в настройке форм и критериев оценивания, позволяя педагогу адаптировать инструментарий под специфику своей деятельности. Результаты промежуточной и итоговой аттестации фиксируются в личном деле обучающегося и используются для корректировки образовательной траектории, перевода на следующий уровень обучения или выдачи документа об освоении программы [8, 10 и др.].

Четвертый этап, аналитико-рефлексивный, является ключевым с точки зрения реализации педагогического потенциала системы. На данном этапе на основе накопленных данных формируются аналитические отчеты, отражающие динамику индивидуальных результатов каждого обучающегося. Система автоматически строит графики, диаграммы и таблицы, позволяющие визуализировать изменения в освоении предметных компетенций, развитии метапредметных навыков, динамике мотивации и активности участия в мероприятиях.

Пятый этап, коммуникационно-управленческий, обеспечивает взаимодействие всех субъектов и интеграцию с внешними системами. Система генерирует уведомления о предстоящих мероприятиях, изменениях в расписании, результатах аттестации, которые направляются родителям и обучающимся через встроенные каналы связи.

Формируется необходимая отчетность для органов управления образованием, в том числе для системы персонифицированного финансирования, подтверждающая факт освоения программ и посещаемости. Экспорт данных в региональные навигаторы дополнительного образования осуществляется автоматически, что снижает административную нагрузку на педагогических работников и исключает дублирование ввода информации.

Моделирование процессов предполагает также определение архитектуры данных, циркулирующих в системе. Выделяются три основных контура данных. Первый контур – персональные данные обучающихся, включающие сведения о ребенке, его родителях, образовательной траектории, медицинских показаниях (при необходимости). Второй контур – педагогические данные, включающие результаты диагностик, мониторинга, аттестации, фиксацию достижений, рефлексивные отчеты и рекомендации. Третий контур – управленческие данные, включающие агрегированные показатели по организации, программам, педагогам, а также данные для внешней отчетности. Важным требованием является обеспечение разграничения доступа к различным контурам данных в соответствии с ролью пользователя и законодательством о защите персональных данных.

Моделирование процессов также включает определение критериев эффективности функционирования системы. К таким критериям относятся полнота и достоверность данных, оперативность ввода и обработки информации, удовлетворенность пользователей интерфейсом и функциональностью, степень снижения административной нагрузки на педагогических работников, качество аналитических инструментов, обеспечивающих принятие обоснованных управленческих и педагогических решений. Важным критерием выступает также интеграционная способность системы – возможность обмена данными с внешними информационными системами без дополнительных трудозатрат.

Таким образом, дополнительное образование в современных условиях выступает стратегическим ресурсом развития человеческого капитала, обеспечивая персонализацию образовательных траекторий, выявление талантов и профессиональную навигацию обучающихся. Его ценность заключается в гибкости и ориентации на индивидуальные запросы.

Контроль в дополнительном образовании имеет специфику, обусловленную отсутствием жестких стандартов, добровольностью участия и безотметочным характером обучения. Он выполняет диагностическую, прогностическую и мотивирующую функции, ориентируясь на индивидуальный прогресс, личностные и

метапредметные изменения [2, 3, 5, 8 и др.]. Формы контроля определяются спецификой деятельности, а проблема субъективности оценивания решается через экспертные советы, четкие критерии и внедрение самооценки [5, 8 и др.].

Традиционные способы фиксации результатов недостаточно эффективны, что обуславливает необходимость создания интерактивной системы контроля и учета достижений. Такая система должна интегрировать информационно-фиксационные, диагностико-аналитические, рефлексивно-мотивационные, коммуникационные и управленческие задачи, а также соответствовать требованиям технической надежности, педагогической гибкости и интеграции с внешними информационными системами.

Моделирование процессов системы предполагает выделение субъектов взаимодействия и определение этапов цикла контроля: организационно-установочного, текущего мониторинга, аттестации, аналитико-рефлексивного и коммуникационно-управленческого. Архитектура данных строится на трех контурах (персональном, педагогическом и управленческом) с разграничением прав доступа.

Реализация предложенной модели позволяет автоматизировать учетные процедуры, снизить административную нагрузку на педагогов и создать инструмент педагогической поддержки индивидуального развития обучающихся. Ключевым условием успешного внедрения является сохранение ведущей роли педагога как интерпретатора результатов и учет специфики дополнительного образования, исключающий излишнюю унификацию и бюрократизацию контрольно-оценочных процедур.

Литература

1. Виштак, Н.М. Роль дополнительного образования в формировании информационной грамотности младших школьников / Н.М. Виштак // Актуальные проблемы организации образовательного процесса в начальной школе: сборник научных статей. – Чебоксары : [б.и.], – 2020. – С. 68-72.
2. Напалков, С. В. Конструирование тестов средствами онлайн-сервисов при обучении учащихся математическим дисциплинам / С. В. Напалков // Современные проблемы естествознания и естественно-научного образования: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Арзамас, 2023). – Арзамас, 2023. – С. 237–240.
3. Архипов, А.Ю., Виштак, Н.М. Информационные системы для тестового контроля знаний обучающихся / А.Ю. Архипов, Н.М. Виштак // Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании: материалы I Международной научно-практической конференции. – Балаково : БИТИ НИЯУ МИФИ, 2019. – С.

4. Виштак, Н.М. Мануйлова, Е.И. Подходы к организации тестового контроля знаний в компьютерных обучающих систем / Н. М. Виштак, Е. И. Мануйлова // Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции «Проблемы развития регионов в условиях модернизации экономики, общества и образования». – Балаково : БИТИ НИЯУ МИФИ, 2018. – С. 48–50.
5. Виштак, Н. М. Информационная система тестирования знаний обучающихся центра дополнительного образования на основе Web-технологий / Н. М. Виштак // Современные Web-технологии образовательного назначения: перспективы и направления развития: сборник статей Международной научно-практической конференции (Арзамас, 2016) / Арзамасский филиал Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского. – Арзамас, 2016. – С. 40–43.
6. Айсмонтас, Б.Б. Психолого-педагогические основы дополнительного образования / Б.Б. Айсмонтас. – Москва : МГППУ, 2020. – 312 с.
7. Ильина, И.В. Цифровая трансформация управления дополнительным образованием / И.В. Ильина // Информатика и образование. – 2022. – Т. 37, № 4. – С. 45–53.
8. Логинова, А. В. Оценка качества в дополнительном образовании: от контроля к развитию / А. В. Логинова // Вестник образования. – 2023. – № 2. – С. 18–25.
9. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» (ред. от 17.02.2023): ст. 75 // КонсультантПлюс : сайт. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/ (дата обращения: 10.03.2026).
10. Яковлева, Н.О. Моделирование в педагогических исследованиях / Н.О. Яковлева. – Челябинск : Изд-во ЮУрГГПУ, 2019. – 156 с.
11. Виштак, Н.М. Об использовании портфолио для развития навыков самоуправления учебной деятельностью студентов, изучающих информатику / Н. М. Виштак // Педагогическая информатика. – 2008. – № 1. – С. 40-43.
12. Виштак, Н.М. об использовании метода портфолио для развития навыков самоуправления учебной деятельностью у студентов, изучающих информатику / Н. М. Виштак // Информатика и образование. – 2008. – № 2. – С. 112-114.

ИТ-решение для ведения реестра пациентов и управления госпитализацией с использованием платформы 1С

¹Калинкин Владимир Сергеевич, студент направления

«Прикладная информатика в менеджменте»;

²Горшков Евгений Александрович кандидат технических наук, доцент кафедры

социально-правовых и прикладных юридических дисциплин;

¹Балаковский филиал РАНХиГС – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации»;

² Балаковский филиал ФГБОУ ВО «Саратовская государственная юридическая академия»

В статье анализируются современные возможности цифровизации медицинских организаций. Рассмотрены программные продукты линейки «1С Медицина», предназначенные для автоматизации работы больниц и поликлиник. Отмечены как новые функции, так и недостатки этих решений. Обоснована целесообразность создания собственного программного компонента на платформе 1С для учёта приёма и размещения пациентов в ГУЗ СО «Балаковская городская клиническая больница» (далее – ГУЗ СО «БГКБ»). Представлены этапы проектирования и реализации модуля, описаны использованные объекты метаданных в среде «1С: Предприятие 8», а также показаны преимущества автоматизации процесса учёта пациентов в стационаре.

На сегодняшний день цифровая трансформация больниц и поликлиник предполагает интеграцию передовых IT-инструментов как в частную, так и в государственную медицину. Автоматизация становится важнейшим фактором повышения эффективности работы, а также делает необходимым создание информационных систем в каждом медицинском учреждении [1].

Однако многие специализированные медицинские информационные системы (МИС) обладают общими недостатками: закрытой архитектурой, сложностью взаимодействия с другими системами (особенно бухгалтерскими и кадровыми), привязкой к одному поставщику, высокой стоимостью владения и обновлений [2].

Платформа 1С предлагает собственные решения для автоматизации медицинских организаций. Линейка «1С Медицина» включает продукты для поликлиник, стационаров, диагностических центров и аптек (рис. 1). Каждое учреждение может выбрать подходящий набор модулей в зависимости от профиля работы [3].

Грамотное внедрение решений «1С Медицина» приносит долгосрочную

экономическую и операционную выгоду, повышает безопасность и удовлетворённость пациентов [4]. Однако цена самой программы, лицензии на рабочие места, договор на сопровождение, услуги партнёра по внедрению и настройке могут стать препятствием к внедрению ее в медицинском учреждении.



Рисунок 1 – Линейка программ 1С для автоматизации работы медицинских организаций

Поэтому разработка собственного программного компонента на платформе 1С становится своевременным и эффективным решением для конкретного лечебного учреждения.

В качестве базы для разработки был выбран ГУЗ СО «БГКБ» – многопрофильный стационар на 1054 круглосуточных и 53-дневных койки [5].

Цель модуля – полностью автоматизировать процесс учёта приёма и размещения пациентов в этой больнице.

На рисунке 2 представлена диаграмма вариантов использования разработанного модуля (UML-диаграмма прецедентов). Программное решение выполнено в виде конфигурации на платформе «1С: Предприятие 8». В его состав вошли следующие объекты метаданных: справочники; документы; регистры сведений; отчёты; перечисления; роли; пользователи. Справочники используются для хранения условно-постоянных данных, которые могут обновляться пользователями. Например, форма элемента справочника «Пациенты» (вкладка «Основное») показана на рисунке 3, а форма справочника «Врачи» – на рисунке 4.

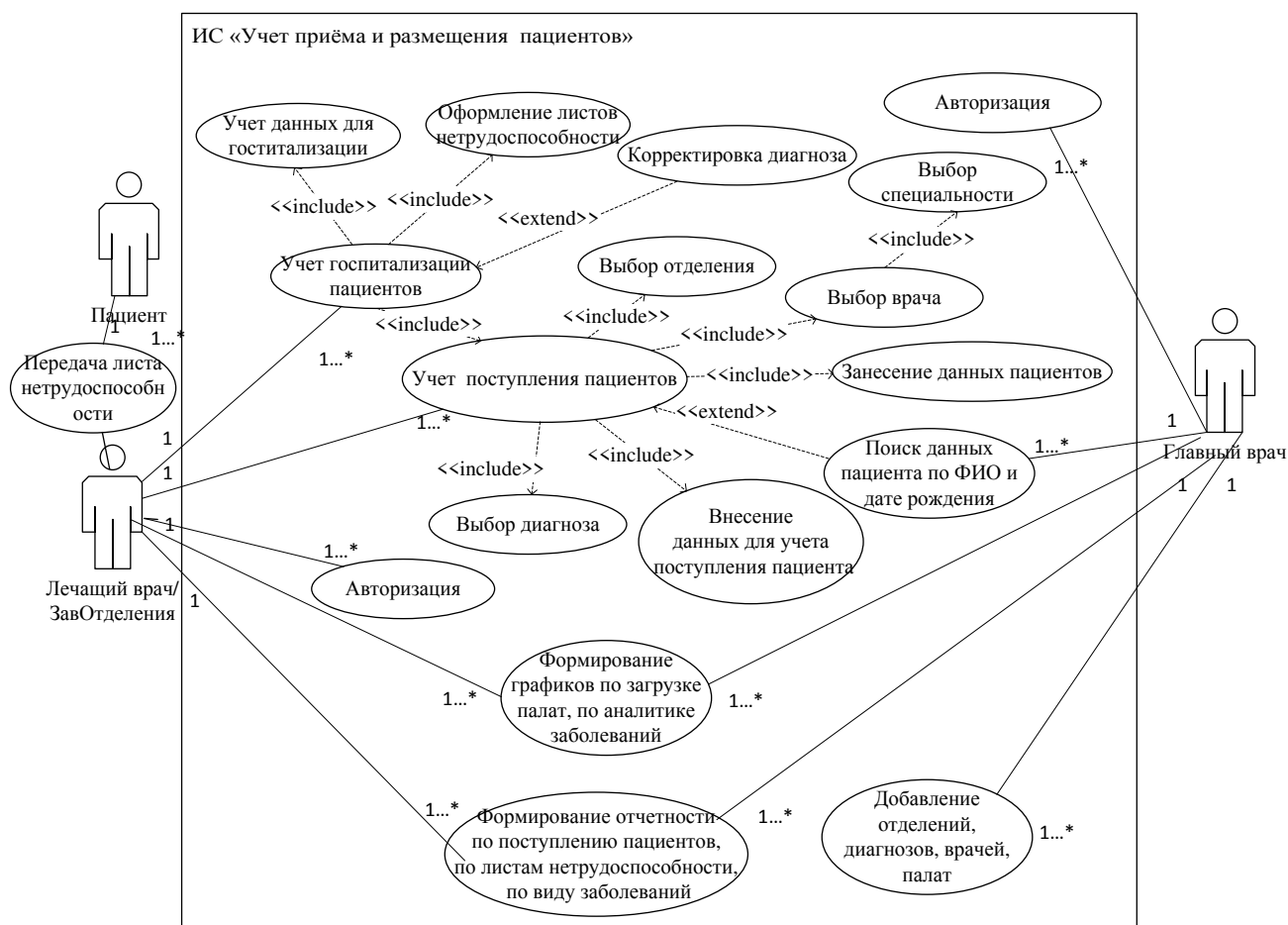


Рисунок 2 – Диаграмма вариантов использования программного компонента учета размещения пациентов

The screenshot shows the 'Зверев Александр Данилович (Пациенты)' form in the 'Основное' tab. The form contains the following fields and controls:

- Buttons:** 'Записать и закрыть' (green), 'Записать' (grey), and 'Еще' (grey).
- Код:** 000000002
- ФИО:** Зверев Александр Данилович
- Дата рождения:** 05.12.1985

Рисунок 3 – Форма элемента справочника «Пациенты», вкладка Основное

Документ «Поступление пациента в стационар» содержит две вкладки: сведения об осмотре и данные о диагнозе (рис. 5). На его основании создаётся документ «Госпитализация», который фиксирует размещение пациента в конкретном отделении и палате. Форма документа «Госпитализация» (вкладка «Показатели здоровья») приведена на рисунке 6. Из этого документа можно сформировать и распечатать больничный лист – его печатная форма представлена на рисунке 7.

☆ Крашенинников Иван Николаевич (Врачи)

Записать и закрыть Записать Еще ▾

Фото: 

Код: 000000001

ФИО: Крашенинников Иван Николаевич

Добавить ↑ ↓ Поиск (Ctrl+F) × Еще ▾

N	Специальность
1	Фельдшер
2	Терапевт

Рисунок 4 – Форма элемента справочника «Врачи»

← → ☆ Поступление пациента в стационар 000000001 от 07.01.2026 0:00:00

Провести и закрыть Записать Провести Печать Создать на основании ▾ Еще ▾

Номер: 000000001 Дата: 07.01.2026 0:00:00

Информация о пациенте

Пациент: Белов Святослав Матвеевич Дата рождения: . . .

Данные осмотра Направления

Срочность госпитализации: ☒ Планово ☐ Экстренно

Состояние: Удовлетворительное Состояние средней тяжести Тяжелое Крайне тяжелое

Отделение: Терапевтическое отделение

Вид транспортировки: Может идти

Доставлен в состоянии алкогольного опьянения: ☐

Доставлен в состоянии наркотического опьянения: ☐

Рисунок 5 – Форма элемента справочника «Поступление пациента в стационар», вкладка Данные осмотра

← → ☆ Госпитализация 000000002 от 19.02.2026 14:31:18

Провести и закрыть Записать Провести Еще ▾

Номер: 000000002 Дата: 19.02.2026 14:31:18 Осмотр: Поступление пациента в стационар 000000002 от 21.01.2026

Пациент: Зверев Александр Данилович

Отделение: Терапевтическое отделение Источник финансирования: Средства обязательного медицинского страхования (ОМС)

Палата: Палата 1 Сопровождающий:

Ведущий врач: Тихонова Ольга Александровна Требуется ПИ: ☒

Дата госпитализации: 21.01.2026 Листок нетрудоспособности: Больничный лист №0000000005

Дата выписки: . . .

Госпитализирован число раз по данному заболеванию: 0

Показатели здоровья Диагноз Травмы Переносимость лекарств Инфекционные заболевания

Добавить ↑ ↓ Поиск (Ctrl+F) × Еще ▾

N	Вид	Доп значение	Значения
1	Анализ крови	Гемоглобин	4

Рисунок 6 – Форма элемента документа «Госпитализация», вкладка «Показатели здоровья»

Для хранения истории изменений и аналитики в системе созданы регистры сведений:

- «УчетЗаболеваний» – учёт диагнозов по отделениям и лечащим врачам;
- «УчетЛистовНетрудоспособности» – учёт выданных больничных листов по пациентам и врачам;
- «ЖурналУчетаРазмещенияПациентов» – учёт пациентов с привязкой к отделениям, палатам и периодам лечения.

Номер ЛН	000000004 выдан 09.03.2026
Наименование МО	ГУЗ СО "БГКБ" Балаково
ОГРН МО	1026401404270
ФИО пациента	Смирнова Василиса Данииловна
СНИЛС	
Период нетрудоспособности	09.03.2026-
Находился в стационаре	да
Явиться на прием	
ФИО врача	Усанов Игорь Александрович
Приступить к работе	
Статус ЛН	
Тип ЛН	первичный
Причина нетрудоспособности	

Рисунок 7 – Печатная форма больничного листа

Для анализа данных в приёмном отделении разработаны отчёты.

Отчёт «Учет Размещения Пациентов» (рис. 8) выводит список пациентов с указанием отделения, палаты, периода госпитализации и позволяет фильтровать данные по отделению и датам.

Отделение	Палата	Пациент	Регистратор	Дата госпитализации	Дата выписки
Терапевтическое отделение					
Палата 1					
		Зверев Александр Даниилович	Госпитализация 000000002 от 19.02.2026 14:31:18	21.01.2026	03.02.2026
		Белов Святослав Матвеевич	Госпитализация 000000001 от 07.01.2026 0:00:00	30.01.2026	02.02.2026
		Смирнова Василиса Данииловна	Госпитализация 000000004 от 09.03.2026 8:33:55	09.02.2026	16.02.2026
Хирургическое отделение					
Палата 2					
		Михайлов Максим Антонович	Госпитализация 000000003 от 19.02.2026 14:31:19	11.02.2026	

Рисунок 8 – Отчет «Учет Размещения Пациентов»

Отчёт «УчетЛистовНетрудоспособности» показывает список больничных листов с указанием лечащего врача и периода нетрудоспособности, с фильтрацией по пациенту и периоду госпитализации.

Отчёт «УчетЗаболеваний» предоставляет перечень диагнозов с привязкой к отделению, периоду лечения, лечащему врачу, с возможностью отбора по диагнозу,

отделению и датам.

Отчёт «ДиаграммаРазмещенияПациентов» визуализирует загрузку палат в виде диаграммы с фильтрацией по отделению и дате (рис. 9).

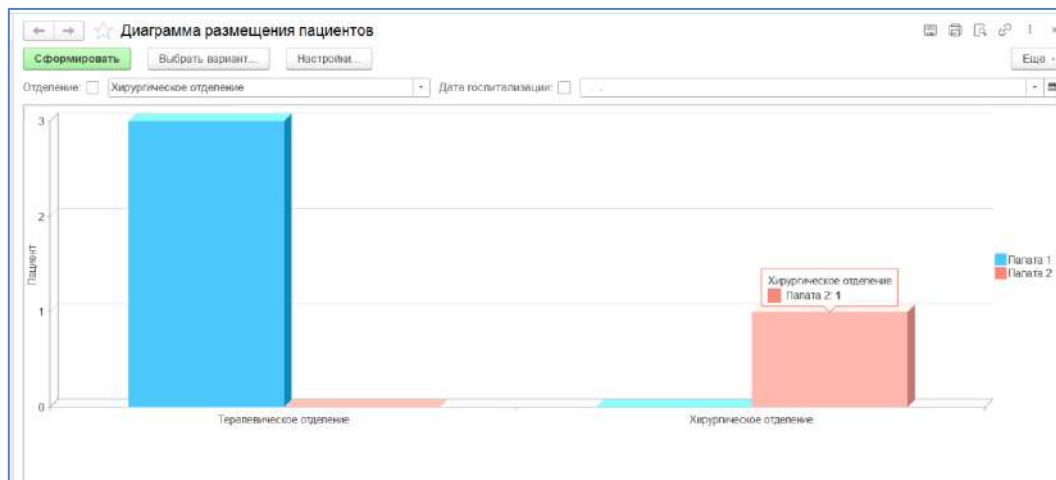


Рисунок 9 – Отчет «ДиаграммаРазмещенияПациентов»

Отчёт «ДиаграммаДиагнозов» показывает аналитику по заболеваниям в больнице в графическом виде с возможностью выбора периода (рис. 10).

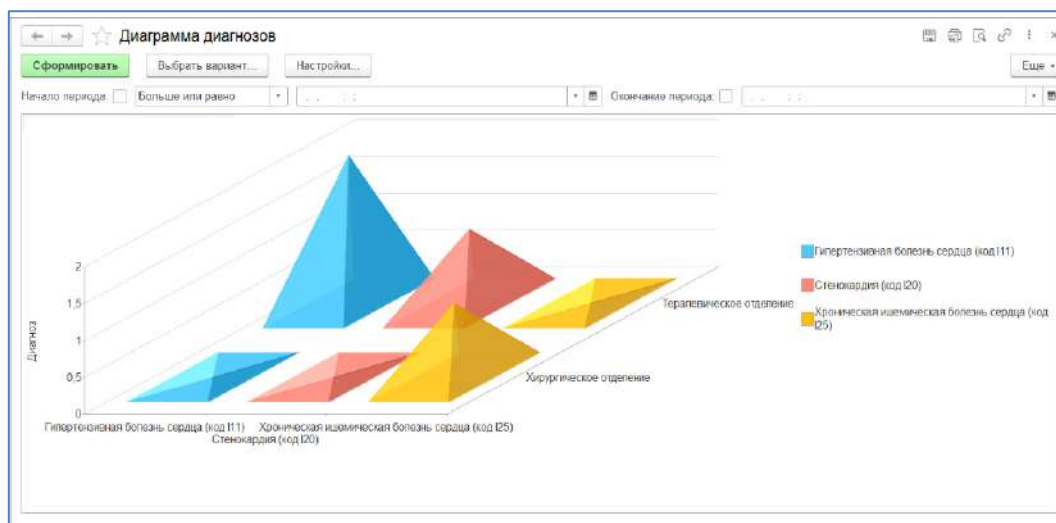


Рисунок 10 – Отчет «ДиаграммаДиагнозов»

Итогом работы стала реализация программного модуля для учёта приёма и размещения пациентов в ГУЗ СО «БГКБ». В среде «1С:Предприятие 8.3.27» созданы три роли пользователей: «ПолныеПрава», «ГлавныйВрач», «ЗавОтделения» и «ЛечащийВрач». Разработаны справочники («Пациенты», «Отделение», «Врачи», «Специальности», «Диагнозы», «СписокПалат», «ЛистыНетрудоспособности»), документы («ПоступлениеПациентаВСтационар» и «Госпитализация»), регистры сведений и перечисленные выше отчёты.

Использование данного модуля позволяет полностью автоматизировать учёт приёма и размещения пациентов, вести данные о коечном фонде, результатах осмотра и

предварительных диагнозах, быстро находить информацию о пациенте и его местоположении, а также формировать отчётность и аналитику. Всё это положительно влияет на качество медицинских услуг, предоставляемых ГУЗ СО «БГКБ».

Литература

1. Тимошевский, А.А., Жирнова, Г.М. Нормативно-правовые документы по вопросам организации здравоохранения и общественного здоровья: учебное пособие / А.А. Тимошевский, Г.М. Жирнова. – Москва : ГБУ «НИИОЗММ ДЗМ», 2024. – 68 с.
2. Рецепт клиники будущего: новый уровень эффективности с 1С по стандартам ЕГИСЗ [Электронный ресурс] // 1С: Предприятие. — URL: <https://v8.1c.ru/metod/cases/retsept-kliniki-budushchego-novyy-uroven-effektivnosti-s-1s-po-standartam-egisz.htm> (дата обращения: 13.02.2026)
3. 1С Медицина: обзор программы, возможности, цена, альтернативы, плюсы и минусы [Электронный ресурс] / Archimed.pro. – URL: <https://archimed.pro/blog/1s-meditsina-obzor-programmy-vozmozhnosti-tsena-alternativy-plyusy-i-minusy/> (дата обращения: 13.02.2026)
4. 1С Медицина: Как автоматизация бизнес процессов улучшает работу медицины [Электронный ресурс] // Time1C: блог. – URL: <https://time1c.ru/blog/obzory-programm/1s-meditsina-kak-avtomatizatsiya-protseessov-uluchshaet-rabotu-bolnitsy/> (дата обращения: 13.02.2026)
5. ГУЗ СО «БГКБ»: официальный сайт. – URL: <http://blkgb1.medportal.saratov.gov.ru/about/> (дата обращения: 23.03.2026)

УДК 004.04

Критерии анализа ИИ-сервисов для учета биоритмов деятельности обучающегося

Кислинская Анастасия Алексеевна, студент направления «Информационные системы и технологии»;

Очкур Галина Викторовна, кандидат технических наук, заведующий кафедрой
«Информационные системы и технологии»;

Виштак Ольга Васильевна, доктор педагогических наук, декан факультета повышения
квалификации и профессиональной переподготовки.

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

В статье исследуется значимость интеграции биологических ритмов в систему управления персоналом с использованием технологий искусственного интеллекта. Рассматривается влияние физических, эмоциональных и интеллектуальных циклов на

продуктивность и психофизиологическое здоровье сотрудников. Авторами проанализированы существующие типы ИИ-сервисов и выявлены ключевые проблемы их верификации в корпоративной среде. Сформулирована комплексная система критериев для оценки и выбора сервисов на базе ИИ, включающая научную валидацию, функциональную полноту, безопасность данных и возможность бесшовной интеграции. Предложенный подход направлен на минимизацию рисков десинхронизации и профессионального выгорания.

Актуальность учета биологических ритмов в контексте современной профессиональной деятельности обусловлена фундаментальной эндогенной природой циклических процессов, протекающих в человеческом организме на всех структурных уровнях. Согласно классическим и современным физиологическим исследованиям [1, 2], жизнедеятельность человека подчинена строгой иерархии ритмов, среди которых ключевое место занимают многодневные физический, эмоциональный и интеллектуальный циклы, а также циркадные ритмы [3].

Физический цикл, характеризующийся периодичностью в 23 дня, детерминирует общий энергетический потенциал организма, мышечный тонус, скорость метаболических реакций и соматическую выносливость субъекта труда.

Эмоциональный цикл, длящийся 28 дней, напрямую модулирует состояние центральной и вегетативной нервной системы, определяя психологическую адаптивность к стрессорам, уровень интуитивного восприятия и доминирующий фон настроения.

Интеллектуальный цикл с периодом в 33 дня обуславливает когнитивную эффективность, пластичность нейронных связей, объем оперативной памяти и способности к логическому синтезу информации [2].

Научные данные убедительно подтверждают, что игнорирование данных внутренних колебаний при распределении трудовой нагрузки неизбежно ведет к десинхронизации – патологическому рассогласованию эндогенных ритмов с внешними социально-производственными требованиями. В состоянии десинхронизации наблюдается критическое снижение когнитивного контроля, рост латентного времени сенсомоторных реакций и увеличение числа производственных ошибок [3].

Эмпирические исследования демонстрируют, что планирование нагрузки с учетом биоритмов позволяет повысить общую продуктивность и субъективное благополучие сотрудников в среднем на 23–24% [4]. Биоритмы являются объективным физиологическим ограничителем и ресурсом работоспособности; их игнорирование ведет к профессиональной деградации и росту рисков, в то время как учет – к статистически значимому росту эффективности деятельности [4, 5].

На современном этапе цифровой трансформации в образовании, в управлении организацией, в управлении персоналом, в мониторинге и прогнозировании биоритмов

используются сервисы на базе искусственного интеллекта (ИИ) [6, 7, 8 и др.]. Существующие технологические решения можно классифицировать по методологии сбора данных и сложности аналитических моделей.

К первой группе относятся системы, глубоко интегрированные с носимыми устройствами, такими как мультисенсорные кольца, интеллектуальные браслеты и биосенсоры. Данные устройства в непрерывном режиме аккумулируют объективные показатели: вариабельность сердечного ритма, частоту дыхательных движений, температуру кожных покровов и архитектуру сна. Алгоритмы машинного обучения преобразуют эти потоковые данные в комплексные метрики готовности организма.

Вторая группа представлена мобильными платформами предиктивной аналитики, использующими методы фотоплетизмографии для оценки вегетативного баланса и уровня стресса.

Третью, наиболее сложную группу, составляют специализированные интеллектуальные системы планирования, использующие рекуррентные нейронные сети и алгоритмы краткосрочной памяти. Эти модели анализируют корреляцию между исторической производительностью сотрудника и фазами его циклов, автоматически генерируя рекомендации по приоритизации задач: сложные аналитические операции в фазе пика и рутинные действия в периоды спада. Использование ИИ-технологий [6] позволяет трансформировать пассивное наблюдение за биоритмами в активную систему поддержки принятия решений, обеспечивая динамическую подстройку рабочих графиков под текущее физиологическое состояние субъекта.

Несмотря на экспоненциальное расширение рынка технологий мониторинга благополучия, процесс выбора конкретного ИИ-решения для корпоративного внедрения сталкивается с серьезными системными барьерами. Ключевая проблема заключается в отсутствии отраслевой стандартизации, единых протоколов верификации и крайне низкой прозрачности проприетарных алгоритмов. Стремительная коммерциализация сегмента привела к феномену «AI-washing», когда маркетинговая стратегия разработчика необоснованно эксплуатирует термин «искусственный интеллект» при полном отсутствии доказанной точности предсказаний [6]. Для организации внедрение невалидного сервиса сопряжено не только с финансовыми потерями, но и с репутационными рисками, а также вероятностью принятия ошибочных управленческих стратегий, базирующихся на статистических артефактах нейросетей. Особое беспокойство вызывают вопросы биоэтики: сбор чувствительных биометрических данных требует беспрецедентного уровня защиты, поскольку любая утечка может нанести ущерб приватности сотрудника [9].

Более того, предвзятость алгоритмов может привести к некорректной оценке лояльности или потенциала работника на основе его временного физиологического спада. В связи с этим разработка объективной многофакторной системы критериев анализа становится критическим императивом для минимизации рисков при цифровизации HR-процессов. Трудности выбора обусловлены дисбалансом между маркетинговыми обещаниями и реальной научной ценностью сервисов, что требует жесткой методологической фильтрации инструментов перед их внедрением в рабочую среду.

Комплексная система критериев анализа ИИ-сервисов должна базироваться на конвергенции медицинских стандартов оценки ПО и принципов разработки доверенного ИИ. Фундаментальным критерием выступает научная и клиническая валидация: разработчик обязан подтвердить точность моделей через сравнительные исследования с «золотыми стандартами» физиологии. Как отмечается в обзорах [6], лишь около 7,6% приложений имеют верифицированную доказательную базу в рецензируемых журналах.

Вторым критерием является функциональная глубина и интерпретируемость: ИИ должен предоставлять не просто индексы, а персонализированные информационные блоки с конкретными рекомендациями по оптимизации нагрузки.

Технологический критерий подразумевает оценку адаптивности: ИИ должен поддерживать непрерывное обучение на основе индивидуальной обратной связи для учета уникальных адаптационных способностей каждого человека.

Спектр безопасности включает проверку на соответствие стандартам защиты данных и прозрачность логики принятия решений. Стоимостной критерий требует анализа совокупной стоимости владения и прозрачности модели монетизации.

Наконец, критерий интеграции определяет, насколько сервис синхронизируется с корпоративными календарями, не создавая избыточной когнитивной нагрузки и не требуя от сотрудников значительных временных затрат на ручной ввод данных. Подобная система критериев позволяет провести многомерный аудит ИИ-решения, гарантируя его технологическую надежность, этическую безопасность и высокую прагматическую ценность для повышения продуктивности персонала.

В заключение необходимо подчеркнуть, что интеграция ИИ-сервисов для учета биоритмов представляет собой наиболее перспективный вектор развития современной эргономики и управления человеческим капиталом. Переход от реактивной модели управления стрессом к проактивной биосинхронизированной стратегии позволяет организациям создать гуманистическую рабочую среду, уважающую биологические

границы человека.

Применение строгого научного подхода к анализу ИИ-решений минимизирует риск технологического разочарования и гарантирует, что инновации станут инструментом реального приращения человеческого потенциала. Синергия между физиологическими потребностями организма и предиктивной мощностью алгоритмов открывает путь к созданию интеллектуальных рабочих мест нового типа. В долгосрочной перспективе это приведет к формированию автономных экосистем, способных в режиме реального времени корректировать параметры производственной среды и интенсивность задач, обеспечивая оптимальный баланс между достижением бизнес-целей и восстановлением жизненных ресурсов человека.

Литература

1. Сбитнева, О.А. Биоритмы и их воздействие на физиологические процессы и работоспособность студентов / О.А. Сбитнева // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2021. – Т. 6, ч. 1. – С. 109–112.
2. Кузнецов, Ю.Ф. Биоритмы человека: физический, эмоциональный и интеллектуальный / Ю.Ф. Кузнецов. – Москва : Амрита-Русь, 2006. – 384 с.
3. Цхай, А.С. Влияние планирования деятельности с учетом биоритмов на её эффективность / А.С. Цхай // Студенческая наука – 2022: материалы всероссийского научного форума студентов с международным участием. – Санкт-Петербург: ГПМУ, 2022. – С. 419.
4. Шливко, И.Л. Искусственный интеллект: как работает и критерии оценки / И.Л. Шливко, О.Е. Гаранина, И.А. Клеменова [и др.] // Consilium Medicum. – 2021. – Т. 23, № 8. – С. 630–637.
5. Биологические ритмы: в 2 т. / под ред. Ю. Ашоффа. – Москва : Мир, 1984. – Т. 1. – 407 с.; Т. 2. – 262 с.
6. Гайворонская, Н.Г. Исследование возможности повышения качества жизни человека посредством изучения его биоритмов / Н.Г. Гайворонская, Я.В. Пугачев, И.Н. Пугачева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 11–2. – С. 196–200.
7. Никольский, А.Г., Виштак, О.В., Очкур, Г.В., Виштак, Н.М. Искусственный интеллект как инструмент изучения программирования / А.Г. Никольский, О.В.Виштак, Г.В. Очкур, Н.М. Виштак // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 2. – С. 191-197.
8. Федотов, К.И. Искусственный интеллект в управлении организацией: методы и особенности в контексте цифровой трансформации / К.И. Федотов

9. Губин, Г.Д. Суточные ритмы биологических процессов и их адаптивное значение в онто- и филогенезе позвоночных / Г.Д. Губин, Е.Ш. Герловин. – Новосибирск: Наука, 1980. – 278 с.

УДК 378:004.946

Иммерсивные технологии (VR/AR) в профессиональном образовании: практика внедрения и перспективы для подготовки кадров атомной отрасли

¹Кожанова Анна Александровна, студент специальности

«Ядерные реакторы и материалы»;

²Селиванова Светлана Евгеньевна, старший преподаватель кафедры
информационных технологий

^{1,2}Димитровградский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Димитровград

В статье рассматриваются вопросы применения иммерсивных технологий (виртуальной и дополненной реальности) в системе профессионального образования в контексте перехода к цифровой экономике. Проведен анализ понятий технологий VR и AR, определено их место в концепции «Образование 4.0». На основе обобщения практического опыта внедрения в медицине и промышленности выделены ключевые преимущества иммерсивных тренажеров. Особое внимание уделено кейсам использования VR-симуляторов при подготовке специалистов для атомной отрасли. Систематизированы технологические, экономические и методические барьеры, препятствующие массовому распространению технологий, и обозначены перспективные направления их развития в высокотехнологичных секторах экономики.

Современный этап развития общества характеризуется глубокой трансформацией экономики под влиянием цифровых технологий. Переход к Индустрии 4.0 предъявляет принципиально новые требования к системе подготовки кадров. Если ранее задачей профессионального образования являлась передача суммы стандартизированных знаний на всю жизнь, то сегодня цифровая экономика нуждается в специалистах, способных быстро адаптироваться к высокотехнологичному оборудованию и действовать в нестандартных ситуациях. Традиционные методы обучения, такие как лекции, устаревшие тренажеры и обучение в условиях реального производства не обеспечивают необходимого уровня погружения, либо сопряжены с высокими издержками и рисками.

В этих условиях особую актуальность приобретают иммерсивные технологии – виртуальная (VR) и дополненная (AR) реальность. Они позволяют создать

искусственную среду для взаимодействия с цифровыми объектами как с реальными. В профессиональном образовании это открывает качественно новые возможности. Например, будущий хирург может провести серию виртуальных операций до реального вмешательства, инженер – отработать аварию на буровой установке без угрозы катастрофы, а оператор ядерной установки – сформировать навыки действий в условиях радиационной опасности, не покидая учебной лаборатории.

Научная разработанность темы находится на этапе становления. Зарубежные исследования накопили значительную базу данных об эффективности технологий VR/AR в медицине и промышленности. В России также растет интерес к проблематике, о чем свидетельствуют кейсы внедрения отечественных VR-разработок в госкорпорациях («Росатом», «РЖД») и ведущих вузах. Тем не менее, методика преподавания с использованием иммерсивных сред и их долгосрочное влияние на формирование профессиональных компетенций требуют дальнейшего осмысления.

Целью данной статьи является комплексный анализ применения технологий VR и AR в профессиональном образовании, выявление их преимуществ, а также определение основных проблем и перспектив внедрения в подготовку специалистов высокотехнологичных отраслей (на примере атомной энергетики).

Переход к цифровой экономике сопровождается коренной перестройкой всех сфер общественной жизни, включая систему образования. В рамках концепции «Индустрия 4.0» формируется новый подход к подготовке кадров, получивший название «Образование 4.0» [1]. Его ключевыми принципами выступают персонализация обучения, ориентация на практические навыки, использование цифровых симуляций и технологий виртуальной и дополненной реальности для погружения в профессиональную среду.

Под иммерсивными технологиями в образовании понимают совокупность аппаратных и программных средств, позволяющих моделировать реалистичную среду профессиональной деятельности и обеспечивающих интерактивное взаимодействие обучающегося с виртуальными объектами. Наибольшее распространение в профессиональном обучении получили виртуальная реальность (VR) и дополненная реальность (AR).

Виртуальная реальность представляет собой полностью искусственную цифровую среду, создаваемую с помощью компьютерного моделирования. Пользователь погружается в эту среду через специальные устройства – шлемы виртуальной реальности, которые блокируют визуальный и звуковой контакт с реальным миром, заменяя его трёхмерным изображением и пространственным звуком. В

профессиональном образовании VR применяется прежде всего для отработки действий в условиях, которые невозможно или небезопасно воспроизвести в учебной аудитории.

Дополненная реальность функционирует по иному принципу. Она не заменяет реальный мир, а накладывает на него цифровые слои информации – трёхмерные модели, схемы, подсказки, анимацию. Пользователь видит физическое окружение через камеру смартфона, планшета или очков дополненной реальности, а поверх изображения выводятся дополнительные данные. AR решает задачу интеграции теоретических знаний в практическую деятельность непосредственно на рабочем месте. Ключевые различия между VR и AR в образовательном контексте сведены в таблице 1. Таблица 1 – Сравнительная характеристика технологий VR и AR в профессиональном обучении

Критерий сравнения	Виртуальная реальность (VR)	Дополненная реальность (AR)
Степень погружения	Полное погружение, изоляция от реального мира	Частичное, реальный мир остаётся видимым
Тип среды	Полностью цифровая, смоделированная	Физическая среда с цифровыми слоями
Необходимое оборудование	VR-гарнитура (шлем), контроллеры, системы трекинга	Смартфон, планшет, очки дополненной реальности
Основная педагогическая задача	Отработка навыков в опасных или недоступных условиях	Визуализация информации и поддержка на рабочем месте
Уровень мобильности	Ограничен зоной действия датчиков	Высокий, не привязан к конкретному месту
Примеры применения в атомной отрасли	Тренажёр аварийной ситуации в реакторном зале; виртуальная тепловыделяющая сборка (ТВС)	Визуализация схемы коммуникаций при обходе оборудования; AR-подсказки при ремонте
Перспективы развития	Интеграция с AI для адаптивных сценариев; улучшение тактильной обратной связи	Развитие смешанной реальности (MR); интеграция с AI-ассистентами

Внедрение иммерсивных технологий в профессиональное образование коррелирует с общемировыми трендами цифровизации. По данным отраслевых исследований, объём мирового рынка иммерсивного обучения в 2024 году составил 11,9 млрд долларов США, а прогнозируемый среднегодовой темп роста на период 2025-2034 годов достигает 22,4 % [2]. В качестве основных драйверов выступают снижение стоимости VR/AR-оборудования, развитие платформ для создания образовательного контента и интеграция алгоритмов искусственного интеллекта, обеспечивающих адаптацию учебных сценариев под индивидуальные потребности обучающихся.

Теоретический потенциал VR/AR-технологий находит всё более широкое подтверждение в реальной образовательной практике. В медицине, промышленности и атомной энергетике иммерсивные решения уже перешли из стадии экспериментов в разряд действующих инструментов подготовки кадров.

Медицинское образование одним из первых освоило применение иммерсивных симуляций в учебном процессе. В российской практике данное направление активно

развивает Институт инновационного развития Самарского государственного медицинского университета (ИИР СамГМУ), специалисты которого разрабатывают VR-тренажеры для отработки хирургических навыков и действий при неотложных состояниях. Накопленный институтом опыт впоследствии был адаптирован для корпоративного обучения в организациях транспортного и энергетического секторов (ОАО «РЖД», ПАО «Газпром») [3].

Промышленный сектор относится к числу направлений, активно осваивающих применение VR/AR-тренажеров. В российской практике накоплен опыт внедрения цифровых платформ, объединяющих библиотеки иммерсивных симуляторов для отработки навыков в области охраны труда, управления техникой и производственной безопасности [4]. Мировой опыт также свидетельствует о востребованности данных технологий: в частности, технологии дополненной реальности интегрированы в программы подготовки сварщиков в Новой Зеландии, что позволило сократить расход материалов и повысить безопасность обучения на начальных этапах [5].

Атомная энергетика предъявляет повышенные требования к качеству подготовки персонала. В НИЯУ МИФИ с 2018 года функционирует лаборатория, объединяющая методы ядерно-физического моделирования с инструментарием виртуальной и дополненной реальности. Специалистами лаборатории созданы виртуальные аналоги подкритических сборок (уран-графитовой и уран-водной), а также ведётся разработка VR-симулятора исследовательского реактора ИРТ МИФИ. Созданные VR-лабораторные работы прошли апробацию и были переданы в Дальневосточный федеральный университет для использования в учебном процессе [6].

Особый интерес представляет опыт разработки VR-тренажёра участка сборки и контроля тепловыделяющих сборок (ТВС) для реакторной установки БРЕСТ-ОД-300. Тренажёр реализован в среде Unity с использованием очков виртуальной реальности Oculus Rift S и включает моделирование следующих технологических операций: отмывка и сушка ТВС, контроль герметичности, контроль поверхностной загрязнённости, контроль массы и входимости ТВС в стапель, а также контроль геометрии. Архитектура тренажёра предусматривает вывод изображения на монитор инструктора, что позволяет отслеживать действия обучаемого и задавать необходимые сценарии в реальном времени [7]. Данный пример демонстрирует эффективность применения VR-технологий для отработки сложных производственных операций в условиях, максимально приближенных к реальным.

Анализ практического опыта демонстрирует высокий потенциал VR/AR-технологий, однако их широкое внедрение сдерживается рядом препятствий.

Технологические ограничения связаны с несовершенством аппаратной базы. Длительное пребывание в виртуальной среде может вызывать «симуляционную болезнь» – головокружение, тошноту, зрительное утомление. Согласно имеющимся данным, с этими симптомами сталкиваются до 65 % пользователей, причём почти у четверти из них проявления носят выраженный характер [8].

Экономические барьеры остаются одним из главных препятствий для массового внедрения. Несмотря на общее снижение стоимости, профессиональное VR-оборудование по-прежнему требует значительных вложений. По оценкам участников российского рынка, автономные VR-гарнитуры, пригодные для образовательных задач, находятся в ценовом диапазоне 30-40 тысяч рублей за единицу, а модели профессионального сегмента могут стоить 150-200 тысяч рублей и выше [9].

Помимо технологических и экономических ограничений, внедрение VR/AR-технологий сдерживается методическими и кадровыми барьерами. Ключевая проблема – дефицит готовых методических решений и апробированных педагогических сценариев, что подтверждается данными глобальных наукометрических исследований, указывающих на ограниченную интеграцию VR в существующие учебные планы. Серьёзным вызовом является и необходимость подготовки преподавателей: образовательные организации сталкиваются с нехваткой технической экспертизы и трудностями при адаптации иммерсивного контента под конкретные задачи [10].

Перспективы развития иммерсивных технологий в профессиональном образовании связаны с несколькими ключевыми направлениями. Во-первых, ожидается дальнейшее снижение стоимости VR/AR-оборудования при одновременном росте его функциональных возможностей, что сделает технологии доступными для более широкого круга образовательных организаций. Во-вторых, важным трендом становится интеграция VR/AR-систем с технологиями искусственного интеллекта, так как AI-алгоритмы позволяют в реальном времени анализировать действия обучающегося, адаптировать сложность заданий и формировать персонализированные траектории обучения [10].

В-третьих, развитие технологий смешанной реальности (MR), объединяющей преимущества виртуальной и дополненной реальности, открывает новые возможности для подготовки специалистов технического профиля. MR-решения позволяют сочетать взаимодействие с реальным оборудованием и цифровыми подсказками, что особенно востребовано в таких высокотехнологичных отраслях, как атомная энергетика. Примером подобного подхода может служить VR-тренажёр участка сборки и контроля ТВС для реакторной установки БРЕСТ-ОД-300, в архитектуре которого предусмотрена

возможность вывода изображения на монитор инструктора для контроля и корректировки действий обучаемого в реальном времени [7].

Таким образом, технологии VR и AR представляют собой закономерный этап эволюции образовательных инструментов, отвечающий запросам Индустрии 4.0 и концепции «Образование 4.0».

Рассмотренные кейсы из медицины, промышленности и атомной энергетики подтверждают, что VR/AR-тренажёры наиболее востребованы там, где обучение сопряжено с высокими рисками либо требует доступа к уникальному дорогостоящему оборудованию. Обобщение практики показало, что эффект от внедрения носит комплексный характер: фиксируются рост концентрации внимания, увеличение запоминаемости материала и сокращение числа ошибок в реальной деятельности.

Перспективы развития иммерсивных технологий связаны со снижением стоимости устройств, интеграцией с искусственным интеллектом и развитием смешанной реальности, что особенно актуально для подготовки кадров в высокотехнологичных отраслях.

При этом существует ряд факторов, которые сдерживают массовое внедрение таких технологий. К ним относятся технологические ограничения (симуляционная болезнь), экономические препятствия (высокая стоимость профессионального оборудования) и методические трудности (дефицит готовых сценариев и недостаточная подготовка преподавателей).

В настоящее время иммерсивные технологии становятся базовым инструментом модернизации профессионального образования, и по мере преодоления существующих барьеров их роль будет неуклонно возрастать, особенно в подготовке специалистов для атомной энергетики.

Литература

4. Абрамовский, А.Л. Образование 4.0 в информационном обществе: возможности, технологии и компоненты, риски и вызовы / А.Л. Абрамовский, Д.А. Абрамовский, М.Л. Белоножко // Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 7–20.
5. Immersive Training Market Size & Share, Growth Report 2034. – Global Market Insights, February 2025. – URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/immersive-training-market> (дата обращения: 22.03.2026).
6. Применение VR-технологий ИИР СамГМУ в обучении на предприятиях // Институт инновационного развития СамГМУ. – URL: <https://smuit.ru/news/kak-vr-tekhnologii-transformiruyut-obuchenie-na-predpriyatiyah/> (дата обращения: 22.03.2026).

7. История успеха проекта «Сноровка PRO» // Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского. – URL: https://polaruniversity.ru/news/obshchestvo/istoriya_uspekha_proekta_snorovka_pro_/ (дата обращения: 22.03.2026).
8. Welding the Future: Augmented Reality in Apprenticeship Training. Case Study / ConCOVE Tūhura. – New Zealand, 2025. – URL: <https://www.cgf.org.nz/resources/case-study-welding-the-future-augmented-reality-in-apprenticeship-training> (дата обращения: 26.03.2026).
9. Ядерная физика в виртуальной реальности // Институт ядерной физики и технологий НИЯУ МИФИ. – Июль 2021. – URL: <https://inphe.mephi.ru/node/18820> (дата обращения: 26.03.2026).
10. Толоконский, А.О. Визуализация участка сборки и контроля ТВС РУ БРЕСТ-ОД-300 с использованием технологий виртуальной реальности / А.О. Толоконский, Д.Г. Ковалёнок // Научная визуализация. – 2025. – Т. 17, № 2. – С. 23–35.
11. Garrido, L.E., Focusing on cybersickness: pervasiveness, latent trajectories, susceptibility, and effects on the virtual reality experience / L.E Garrido, M. Frías-Hiciano, M. Moreno-Jiménez [et al.] // Virtual Reality. – 2022. – Vol. 26, № 4. – P. 1347–1371.
12. Негачев, К. Разработка AR/VR в России: мифы, сложности, реальность/ К. Негачев // Инвест-Форсайт. – 2025. – 6 мая. – URL: <https://www.if24.ru/razrabotka-ar-vr-v-rossii/> (дата обращения: 26.03.2026).
13. Samala, A.D. Virtual Reality in Education: Global Trends, Challenges, and Impacts – Game Changer or Passing Trend? / A.D. Samala, S. Rawas, S. Rahmadika [et al.] // Discover Education. – 2025. – Vol. 4. – Article № 45.

УДК 004.8

Локальное развертывание эффективных языковых моделей с использованием технологии RAG

Конев Дмитрий Олегович, студент направления

«Информационные системы и технологии»;

Подгорнов Александр Александрович, кандидат физико-математических наук, доцент
кафедры «Физики и естественнонаучных дисциплин»;

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

В статье рассматривается технология RAG (Retrieval-Augmented Generation), объединяющая языковые модели с поиском по внешним источникам для работы с актуальными и конфиденциальными данными. Описаны компоненты системы, такие

как языковая модель, векторное хранилище, эмбединги, а также этапы обработки запросов и особенности локального развертывания. Подчёркиваются преимущества изоляции данных, контроля над инфраструктурой, а также практические ограничения: вычислительные затраты, качество поиска, проблема «галлюцинаций». Приведены примеры применения в корпоративных базах знаний и техподдержке.

Retrieval-Augmented Generation (RAG) – это архитектурный подход к созданию генеративных моделей, который объединяет функции поиска и генерации текста с использованием больших языковых моделей (LLM). Концепция RAG была впервые предложена в 2020 году с целью преодолеть ограниченность моделей знаниями, полученными из обучающих данных [1].

Процесс ответа RAG-системы включает в себя два основных этапа: сначала система ищет документы или их фрагменты, наиболее соответствующие запросу пользователя, а затем применяет эту информацию для формирования точного и обоснованного ответа [1]. Данный метод позволяет модели использовать не только собственные внутренние знания, накопленные в процессе обучения, но и внешние данные из сформированной базы знаний [2].

Ключевыми компонентами RAG-системы выступают языковая модель, отвечающая за генерацию связного текста, векторное хранилище, оптимизированное для быстрого семантического поиска, а также система эмбедингов, преобразующая текст в многомерные числовые векторы. Благодаря эмбедингам система способна находить не только точные лексические совпадения, но и контекстно близкие материалы, что делает поиск гораздо более гибким [1]. Завершает архитектуру интерфейс взаимодействия, который связывает все компоненты воедино и обеспечивает обработку пользовательских запросов.

Последовательность операций в RAG-системе выстраивается из трех логических этапов. На стадии подготовки данных система загружает документы, разбивает их на смысловые фрагменты оптимального размера и вычисляет для каждого фрагмента эмбединг, формируя таким образом «базу знаний» в векторном формате [1]. Когда поступает пользовательский запрос, запускается этап обработки: вопрос преобразуется в вектор, сопоставляется с векторами в хранилище с использованием метрик близости, например косинусного расстояния, после чего извлекаются наиболее релевантные фрагменты. Отобранные данные структурируются в единый контекст, дополняясь инструкцией для модели. На финальном этапе языковая модель анализирует этот контекст вместе с исходным вопросом и генерирует ответ, который затем может проходить постобработку для улучшения читаемости и точности.

Основными компонентами RAG-системы являются:

1. Языковая модель (LLM): отвечает за генерацию связного и контекстуально уместного текста на основе полученного промпта.

2. Векторное хранилище: специализированная база данных, оптимизированная для быстрого семантического поиска и хранения векторных представлений документов.

3. Система эмбедингов: модель, преобразующая текстовые фрагменты (как документы, так и запросы) в многомерные числовые векторы, отражающие их семантическое значение.

4. Интерфейс взаимодействия: программный слой, который координирует работу всех компонентов, управляя потоком от получения запроса до выдачи финального ответа.

Логический конвейер обработки запроса в RAG-системе состоит из трех последовательных этапов:

1. Подготовка данных (индексирование): загрузка документов, их предобработка (очистка текста), разбиение на смысловые фрагменты (чанки) оптимального размера (рекомендуется 200-500 токенов) и вычисление их эмбедингов для последующего помещения в векторное хранилище.

2. Обработка запроса (Retrieval): преобразование пользовательского вопроса в вектор, семантический поиск в хранилище по метрике косинусной близости и извлечение N наиболее релевантных фрагментов. Эти фрагменты затем объединяются в структурированный контекст для языковой модели.

3. Генерация ответа (Generation): языковая модель получает исходный запрос, обогащенный найденным контекстом, и генерирует финальный ответ, который может подвергаться постобработке (форматирование, проверка на соответствие контексту).

Для локального внедрения перспективной является схема, при которой ключевые компоненты работают в изолированном от внешних сетей окружении [2]. В данной конфигурации языковая модель создаёт итоговый ответ, а векторное хранилище действует как «интеллектуальная память» для хранения векторизованных данных. Для подключения языковых моделей используются библиотеки Hugging Face, а для обработки текста применяют специализированные инструменты, такие как spaCy, или встроенные токенизаторы моделей.

Главное преимущество такой архитектуры заключается в том, что после первоначальной загрузки весов модели ей больше не нужно постоянное подключение к интернету, поскольку все операции выполняются на внутренних серверах компании [2]. Полная изоляция обеспечивает защиту конфиденциальных данных, которые никогда не покидают корпоративную инфраструктуру. Администратор имеет возможность

детально контролировать версии моделей, политику безопасности и распределение вычислительных ресурсов.

Процесс создания системы включает несколько ключевых шагов:

1. Подготовка среды: установка Python, создание виртуального окружения, установка необходимых библиотек (transformers, torch, библиотеки для векторного поиска, например FAISS или Chroma).

2. Выбор и загрузка моделей: выбор подходящей языковой модели (например, семейства Llama, Mistral) и модели для создания эмбеддингов (например, BERT, sentence-transformers) из локального кэша или корпоративного репозитория.

3. Подготовка и индексирование данных: загрузка корпоративных документов, их очистка и разбиение на чанки с добавлением метаданных для повышения релевантности. Вычисление эмбеддингов и их сохранение в векторной базе данных.

4. Интеграция компонентов: разработка или настройка кода, который соединит векторный поиск и языковую модель, реализуя полный конвейер RAG.

5. Тестирование и валидация: проверка системы на тестовых запросах для оценки качества поиска и генерации, итеративная настройка параметров (стратегия чанкинга, количество извлекаемых фрагментов, промптинга).

Эффективность локально развернутой RAG-системы оценивается по ряду параметров. Точность ответов показывает, насколько релевантны генерируемые результаты, время отклика демонстрирует скорость работы системы, а производительность оценивается по множеству параметров, включая загрузку ресурсов и масштабируемость. Локальное развертывание обеспечивает тщательный контроль над этими параметрами, поскольку не зависит от внешних сетевых задержек и непредсказуемых ограничений API.

При внедрении RAG на локальном уровне необходимо учитывать ряд ограничений:

- Качество поиска: напрямую зависит от релевантности найденных фрагментов. Неудачная стратегия чанкинга или слабая модель эмбеддингов может привести к получению неверного контекста и, как следствие, ошибочному ответу.

- Вычислительные затраты: запуск современных языковых моделей на локальных серверах требует значительных ресурсов (GPU, оперативная память), что увеличивает как капитальные, так и операционные расходы.

- Актуальность базы знаний: поддержание базы знаний в актуальном состоянии требует повторного индексирования документов при их изменении, что может быть ресурсоемким процессом.

- Проблема «галлюцинаций»: хотя RAG снижает вероятность генерации ложной информации, модель все равно может проигнорировать контекст или дополнить его некорректными данными. Для борьбы с этим применяются методы переранжирования результатов, строгие инструкции в промпте и оценка достоверности ответа.

Локальное развёртывание RAG-систем открывает новые возможности для бизнеса, особенно в сферах, требующих работы с конфиденциальной информацией:

- Корпоративные базы знаний: объединение разрозненных инструкций, политик, технической документации и FAQ в единую интеллектуальную справочную систему, доступную для сотрудников.

- Техническая поддержка: создание умного помощника для операторов поддержки, способного мгновенно находить решения проблем во внутренней базе документов и генерировать подробные ответы для клиентов.

Ключевые преимущества данного подхода включают:

1. Защиту данных: конфиденциальная информация обрабатывается и хранится исключительно в пределах защищенной корпоративной инфраструктуры, минимизируя риски утечек.

2. Автономность и контроль: система функционирует независимо от внешних сервисов и интернет-соединения, обеспечивая бесперебойную работу и полный контроль над всеми компонентами, их версиями и настройками.

3. Экономическую целесообразность: при высоких объемах запросов единовременные затраты на инфраструктуру могут оказаться более выгодными по сравнению с постоянной оплатой облачных API-вызовов.

В заключение следует отметить, что архитектура RAG представляет собой эффективное сочетание современных технологий, таких как языковые модели, векторное хранение данных и системы эмбедингов. Локальное развёртывание таких систем позволяет создавать интеллектуальные решения, способные обрабатывать огромные объемы информации в режиме реального времени и полностью настраиваемые под специфические нужды конкретной организации. Этот подход кардинально меняет работу с данными в бизнесе. Он позволяет повысить эффективность обработки информации и принятия обоснованных решений на основе актуальных и проверенных данных, за счёт отказа от заранее заложенных ответов в пользу динамической генерации с опорой на внутренние документы компании. Несмотря на существующие технические и ресурсные ограничения, потенциал локальных RAG-систем для создания безопасных и автономных интеллектуальных ассистентов является высоким и продолжает стимулировать дальнейшие исследования

и разработки в этой области.

Литература

1. Куцев, Р. Retrieval-Augmented Generation (RAG): глубокий технический обзор [Электронный ресурс] / Р. Куцев // Habr. – URL: <https://habr.com/ru/articles/931396/> (дата обращения: 13.04.2026).
2. Душкин, Р.В. Генеративный искусственный интеллект : руководство / Р.В. Душкин. – Москва : ДМК Пресс, 2025. – 228 с.

УДК 004.04

Проектирование программного модуля информационной поддержки социологических исследований

¹Копналина Алина Денисовна, студент направления
«Информационные системы и технологии»;

²Виштак Наталья Михайловна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры
«Информационные системы и технологии»

^{1,2}Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

В статье рассматриваются вопросы проектирования программного модуля информационной поддержки социологических исследований (ПМ ИПСИ). Особое внимание уделяется применению объектно-ориентированного подхода и языка UML для формализации структуры системы, моделирования функциональных возможностей и описания динамики процессов. Представлены основные диаграммы, позволяющие отразить взаимодействие пользователей с системой, последовательность выполнения операций, жизненный цикл объектов и архитектуру программного модуля.

В современных условиях развития цифровых технологий наблюдается активное внедрение информационных систем в различные сферы деятельности, включая социологические исследования. Использование программных решений позволяет значительно повысить эффективность сбора, обработки и анализа данных, а также сократить временные и трудовые затраты.

Одним из ключевых этапов разработки информационной системы является проектирование, в рамках которого формируется архитектура системы, определяются её компоненты и описываются сценарии взаимодействия пользователей с программным продуктом [1].

В качестве основного инструмента моделирования используется язык UML,

позволяющий описать как статические, так и динамические аспекты функционирования системы. Применение UML обеспечивает наглядность представления структуры системы и способствует более точной реализации требований [4, 7 и др.].

Проектирование ПМ ИПСИ основывается на объектно-ориентированном подходе, который предполагает представление системы в виде совокупности взаимосвязанных объектов. Каждый объект обладает определённым состоянием и поведением, что позволяет моделировать сложные системы с высокой степенью детализации.

Данный подход обеспечивает ряд преимуществ, среди которых можно выделить модульность, повторное использование компонентов и гибкость при изменении требований. Благодаря этому система может быть легко расширена или модифицирована без значительных изменений её структуры [4].

В рамках объектно-ориентированного моделирования выделяются основные сущности системы, их свойства и методы, а также устанавливаются связи между ними. Это позволяет сформировать логическую модель системы, которая служит основой для её последующей реализации [1].

Для формализации функциональных возможностей программного модуля была разработана диаграмма вариантов использования (рисунок 1).

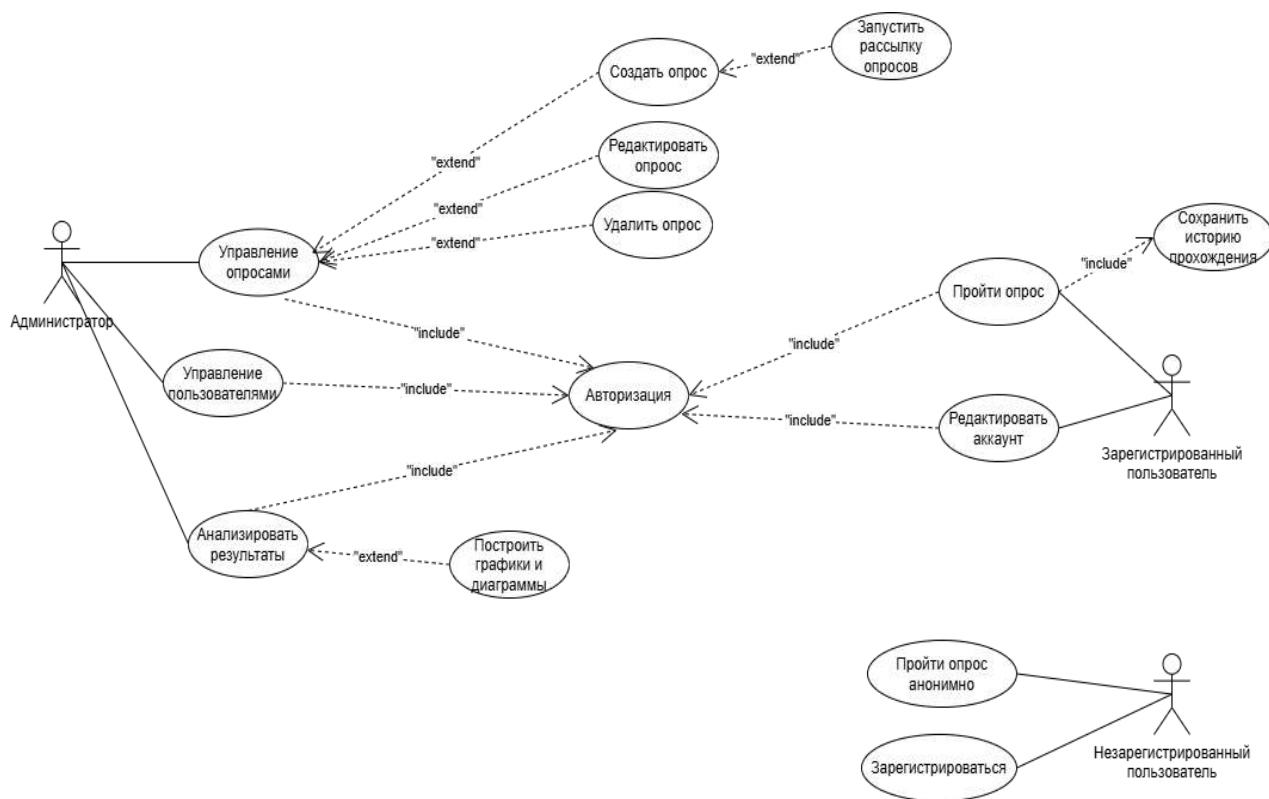


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования взаимодействия пользователей с системой

Диаграмма вариантов использования отражает взаимодействие пользователей с системой и позволяет определить перечень предоставляемых ею функций. Она

является важным инструментом на этапе анализа требований, так как позволяет определить границы системы и её функциональное назначение [3].

В ходе моделирования были выделены основные актеры системы: администратор, зарегистрированный пользователь и анонимный пользователь. Каждый из них взаимодействует с системой в рамках определённых сценариев.

Администратор является ключевым участником системы, поскольку выполняет функции создания и управления опросами, инициирует рассылку и осуществляет анализ полученных результатов. Зарегистрированный пользователь взаимодействует с системой посредством прохождения опросов и имеет доступ к истории своей активности. Анонимный пользователь также может участвовать в опросах, однако его данные не привязываются к учетной записи.

Таким образом, диаграмма вариантов использования позволяет получить общее представление о функциональной структуре системы и определить основные сценарии её использования.

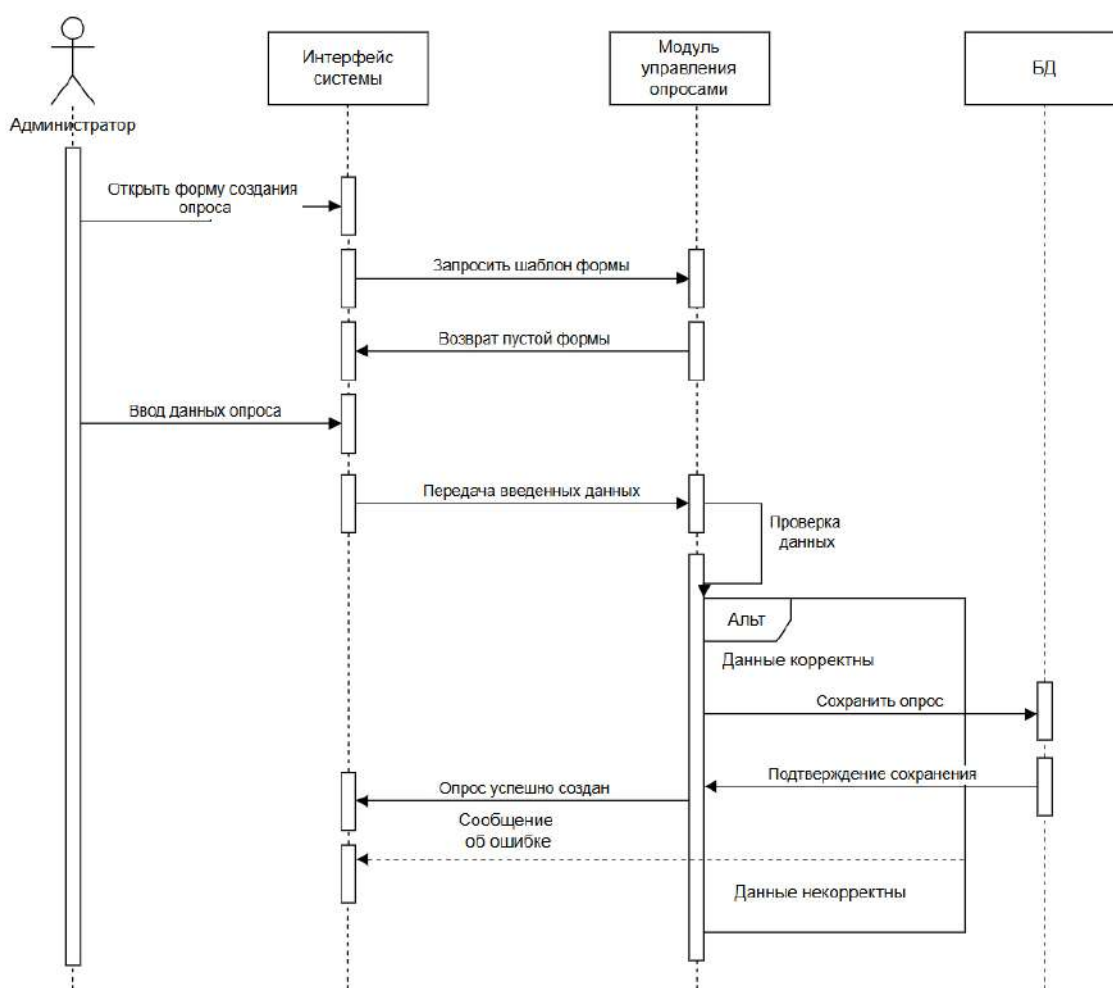


Рисунок 2 – Диаграмма последовательности процесса выполнения ключевых операций

Для более детального анализа работы системы была разработана диаграмма последовательности, отражающая процесс выполнения ключевых операций (рис. 2).

Диаграмма последовательности демонстрирует порядок взаимодействия между компонентами системы во времени. Она позволяет отразить последовательность сообщений, передаваемых между объектами, и определить логику выполнения операций [6].

В рамках рассматриваемого сценария процесс начинается с инициирования пользователем действия по созданию опроса. После этого система предоставляет форму для ввода данных, которая заполняется пользователем. Далее введенная информация передаётся на сервер, где выполняется её проверка.

В случае успешной валидации данные сохраняются в базе данных, после чего пользователю отображается сообщение об успешном выполнении операции. В противном случае система возвращает сообщение об ошибке, позволяя пользователю скорректировать введенные данные.

Использование диаграммы последовательности позволяет выявить логические связи между компонентами системы и определить последовательность выполнения операций.

Для анализа поведения системы во времени была разработана диаграмма состояний, описывающая жизненный цикл объекта «опрос» (рисунок 3).

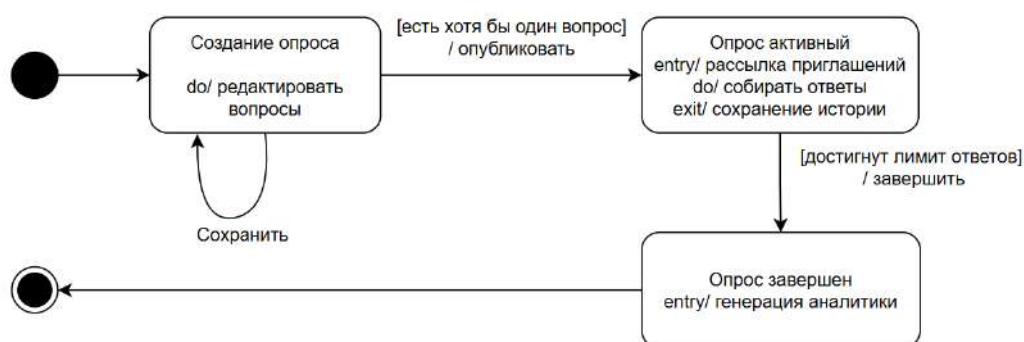


Рисунок 3 – Диаграмма состояний, описывающая жизненный цикл объекта «опрос»

Диаграмма состояний позволяет отразить изменения состояния объекта в процессе его функционирования. Она является важным инструментом для анализа поведения системы, так как позволяет определить возможные состояния объекта и условия перехода между ними [2].

В рассматриваемой системе объект «опрос» проходит несколько последовательных состояний. На начальном этапе осуществляется создание опроса, в ходе которого формируется его структура и содержание. После завершения данного этапа опрос переводится в активное состояние, в котором становится доступным для прохождения пользователями.

В процессе активного состояния система выполняет сбор ответов и обновляет

статистические данные. По завершении опроса осуществляется переход в финальное состояние, в котором выполняется анализ результатов.

Таким образом, диаграмма состояний позволяет описать поведение системы и определить логику перехода между этапами жизненного цикла.

Для описания структуры программного модуля была разработана диаграмма компонентов, отражающая архитектуру системы (рисунок 4).

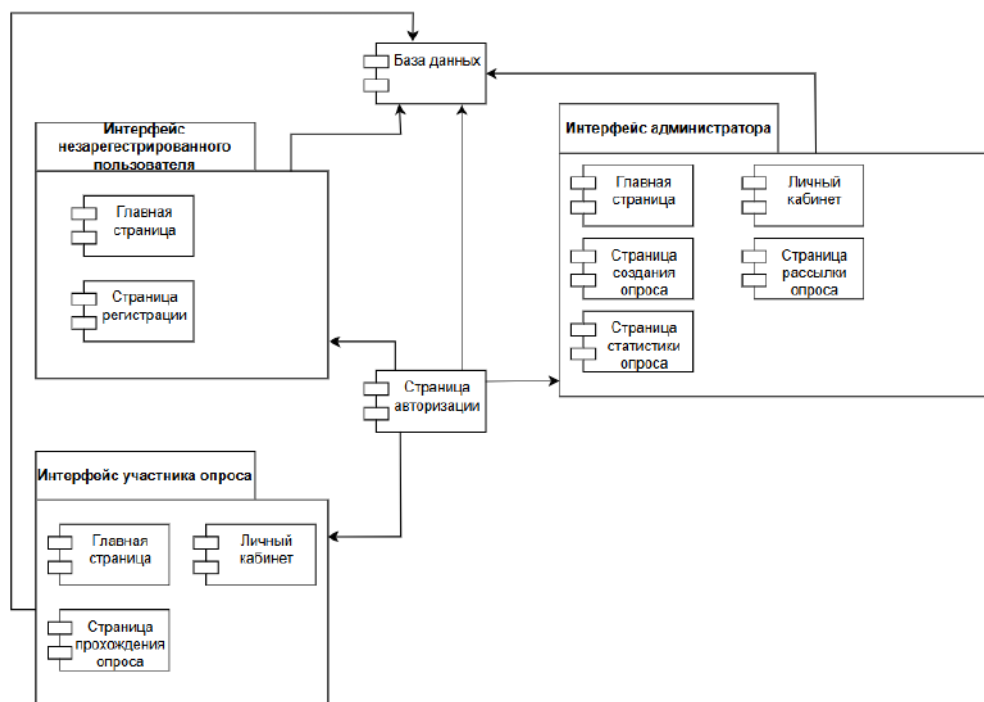


Рисунок 4 – Диаграмма компонентов, отражающая архитектуру системы

Диаграмма компонентов позволяет представить систему как совокупность взаимосвязанных модулей. Она отражает структуру программного обеспечения и взаимодействие между его основными частями [5].

В рамках разработанной модели система построена по клиент-серверной архитектуре. Клиентская часть отвечает за взаимодействие с пользователем и реализует пользовательский интерфейс. Серверная часть обеспечивает обработку запросов, реализацию бизнес-логики и взаимодействие с базой данных.

Взаимодействие между компонентами осуществляется посредством программного интерфейса, что обеспечивает независимость модулей и упрощает их модификацию. Такое архитектурное решение позволяет повысить масштабируемость системы и обеспечить её устойчивую работу при увеличении нагрузки.

Проектирование программного модуля информационной поддержки социологических исследований является важным этапом разработки, позволяющим сформировать архитектуру системы и определить её функциональные возможности.

Литература

1. Галиаскаров, Э.Г. Анализ и проектирование систем с использованием UML: учебник для вузов / Э.Г. Галиаскаров, А.С. Воробьев. – Москва: Издательство Юрайт, 2026. – 125 с. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/588976> (дата обращения: 01.05.2026).
2. Диаграмма Деятельности и Диаграмма Состояний: электронный ресурс // URL: <https://habr.com/ru/articles/907808/> (дата обращения: 01.05.2026).
3. Использование диаграммы вариантов использования UML при проектировании программного обеспечения: электронный ресурс // URL: <https://habr.com/ru/articles/566218/> (дата обращения: 01.05.2026).
4. Черткова, Е.А. Программная инженерия. Визуальное моделирование программных систем: учебник для вузов / Е.А. Черткова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2026. – 146 с. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/584957> (дата обращения: 01.05.2026).
5. UML: обзор основных типов диаграмм, диаграмма компонентов : электронный ресурс // URL: <https://habr.com/ru/articles/756552/> (дата обращения: 01.05.2026).
6. UML: Sequence Diagram: электронный ресурс // URL: <https://shesterov.by/tpost/g4n39inn91-uml-sequence-diagram> (дата обращения: 01.05.2026).
7. Виштак, О.В., Коновалов, Э.Н. Моделирование информационной системы с использованием UML / О. В. Виштак, Э. Н. Коновалов // Цифровой регион: опыт, компетенции, проекты: сборник трудов V Юбилейной Международной научно-практической конференции (Брянск, 2023). – Брянск : [б. и.], – 2023. – С. 239-244.

УДК 004.75

Распределение вычислительных мощностей в информационных системах с большим количеством запросов

Лазарев Никита Андреевич, студент направления
«Информатика и вычислительная техника»;

Чупракова Наталья Васильевна, доцент кафедры экономики и управления;
Технологический институт – филиал федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования «Национальный
исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Лесной

Распределение вычислительных мощностей в информационных системах с высокой интенсивностью запросов является актуальной и широко распространенной проблемой. Для ее решения был предложен алгоритм автоматизированного извлечения

метрик производительности посредством прокси-интерфейса API Grafana. Реализованный на языке JavaScript и функционирующий в клиентской среде браузера, данный скрипт продемонстрировал существенное сокращение времени сбора данных – с нескольких суток до 15 минут. Предложенный подход позволяет не только автоматизировать рутинные операции, но и обеспечить экономически обоснованное управление затратами на вычислительные ресурсы за счет точной настройки масштабирования.

В информационных системах с большим количеством запросов необходимо распределять вычислительные мощности так, чтобы программы не прекращали работу. Для изменения количества копий приложений в среде Kubernetes применяют инструмент Horizontal Pod Autoscaler (HPA) [1]. На его работу влияет то, насколько правильно изучены сведения о нагрузке за прошлые периоды.

Для настройки автоматического изменения ресурсов в промежуточном программном обеспечении JDBC потребовалось получить показатели использования мощностей. Эти замеры проводились в 52 виртуальных каналах в течение пяти рабочих дней. Если бы человек собирал данные в три фиксированных момента времени, ему пришлось бы выполнить более 1500 операций.

Когда сотрудник записывает показатели с визуальных схем (рис. 1) самостоятельно, возникают трудности. На такой процесс тратится много времени. Человек может ошибиться, если нужно зафиксировать малые значения, такие как сотые части центрального процессора.



Рисунок 1 – Интерфейс системы мониторинга Grafana с визуализацией метрик CPU Usage и Memory Usage для JDBC-сателлитов

Для выполнения этой задачи был создан программный алгоритм, который собирает сведения автоматически (рис. 2). Источником данных стали Recording Rules в

системе Prometheus. Доступ к ним обеспечивал интерфейс API через платформу Grafana [2].

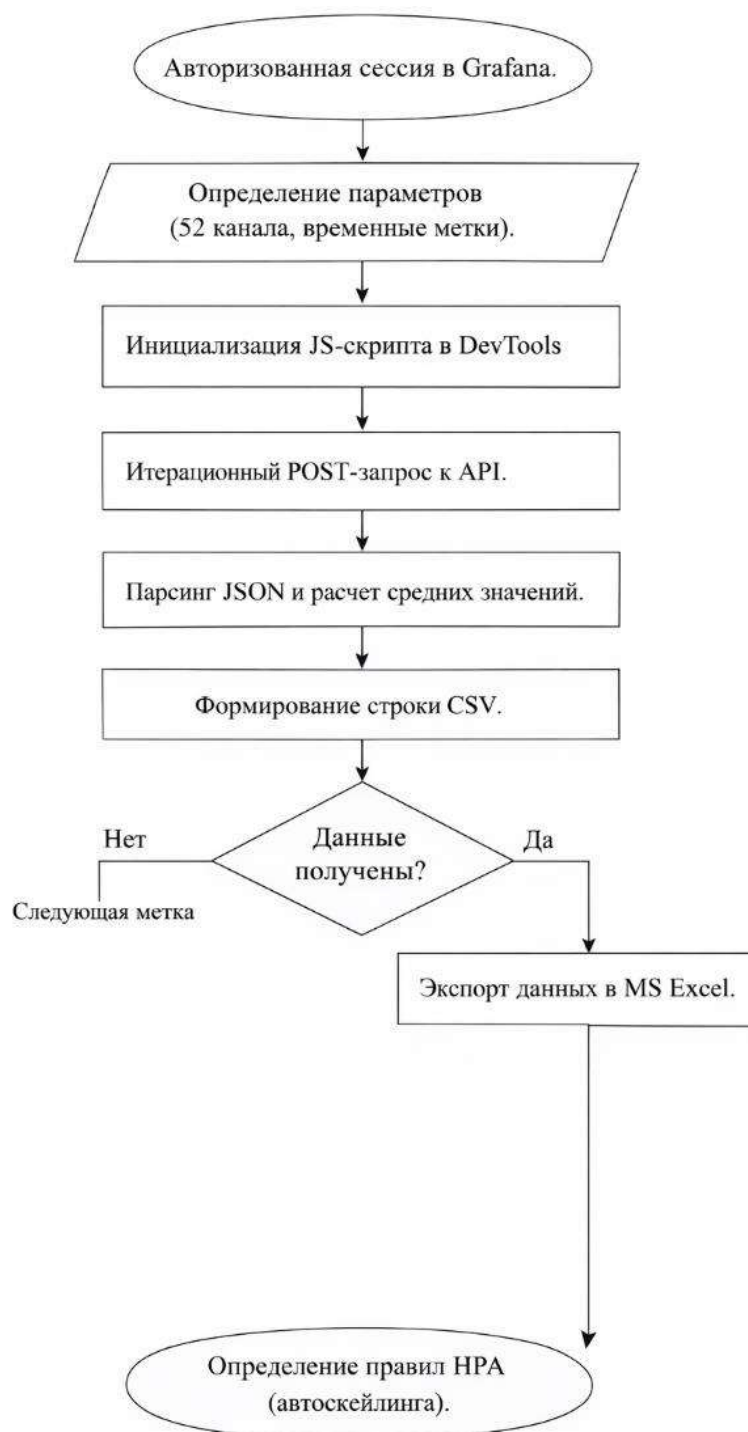


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма автоматизированного извлечения метрик производительности через прокси-интерфейс API Grafana

Этот скрипт написан на языке JavaScript, который работает внутри браузера. Сначала он создает запросы для разных периодов времени. Затем программа обрабатывает информацию с помощью выражений PromQL [3]. Посредством этих выражений код отделяет показатели основного контейнера jdbc satellite от показателей других сервисов. Далее алгоритм считает, сколько реплик являются активными в

данный момент. На основе этих чисел скрипт вычисляет, какой объем ресурсов приходится на один экземпляр. В конце программа выводит результаты в формате CSV. С такими файлами удобно работать в системах, которые отображают данные в виде ячеек и строк (рис. 3).

Дата_Время	Канал	Подов	Средний_CPU	Средний_RAM	CPU1	RAM1	CPU2	RAM2
23.03.2026 11:00	канал 1	2	0,0056	305,02	0,00385	268,08	0,00735	341,96
23.03.2026 11:00	канал 2	2	0,01115	357,46	0,0133	390,98	0,00901	323,95
23.03.2026 11:00	канал 3	2	0,02196	253,84	0,03404	247,43	0,00988	260,25
23.03.2026 11:00	канал 4	2	0,00257	178,13	0,00259	174,05	0,00254	182,2
23.03.2026 11:00	канал 5	2	0,01984	1880,7	0,01869	1852,13	0,021	1909,3
23.03.2026 11:00	канал 6	2	0,00222	165,54	0,00113	162,83	0,00331	168,25
23.03.2026 11:00	канал 7	2	0,00163	182,44	0,00137	182,22	0,00189	182,66
23.03.2026 11:00	канал 8	2	0,00207	170,54	0,00227	170,52	0,00187	170,57
23.03.2026 11:00	канал 9	3	0,1542	334,52	0,25505	360,24	0,08509	304,48
23.03.2026 11:00	канал 10	2	0,00846	215,35	0,00849	203,47	0,00844	227,23

Рисунок 3 – Сводная таблица распределения ресурсов по каналам

Если сравнивать этот подход с ручным трудом, то скрипт получает сведения по каждому поду, поэтому становится видно, как именно нагрузка распределяется между всеми репликами. Апробация метода показала, что время сбора информации уменьшилось с нескольких суток до 15 минут. Точные сведения помогли найти аномалии, такие как высокие пики потребления памяти, не связанные с нагрузкой на центральный процессор.

Автоматизация сбора метрик является необходимым этапом в процессе настройки инфраструктуры. Предложенный подход позволяет не только минимизировать рутинные операции, но и обоснованно подойти к управлению затратами на вычислительные ресурсы за счет точной настройки масштабирования.

Литература

1. Kubernetes: Horizontal Pod Autoscaler [Электронный ресурс]. – URL: <https://kubernetes.io/docs/concepts/workloads/autoscaling/horizontal-pod-autoscale/> (дата обращения: 15.04.2026).
2. Grafana Documentation [Электронный ресурс]. – URL: <https://grafana.com/docs/grafana/latest/> (дата обращения: 15.04.2026).
3. Prometheus: Overview [Электронный ресурс]. – URL: <https://prometheus.io/docs/introduction/overview/> (дата обращения: 15.04.2026).

**Проектирование веб-сервиса онлайн-бронирования для предприятия
общественного питания**

¹Лысяков Михаил Сергеевич, студент направления

«Информационные системы и технологии»;

¹Штырова Ирина Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры

«Информационные системы и технологии»

¹Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального

государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

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

В статье представлен анализ функциональных возможностей веб-сервиса онлайн-бронирования, разрабатываемого для предприятия общественного питания, проведено моделирование веб-сервиса с использованием объектно-ориентированного подхода.

В настоящее время в различных организациях повышение эффективности бизнес-процессов, оперативности и своевременности обработки информации осуществляется за счет внедрения информационных систем [1]. Современный ресторанный бизнес функционирует в условиях высокой конкуренции и растущих ожиданий потребителей, для которых скорость и удобство получения услуг являются определяющими факторами при выборе заведения. Традиционный способ бронирования столиков по телефону перестает отвечать потребностям рынка, поскольку сопряжен с рядом недостатков: временными затратами для гостя, необходимостью выделения отдельного сотрудника на прием звонков, высоким риском ошибок «человеческого фактора» (неверная запись времени, потеря данных) и невозможностью оперативного анализа загрузки зала. Внедрение веб-сервисов онлайн-бронирования призвано решить эти проблемы, автоматизируя рутинные операции и предоставляя гостю удобный цифровой канал взаимодействия.

На этапе проектирования веб-сервиса был использован объектно-ориентированный подход. Объектно-ориентированное моделирование является основным подходом к проектированию сложных программных систем, позволяющим абстрагироваться от деталей реализации и представить систему в виде совокупности взаимодействующих объектов [2]. Для визуализации архитектуры разрабатываемого веб-сервиса используется унифицированный язык моделирования UML (Unified Modeling Language), который предоставляет набор диаграмм для описания различных аспектов системы: структуры, поведения и взаимодействия компонентов.

Диаграмма вариантов использования (англ. use-case diagram) – диаграмма, описывающая, какой функционал разрабатываемой программной системы доступен каждой группе пользователей [3].

Неавторизованный пользователь взаимодействует с системой на этапе ознакомления с предложением. Его функционал является базовым и включает в себя возможности по поиску заведений с применением различных фильтров (тип кухни, средний чек, местоположение) и просмотру их публичных профилей. На данном этапе пользователь может ознакомиться с общей информацией о ресторане, просмотреть фотографии интерьера и меню, а также изучить отзывы других посетителей. Однако для совершения целевого действия (бронирования столика) ему необходимо перейти в статус авторизованного пользователя.

Авторизованный пользователь является ключевым потребителем сервиса. После успешной регистрации и входа в личный кабинет он получает доступ к полному спектру функций для онлайн-бронирования. Пользователь может в интерактивном режиме выбрать конкретное заведение, желаемую дату, время и количество гостей. Система в ответ отображает доступные для бронирования столики на схеме зала. После выбора столика и подтверждения бронирования пользователь видит детали заказа и получает автоматическое уведомление. В личном кабинете пользователь управляет историей своих посещений: просматривает предстоящие и завершенные брони, может отменить активное бронирование в соответствии с правилами заведения, а также редактировать свой профиль.

Менеджер ресторана действует в рамках административной панели, предназначенной для конкретного заведения. Его полномочия сосредоточены на управлении контентом и операционной деятельностью своего ресторана. Он обладает возможностью актуализировать всю публичную информацию о заведении: редактировать описание, обновлять часы работы, вносить изменения в меню (названия блюд, цены, категории), управлять фотогалереей.

Администратор сервиса бронирования обладает наивысшим уровнем привилегий и отвечает за функционирование всей платформы в целом. Его деятельность носит надзорный и системный характер. В его зону ответственности входит полный цикл управления каталогом заведений: от добавления новых ресторанов в систему после проверки и верификации до редактирования их основных данных или полного удаления. Он осуществляет управление пользовательской базой, включая функции блокировки и разблокировки учетных записей при нарушении правил, а также изменение профилей пользователей по запросу службы поддержки.

На рис. 1 показана диаграмма вариантов использования проектируемой системы.



Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования

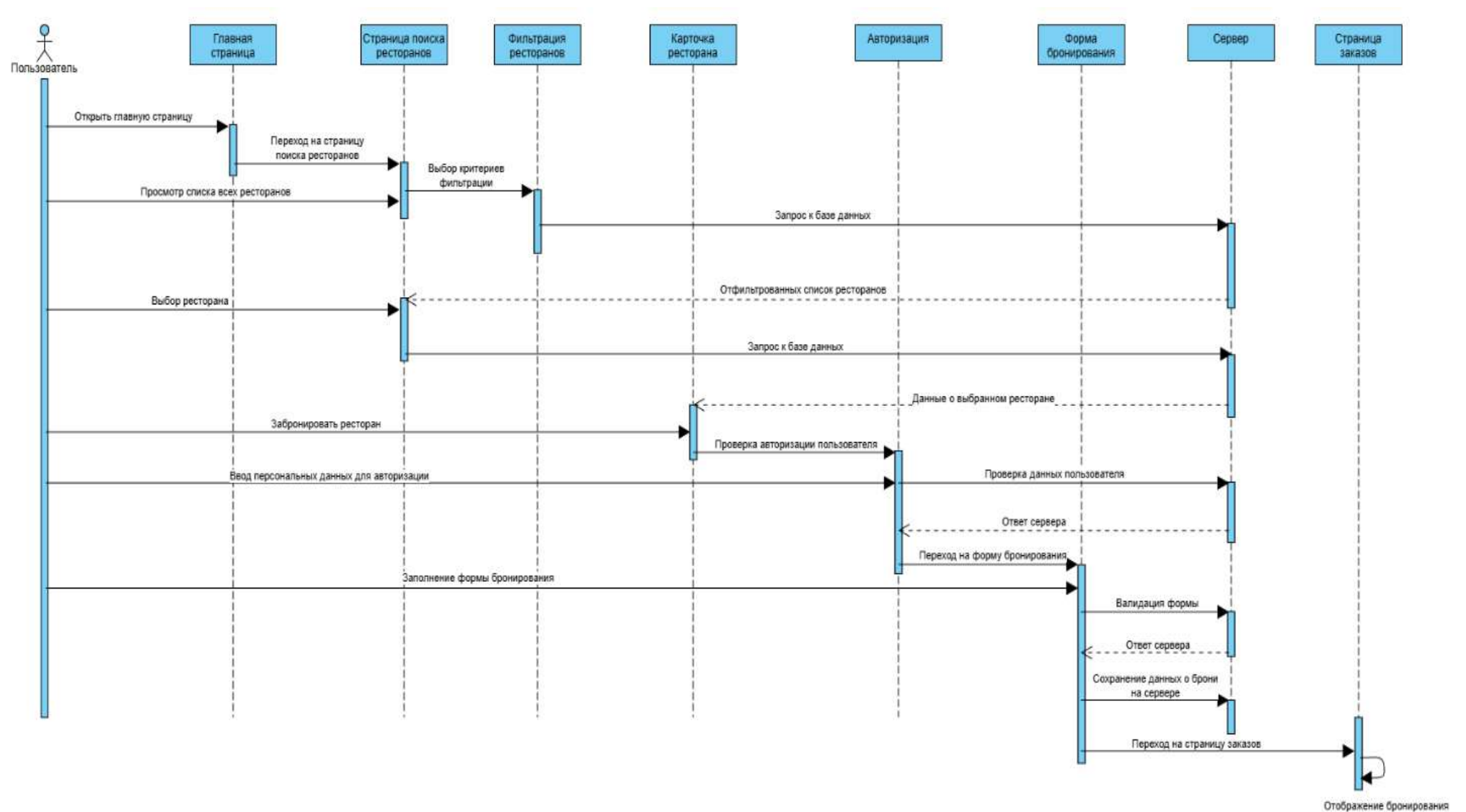


Рисунок 2 – Диаграмма последовательности

Таким образом, диаграмма вариантов использования выполняет важную роль на начальных этапах проектирования, выступая в качестве концептуального моста между бизнес-требованиями и технической реализацией. Она визуализирует и формализует функциональные требования к системе, задавая её внешние границы и четко разграничивая роли участников (акторов) и сценарии их взаимодействия с системой [4, 5].

Диаграмма последовательности (Sequence Diagram) используется для моделирования взаимодействия объектов во времени при выполнении конкретного варианта использования [6]. На рисунке 2 представлена диаграмма последовательности для основного бизнес-процесса – бронирование столика.

На данной диаграмме последовательно отображены основные этапы работы пользователя с веб-сервисом. Процесс начинается с того, что пользователь открывает главную страницу системы. Оттуда он может перейти на страницу поиска ресторанов.

На странице поиска пользователь применяет различные критерии фильтрации (кухня, местоположение, рейтинг и т.д.). Данные действия формируют запрос к базе данных, которая возвращает Отфильтрованный список ресторанов для отображения пользователю.

После просмотра списка пользователь осуществляет выбор ресторана. Система в ответ на это действие загружает и отображает детальную страницу выбранного ресторана, содержащую всю необходимую информацию: описание, меню, фотографии.

Далее пользователь инициирует ключевое действие – забронировать столик. Система проверяет статус пользователя и при необходимости запускает процесс авторизации, в ходе которого пользователь вводит свои учетные данные. После успешной авторизации система перенаправляет пользователя на форму бронирования.

На форме бронирования пользователь выбирает дату, время, количество гостей и конкретный столик. После заполнения всех элементов формы бронирования и ее отправки система обрабатывает данные. Этот этап включает Согласование данных и бронирование, в рамках которого осуществляется проверка доступности, резервирование столика в системе и сохранение записи о брони в базе данных. Пользователю отображается Подтверждение бронирования.

Завершающим этапом, отображенным на диаграмме, является переход на страницу бронирования, где пользователь может просмотреть детали созданного бронирования.

Таким образом, представленная диаграмма последовательности детально описывает пошаговое взаимодействие пользователя с элементами интерфейса и серверной частью системы в рамках основного бизнес-сценария, наглядно

демонстрируя поток данных и управляющих сообщений.

Таким образом, многоаспектность UML позволяет описывать систему с разных точек зрения: статическая структура и динамическое поведение. Разработанные модели являются основой для реализации веб-сервиса онлайн-бронирования для предприятия общественного питания.

Литература

1. Долгачев, В.А. Цифровая трансформация компании в условиях стремительного изменения факторов внешней среды / В.А. Долгачев, Г.В. Очкур // Студенческая научная весна – 2022: сборник тезисов XII Всероссийской научно-практической молодежной конференции. – Волгодонск : [б.и.], 2022. – С. 219-222.
2. Виштак, О.В. Моделирование информационной системы с использованием UML / О.В. Виштак, Э.Н. Коновалов // Сборник трудов V Юбилейной Международной научно-практической конференции «Цифровой регион: опыт, компетенции, проекты». – Брянск: [б.и.], 2023. – С. 239-244.
3. Новиков, Ф.А. UML. Моделирование на языке UM: учебник / Ф.А. Новиков. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 347 с.
4. Виштак, О.В. Использование объектно-ориентированного подхода к проектированию образовательного web-квеста / О.В. Виштак, И.А. Штырова // Сборник статей участников Международной научно-практической конференции «Современные образовательные Web-технологии в реализации личностного потенциала обучающихся». – Арзамас : Арзамасский филиал ННГУ, 2020. – С. 241-245.
5. Виштак, Н.М. Проектирование тематических web-квестов / Н.М. Виштак, И.А. Штырова // Сборник статей участников V-ой Международной научно-практической конференции «Современные образовательные Web-технологии в системе школьной и профессиональной подготовки». – Арзамас: Арзамасский филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», 2017. – С. 175-179.
6. Штырова, И.А. Разработка модели программного модуля для поддержки процесса подготовки мероприятий в учреждениях культуры / И.А. Штырова, М.С. Кособрюхова // Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий: сборник трудов X Международной научно-практической конференции. – Балаково, 2024. – С. 387-392.

**Разработка интерактивного образовательного ресурса для изучения языка
программирования Python**

Паницкова Полина Андреевна, студент направления

«Информационные системы и технологии»;

Очкур Галина Викторовна, 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

Статья посвящена анализу процесса самостоятельного изучения языка программирования Python с использованием методологии функционального моделирования IDEF0. Рассмотрена существующая модель обучения, основанная на разрозненных теоретических материалах и стандартных средах разработки, и предложена новая модель, реализованная в виде интерактивного образовательного ресурса с игровой платформой.

Язык программирования Python является одним из наиболее популярных языков для начального изучения программирования [4, 5, 7 и др.]. Простой и понятный синтаксис, богатая экосистема библиотек и широкая область применения делают его естественным выбором для тех, кто решил самостоятельно освоить основы программирования. Однако, несмотря на доступность учебных материалов в открытых источниках, многие самостоятельно обучающиеся пользователи сталкиваются со значительными трудностями: теория преподносится в отрыве от практики, написание кода требует установки полноценной среды разработки, а получение обратной связи о правильности выполнения задания фактически отсутствует.

Целью данной работы является разработка интерактивного образовательного ресурса, позволяющего пользователю самостоятельно изучать язык Python в формате игровой платформы. Для обоснования предлагаемого решения выполнен анализ существующего процесса самостоятельного изучения языка и спроектирован новый процесс, использующий возможности игровой механики и визуализации выполнения программ. Моделирование выполнено с использованием методологии IDEF0, позволяющей наглядно представить функциональные блоки процесса с указанием входов, выходов, управляющих воздействий и используемых ресурсов [5, 6 и др.].

На рисунке 1 представлена контекстная диаграмма процесса изучения языка Python «как есть» (AS IS), отражающая текущую практику самостоятельного обучения. Входом процесса является запрос пользователя на изучение языка, управляющим

воздействием, – теоретический материал, доступный в открытых источниках (учебники, справочники, статьи в Интернете), механизмами выступают сам пользователь и стандартные среды разработки. Выходом служат знания о языке преимущественно в теоретической форме, что не обеспечивает достаточного уровня практической подготовки.

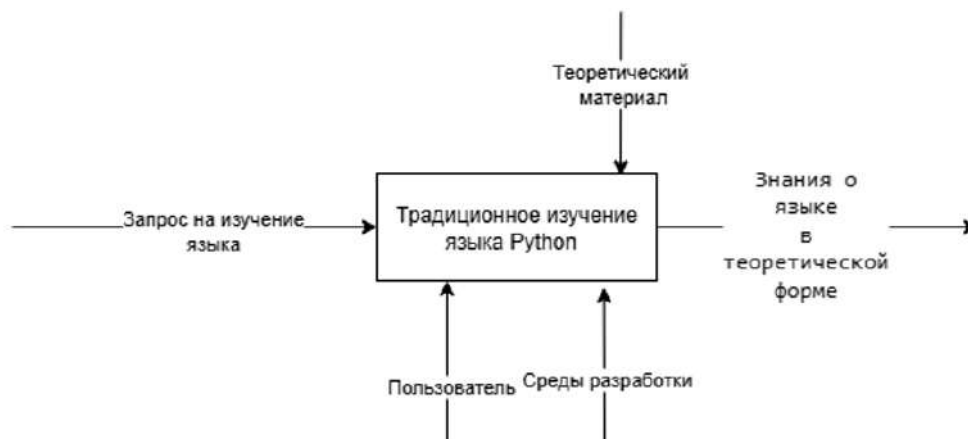


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма процесса обучения «как есть»

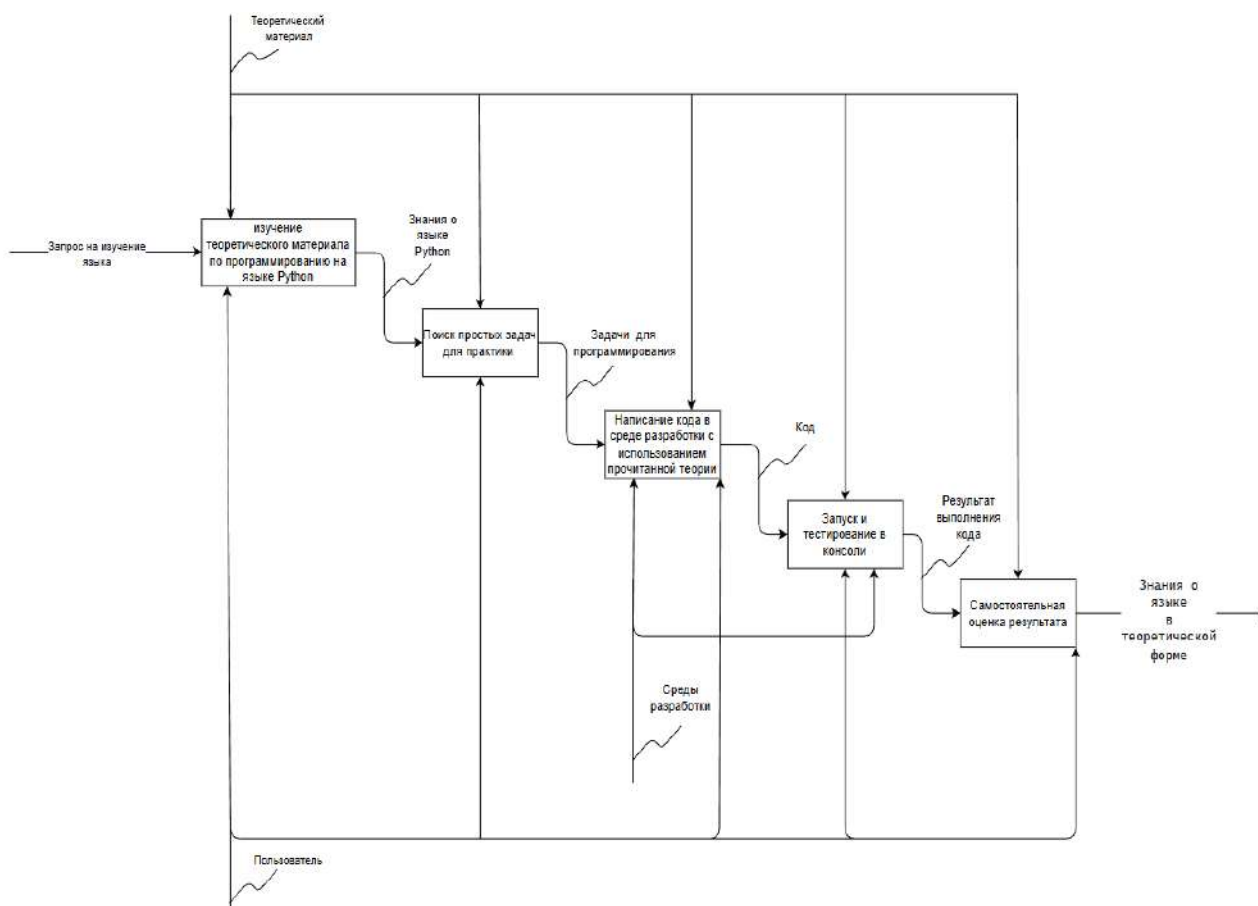


Рисунок 2 – Диаграмма декомпозиции процесса обучения «как есть» (AS IS)

Декомпозиция процесса обучения приведена на рисунке 2 и позволяет детализировать этапы, которые проходит самостоятельно обучающийся пользователь. Процесс начинается с изучения теоретического материала по программированию на

языке Python, в результате которого формируются первичные знания о языке. Далее пользователь самостоятельно ищет простые задачи для практики, после чего пишет код в среде разработки с использованием прочитанной теории. Написанный код запускается и тестируется в консоли, и на основе полученного результата выполнения пользователь проводит самостоятельную оценку результата. Анализ декомпозиции выявляет ключевую проблему текущей модели: отсутствие систематической обратной связи и интегрированной среды обучения вынуждает пользователя постоянно переключаться между источниками теории, средой разработки и консолью, а оценку правильности он вынужден проводить самостоятельно, не имея возможности достоверно убедиться в корректности своих решений.

Выявленные недостатки существующей модели устраняются в модели «как должно быть» (TO BE), предполагающей внедрение интерактивного образовательного ресурса с игровой платформой. На рисунке 3 представлена контекстная диаграмма процесса обучения «как должно быть». Входом процесса по-прежнему является запрос пользователя на изучение языка, однако управляющим воздействием становятся методические указания по работе с программой, размещённые непосредственно внутри ресурса. В составе механизмов вместо разрозненных сред разработки появляется единая игровая платформа, объединяющая редактор кода, среду исполнения и систему визуальной обратной связи. Выходом процесса служат практические знания программирования, полученные через игровую механику.



Рисунок 3 – Контекстная диаграмма процесса обучения «как должно быть» (TO BE)

Диаграмма декомпозиции процесса «как должно быть» приведена на рисунке 4. Изучение языка начинается с освоения контекстной теории через подсказки, встроенные непосредственно в ресурс, в результате чего пользователь получает знания теоретических указаний, необходимых для выполнения текущего задания. Далее в игровом редакторе пользователь пишет код, который сразу запускается в режиме симуляции с визуальным исполнением: результат выполнения программы

отображается на экране в виде наглядной анимации или изменения состояния игровых объектов. На следующем этапе выполняется интерактивная отладка с визуализацией, благодаря чему пользователь видит, как именно его код повлиял на ход программы, и получает результат отладки. Завершающим этапом является получение результата и переход к следующему заданию, формирующим у пользователя практические знания программирования через игровую механику. Существенное отличие новой модели заключается в том, что все этапы выполняются в единой среде и каждое действие пользователя сопровождается немедленной визуальной обратной связью, что значительно повышает эффективность самостоятельного обучения.

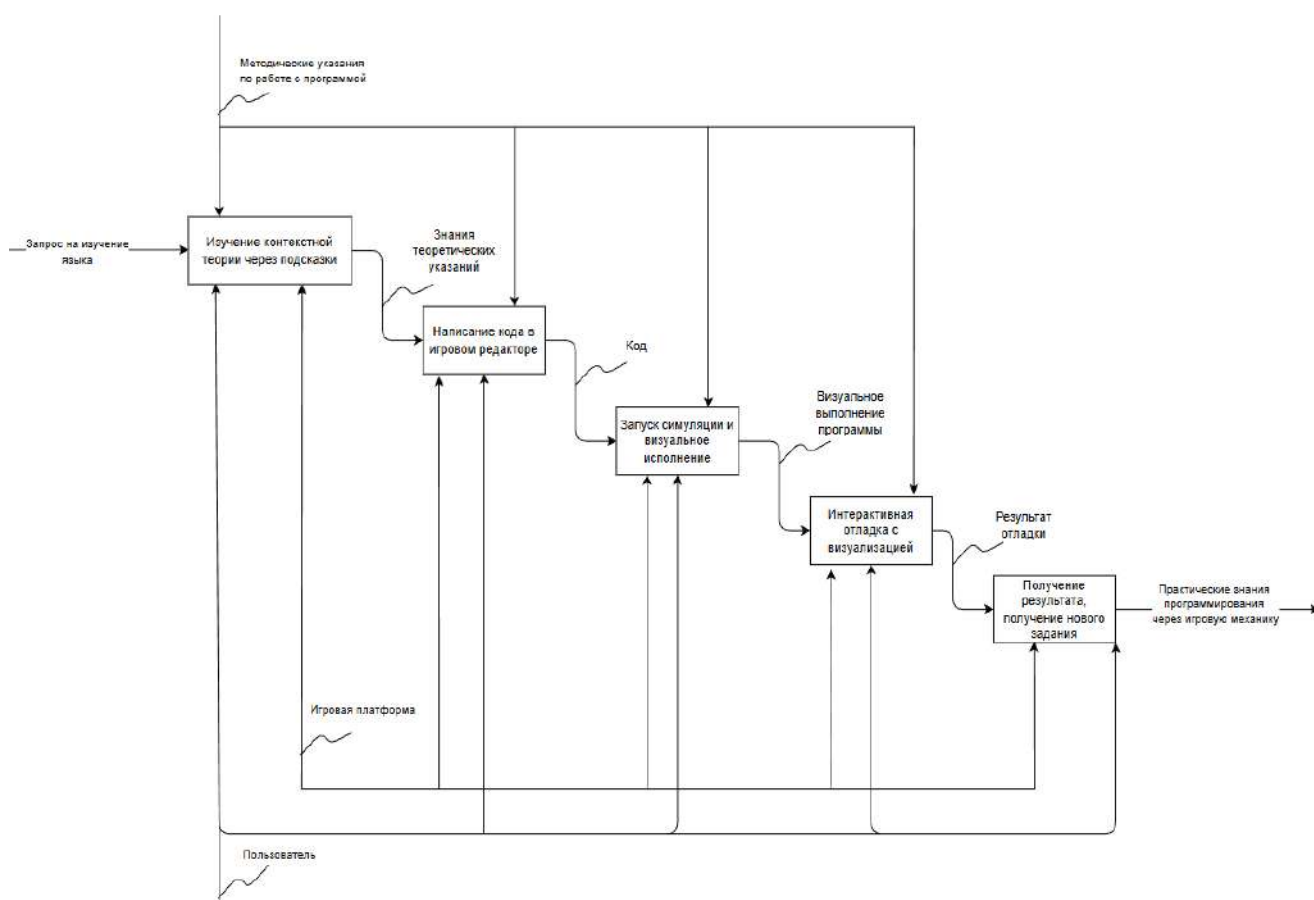


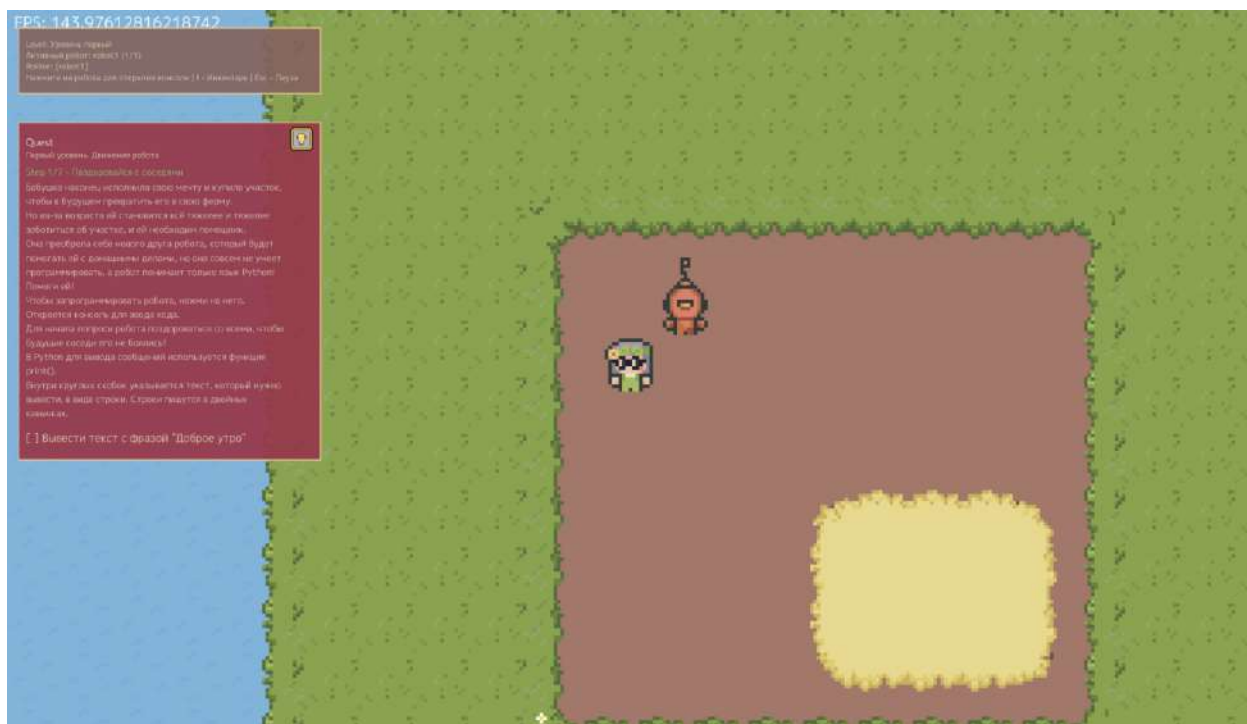
Рисунок 4 – Диаграмма декомпозиции процесса обучения «как должно быть» (TO BE)

На основании сравнения моделей «как есть» и «как должно быть» сформулированы ключевые функциональные требования к разрабатываемому образовательному ресурсу:

- представление контекстной теории в виде встроенных подсказок, привязанных к текущему заданию;
- встроенный игровой редактор для написания кода непосредственно в ресурсе без установки сторонних сред разработки;
- запуск симуляции с визуальным исполнением программного кода через

- интерактивная отладка с визуализацией хода выполнения программы;
- автоматический переход к следующему заданию по результатам успешного выполнения текущего;
- накопление практических знаний программирования через игровую механику и пошаговое усложнение заданий.

На рисунке 5 представлен основной интерфейс приложения в режиме активного игрового процесса.



В левой верхней части экрана располагается информационный блок (HUD), предназначенный для оперативного мониторинга состояния симуляции. HUD в режиме реального времени отображает идентификатор загруженного уровня (Level), имя текущего выбранного робота, а также общий реестр доступных программных агентов.

180

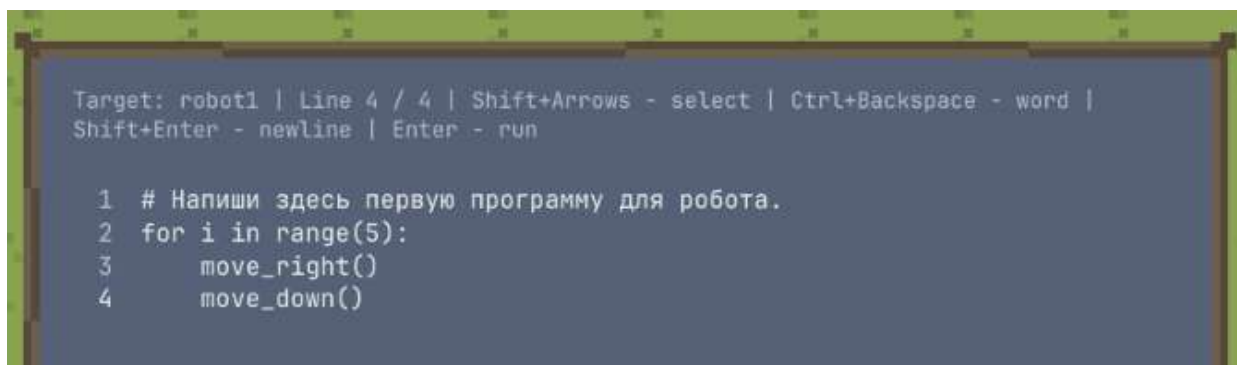


Рисунок 6 – Встроенное окно консоли-редактора кода

Интегрированная консоль позволяет пользователю писать управляющие скрипты без использования тяжеловесных внешних сред разработки (IDE). Среда исполнения осуществляет синтаксический анализ вводимых команд. В случае возникновения ошибок выполнения или логических сбоев система не прерывает работу приложения аварийно, а мгновенно транслирует диагностическое сообщение в поле консоли, реализуя тем самым механизм интерактивной отладки и быстрой обратной связи.

Основным инструментом контроля образовательного прогресса является динамическая панель квестов, расположенная в нижней части графического окна, представленная на рисунке 7.

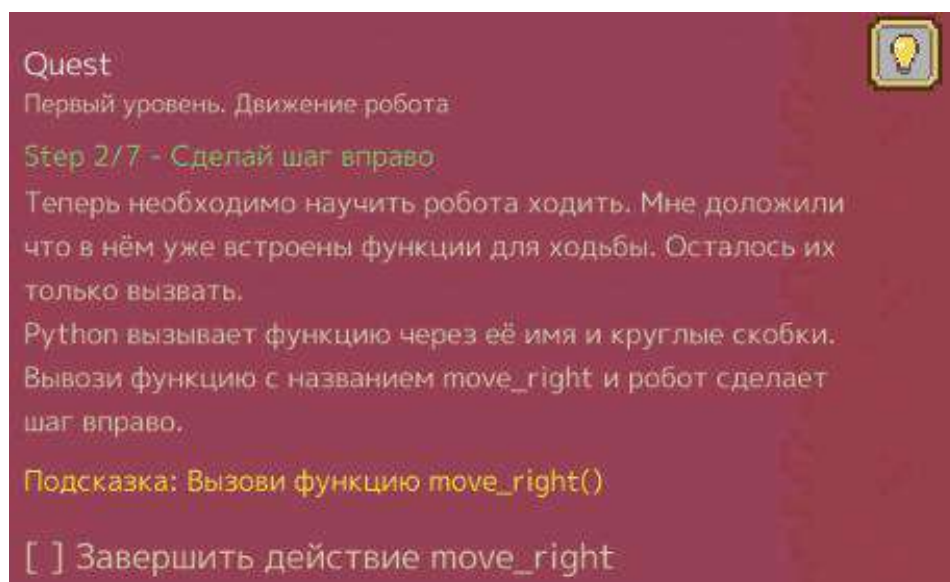


Рисунок 7 – Динамическая панель квестов

Таким образом, проведённый анализ предметной области и построение функциональных моделей позволили выявить ключевые недостатки традиционного формата самостоятельного изучения программирования и обосновать архитектуру интерактивного образовательного ресурса. Разработанный программный комплекс «Circuita» успешно воплотил в себе все требования спроектированной модели,

объединив в едином интерфейсе встроенный графический редактор кода, средства интерактивной симуляции алгоритмов и адаптивную систему контекстной помощи с цветовой индикацией. Построенные модели доказали свою высокую эффективность в качестве методологической основы сквозного проектирования, обеспечив соответствие между теоретическими принципами геймификации образования и их практической программной реализацией, что позволяет существенно повысить качество обучения за счет предоставления пользователю мгновенной визуальной обратной связи.

Литература

1. Лутц, М. Изучаем Python : 5-е изд. / М. Лутц. – Москва : Вильямс, 2019. – 1280 с.
2. Методология функционального моделирования IDEF0: руководящий документ / Госстандарт России. – Москва, 2000. — 75 с.
3. Геймификация в обучении программированию: обзор подходов и инструментов [Электронный ресурс] / SimbirSoft // Habr: сайт.. – URL: <https://habr.com/ru/companies/simbirsoft/articles/961968/> (дата обращения: 10.05.2026).
4. Михеев, И.В. Практико-ориентированный подход в обучении алгоритмизации / И.В. Михеев, О.В. Виштак // Педагогическая информатика. – 2024. – № 4. – С. 250–259.
5. Виштак, Н.М. Разработка веб-приложения для изучения языка программирования Python / Н.М. Виштак // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 2021. – Кемерово, 2021. – С. 64–67.
6. Виштак, О.В. Программные средства разработки автоматизированных обучающих систем / О.В. Виштак, Д.А. Фролов, С.В. Абросимов // Проблемы развития предприятий энергетической отрасли в условиях модернизации российской экономики и общества : сб. тр. III Междунар. науч.-практ. конф. – Москва : НИЯУ МИФИ, 2017. — С. 80–85.
7. Виштак, Н.М. Особенности обучения программированию в высшей школе / Н.М. Виштак, И.В. Михеев // Будущее атомной энергетики – AtomFuture 2019 : тез. докл. XV Междунар. науч.-практ. конф., 2019. – 2020. – С. 132–134.

Соревнования по программированию как средство развития компетенций ИТ-специалистов

Рыбалко Тимофей Евгеньевич, студент направления

«Информационные системы и технологии»;

Виштак Наталья Михайловна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры

«Информационные системы и технологии»;

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

В статье рассматривается проблема разрыва между академической подготовкой выпускников ИТ-специальностей и реальными требованиями индустрии. Анализируется роль соревнований по программированию (алгоритмические контесты, хакатоны, CTF-соревнования, соревнования по машинному обучению) как инструмента формирования профессиональных компетенций. Описаны основные форматы соревнований, критерии оценки участников и алгоритмы глобального ранжирования (Эло, Glicko-2, TrueSkill). Сделан вывод о необходимости системной интеграции соревновательных элементов в образовательные программы высших учебных заведений.

Современный мир диктует беспрецедентно высокие темпы развития технологий. Глобальный и отечественный рынки труда сталкиваются с острой нехваткой квалифицированных кадров в сфере ИТ. Однако проблема заключается не только в количественном дефиците, но и в качественном разрыве между академической подготовкой выпускников вузов и реальными потребностями ИТ-индустрии [1].

Классические образовательные программы часто не успевают за развитием технологических стеков, методологий разработки и архитектурных шаблонов. В университетах студенты получают фундаментальную теоретическую базу – математику, базовые алгоритмы, теорию по языкам программирования и базам данных, однако сталкиваются с дефицитом практики в условиях, приближенных к реальным. Академическая среда редко моделирует жёсткие дедлайны, работу с чужим кодом, необходимость быстрого принятия решений или работу в крупной команде [2].

В результате выпускник, отлично знающий условную теорию графов, может оказаться совершенно не готов к разработке масштабируемого проекта в условиях неполных требований заказчика. Этот разрыв формирует фундаментальную задачу подготовки специалистов: поиск инструментов, позволяющих формировать

практические навыки поверх теоретического фундамента.

Профессиональный профиль современного IT-специалиста представляет собой сложный синтез «жестких» (hard skills) и «мягких» (soft skills) навыков и компетенций [3, 14, 15 и др.].

К hard skills относятся: глубокое алгоритмическое мышление и способность оптимизировать решения; уверенное владение несколькими языками программирования и понимание их парадигм; умение проектировать архитектуру ПО; работа с базами данных; навыки отладки кода и написания тестов.

Критическую роль наряду с техническими знаниями играют soft skills: стрессоустойчивость и умение работать в условиях неопределённости; навыки командной работы; тайм-менеджмент; способность к непрерывному обучению, то есть, готовность быстро освоить новую технологию под конкретную задачу [4].

Данные компетенции необходимо развивать через погружение в практическую среду, и соревнования по программированию являются в данном аспекте идеальным тренажёром [5].

Геймификация процесса стимулирует мотивацию участников. Ограничение по времени создаёт контролируемый стресс, заставляя быстро генерировать и проверять различные идеи. Автоматическая проверяющая система мгновенно выдаёт обратную связь, приучая разработчика к циклическому подходу разработки ПО. Командные соревнования формируют навыки распределения ролей и коммуникации, напрямую готовя участников к промышленной разработке [6].

Экосистема IT-соревнований крайне разнообразна и охватывает практически все специализации отрасли. Основные виды представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Соревнования по программированию

Вид соревнования	Примеры платформ/форматов	Развиваемые компетенции
Алгоритмические контесты	Codeforces, ICPC, AtCoder	Алгоритмическое мышление, оптимизация кода
Хакатоны	Корпоративные, открытые	Командная работа, MVP, презентация
CTF (Capture The Flag)	Jeopardy, Attack/Defense	Информационная безопасность, реверс-инжиниринг
Соревнования по Data Science	Kaggle	Машинное обучение, анализ данных
Прикладные олимпиады	Яндекс Cup, VK Cup	Прикладные инженерные навыки

Алгоритмические контесты направлены на решение сложных математических задач за ограниченное время [7]. Хакатоны – марафоны по разработке продолжительностью от 24 до 72 часов, где команды создают работающий прототип (MVP) с нуля; ключевую роль здесь играет способность команды представить своё решение жюри [8]. CTF-соревнования охватывают задачи по криптографии, стеганографии, реверс-инжинирингу и веб-уязвимостям. Соревнования по Data Science

нацелены на оптимизацию метрики модели машинного обучения на скрытой тестовой выборке.

Система оценки зависит от формата соревнования и делится на два типа [9].

Объективные критерии применяются в алгоритмических контекстах и Kaggle: корректность – программа должна проходить все скрытые тесты; эффективность по времени – алгоритм должен укладываться в заданный лимит; эффективность по памяти – решение не должно превышать выделенный объём ОЗУ; точность модели – для соревнований по машинному обучению.

Экспертные критерии используются на хакатонах: ценность и реализуемость продукта; инновационность предложенного подхода; качество UX/UI; техническая сложность реализации; качество презентации решения жюри.

Для объективной оценки уровня участников платформы применяют сложные алгоритмы ранжирования, заимствованные и модифицированные из шахматного и киберспортивного сообществ [10].

Алгоритм Эло вычисляет вероятность победы одного участника над другим на основе их текущих рейтингов. В случае соревнований с тысячами одновременных участников система адаптируется: каждый условно играет серию дуэлей со всеми остальными [11].

Алгоритмы Glicko и Glicko-2 развивают систему Эло за счёт введения параметра Rating Deviation (RD) – степени уверенности системы в рейтинге игрока. Если участник давно не соревновался, его RD возрастает, а изменения рейтинга при следующем участии становятся более существенными. Glicko-2 добавляет параметр Volatility, учитывающий нестабильность игр [12].

Система TrueSkill моделирует навык каждого участника как нормальное распределение с параметрами μ (среднее значение навыка) и σ (неопределённость системы). В командном зачёте навык команды вычисляется как сумма навыков её участников, что позволяет точнее оценивать командные форматы: CTF и командные алгоритмические контексты [13].

Для структурирования соревновательной среды платформы обычно вводят систему дивизионов. Участник с высоким рейтингом не может выступать в низшем дивизионе, чтобы не нарушать математическое ожидание рейтинговой системы для начинающих [7].

Проблема подготовки квалифицированных ИТ-специалистов не может быть решена исключительно классическими педагогическими методами. В условиях стремительного устаревания технологических знаний ключевыми становятся умение

быстро обучаться, адаптироваться, работать в команде и решать нестандартные задачи в условиях жёстких ограничений.

Соревнования по программированию эффективно выполняют функцию тренажёра этих навыков. Именно поэтому необходима системная интеграция соревновательных элементов в учебные планы вузов как обязательной части образовательного стандарта. IT-компаниям следует активнее поддерживать олимпиадное движение не только как инструмент PR, но и как важнейший канал поиска и возвращения рабочих кадров.

Литература

1. Купрещенко, Н.П. Дефицит IT-кадров в условиях цифровой трансформации экономики / Н.П. Купрещенко // Экономика и управление. – 2023. – № 4. – С. 45–52.
2. Тихомиров, В.П. Цифровое образование: вызовы и возможности / В. П. Тихомиров. – Москва : МЭСИ, 2022. – 180 с.
3. Spencer, L.M. Competence at Work: Models for Superior Performance / L.M. Spencer, S.M. Spencer. – New York : Wiley, 1993. – 372 p.
4. Erpenbeck, J. Handbuch Kompetenzmessung / J. Erpenbeck, L. von Rosenstiel. – Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2007. – 950 p.
5. Moors, A. Appraisal Theories of Emotion / A. Moors // Emotion Review. – 2014. – Vol. 6, № 4. – P. 323–331.
6. Deterding, S. Gamification: Designing for Motivation / S. Deterding // Interactions. – 2012. – Vol. 19, № 4. – P. 14–17.
7. Halim, S. Competitive Programming / S. Halim, F. Halim. – 4th ed. – [S.l.] : Lulu Press, 2020. – 366 p.
8. Briscoe, G. Digital Innovation: The Hackathon Phenomenon / G. Briscoe, C. Mulligan. – London: Queen Mary University, 2014. – 13 p.
9. Михеев, И.В., Виштак, О.В., Кондратов, Д.В. Система количественных характеристик оценки качества программных продуктов / И. В. Михеев, О. В. Виштак, Д. В. Кондратов // Программные системы и вычислительные методы. – 2018. – № 2. – С. 28-35.
10. Elo, A.E. The Rating of Chessplayers, Past and Present / A.E. Elo. – New York : Arco, 1978. – 210 p.
11. Glickman, M.E. Parameter Estimation in Large Dynamic Paired Comparison Experiments / M.E. Glickman // Applied Statistics. – 1999. – Vol. 48, № 3. – P. 377–394.
12. Glickman, M.E. Example of the Glicko-2 System / M.E. Glickman. – Boston University, 2012. – 6 p.

13. Herbrich, R. TrueSkill: A Bayesian Skill Rating System / R. Herbrich, T. Minka, T. Graepel // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2007. – Vol. 19. – P. 569–576.
14. Михеев, И.В., Виштак, О.В. Алгоритмизация и программирование как ключевые компетенции формирования трудовых функций будущих ИТ-специалистов / И.В. Михеев, О.В. Виштак // Педагогическая информатика. – 2025. – № 3. – С. 136-151.
15. Труфанов, А.В., Виштак, О.В. Компетенции ИТ-специалистов / А. В. Труфанов, О. В. Виштак // Наука и творчество: вклад молодёжи: материалы Всероссийской молодёжной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (Махачкала, 2021). – Махачкала. – 2021. – С. 39-44.

УДК 004.04

Организационные аспекты разработки образовательных игр

Свиридова Екатерина Викторовна, старший преподаватель кафедры

«Информатика и управление в технических системах»;

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. Как преимущества использования игровых технологий в образовании выделим следующие [1, 2, 3, 4 и др.]:

- ✓ повышение мотивации и вовлеченности;
- ✓ 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).

Анализ литературных и научных источников позволил как основные виды игровых технологий в учебном процессе выделить следующие [1, 5, 6, 7 и др.]:

- ✓ «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 реальности 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.

Но даже при таких рисках следует учитывать, что игровые технологии делают обучение более увлекательным и эффективным, значительно активизируют учебную деятельность обучающихся при интегрировании их в учебный процесс в сочетании с традиционными технологиями обучения.

Создание видеоигр, также известное как «геймдев», представляет собой комплексный процесс разработки и реализации игрового продукта. Данная деятельность объединяет ряд задач, таких как [8, 9, 10 и др.]:

- ✓ 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).

В процессе разработки игры выделяют следующие этапы:

- ✓ концепция и предпроизводство;

- ✓ прототипирование;
- ✓ основная разработка;
- ✓ альфа- и бета-тестирование;
- ✓ релиз и пост-релизная поддержка;
- ✓ анализ результатов;

Рассмотрим некоторые аспекты разработки игровых приложений. 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. Как некоторые задачи бэкенда определим следующие:

- ✓ 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.

В проекте бэкенд чаще всего реализуется на Java с использованием Spring Boot – фреймворка, который предоставляет инструменты для быстрой разработки микросервисов и RESTful API, что обусловлено преимуществами 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 игровых приложениях должен быть реализован следующий потенциал:

- ✓ 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 необходима разработка специализированных алгоритмов 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, что обеспечивает корректное функционирование системы в целом. В рамках разработки игры также необходима реализация комплексных расчетов ключевых производственных показателей, включая:

- ✓ баланс ресурса потребления и производства при обработке реголита, сжигании 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, разработка видеоигр представляет собой сложный, многогранный процесс, объединяющий технические, творческие и управленческие аспекты. 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.

Литература

1. Игровое обучение: электронный ресурс / Википедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 22.04.2026).
2. Виштак, Н.М., Лебедева, Я.В. Геймификация дополнительного образования / Н.М. Виштак, Я.В. Лебедева // Сборник научных трудов «Актуальные тренды в современном образовании»: в 2 ч. – Ч. 2. – Саратов : Саратовский источник, 2022. – С. 129-132.
3. Виштак, Н.М., Карпова, А.В. 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.
4. Геймификация : электронный ресурс / Википедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org>

(дата обращения: 22.04.2026).

5. Виштак, О.В., Мамедов, Р.Р. Компьютерные игры как эффективный инструмент обучения / О.В. Виштак, Р.Р. Мамедов // Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2021. – Т. I. – С. 166-172.
6. Штырова, И.А., Панина, О.И. Особенности использования игровых технологий при обучении информатике / И.А. Штырова, О.И. Панина // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Формирование профессиональной направленности личности специалистов – путь к инновационному развитию России». – Пенза: МНИЦ ПГАУ, 2019. – С. 157-161.
7. Разработка видеоигр : электронный ресурс / Википедия. — URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.22dc1f18-6807d077-19ffe315-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Video_game_development (дата обращения: 22.04.2026).
8. Московцев, А.А., Виштак, Н.М. Инструментальные средства разработки программного модуля игрового приложения / А.А. Московцев, Н.М. Виштак // Сборник статей участников X Международной научно-практической конференции «Web-технологии в образовании: традиции, инновации, опыт». – Арзамас, 2024. – С. 114-117.
9. Geeks for geeks: электронный ресурс // Backend Development. – URL: <https://www.geeksforgeeks.org/backend-development/?ysclid> (дата обращения: 22.04.2026).

УДК 378.147

Инновационные технологии как средство формирования профессиональных компетенций в системе высшего образования

Скобликова Екатерина Андреевна, старший преподаватель

Вольский военный институт материального обеспечения, г. Вольск

В статье рассматривается роль инновационных технологий в формировании профессиональных компетенций студентов системы высшего образования. Раскрывается содержание понятий «профессиональная компетенция» и «инновационные образовательные технологии». Предлагается классификация инновационных технологий по характеру формируемых навыков и способу интеграции в учебный процесс. Анализируется влияние цифровых платформ, иммерсивных технологий, искусственного интеллекта, геймификации, проектных методов и других инновационных инструментов на подготовку конкурентоспособных специалистов. Выделяются ключевые вызовы и ограничения, возникающие при внедрении инноваций в образовательный процесс, а также предлагаются рекомендации по их преодолению.

Современная система высшего образования переживает глубокую трансформацию, обусловленную стремительным развитием технологий, изменениями на рынке труда и переходом к компетентностной парадигме обучения.

Федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования (ФГОС ВО) в качестве основного результата освоения образовательных программ закрепляют компетенции, то есть способность применять знания, умения, навыки и личностные качества для успешной деятельности в различных профессиональных либо жизненных ситуациях [7].

В соответствии с классификацией, принятой во ФГОС, компетенции подразделяются на универсальные (обеспечивающие успешность независимо от направления подготовки), общепрофессиональные (инвариантные для целой области профессиональной деятельности) и профессиональные (отражающие способность выполнять трудовые функции конкретного вида деятельности). Именно профессиональные компетенции составляют ядро подготовки специалиста, определяя его готовность решать типовые и нетиповые задачи в избранной сфере [7].

Ключевая проблема, стоящая сегодня перед высшей школой, заключается в поиске эффективных инструментов формирования профессиональных компетенций в условиях цифровизации и быстрого обновления требований к специалистам. Одним из наиболее перспективных ответов на этот вызов стало широкое внедрение инновационных образовательных технологий.

Под инновационными образовательными технологиями понимаются новаторские решения и подходы, направленные на целенаправленное, осмысленное изменение педагогической деятельности через разработку и введение новых способов работы, новых средств и организационных форм, которые повышают эффективность и доступность образовательного процесса, делают его более гибким и адаптированным к изменениям в социальной и технологической среде [1]. В зависимости от степени новизны можно выделить три уровня инноваций:

- высший, предполагающий создание принципиально нового образовательного продукта, не имеющего аналогов;
- уровень модернизации, то есть усовершенствования известного продукта с внесением значительных изменений;
- уровень адаптации, при котором известное решение применяется в новых условиях или с новыми целями [8].

Классификация инновационных образовательных технологий может быть построена по нескольким основаниям.

По характеру формируемых навыков можно выделить технологии, ориентированные на развитие «твёрдых» навыков (профессиональных предметных знаний и умений) и технологии развития «гибких» навыков (коммуникативных, организаторских, управленческих).

По способу организации учебной деятельности различают синхронные и асинхронные технологии, а также технологии смешанного обучения, сочетающие очное и дистанционное взаимодействие.

По степени интеграции с цифровой средой выделяют полностью цифровые технологии, гибридные и технологии, лишь частично использующие цифровые инструменты. Опыт российских и зарубежных вузов показывает, что наиболее эффективным является комплексное применение различных инновационных технологий, подобранных в соответствии с профилем подготовки и этапом обучения [2].

В числе наиболее значимых инновационных технологических решений, влияющих на формирование профессиональных компетенций, выделяются следующие [1].

Цифровые образовательные платформы LMS (Learning Management System) представляют собой базовый элемент современной цифровой образовательной среды. Они обеспечивают централизованное хранение учебных материалов, организацию коммуникации между участниками образовательного процесса, контроль успеваемости и автоматизацию многих рутинных операций. Как отмечается в исследовании, посвящённом цифровой трансформации высшего образования, применение электронных учебников и цифровых образовательных ресурсов позволяет расширять образовательное пространство и формировать цифровые компетенции у студентов и преподавателей [2].

Иммерсивные технологии, к которым относятся виртуальная реальность VR (Virtual Reality) и дополненная реальность AR (Augmented Reality), открывают принципиально новые возможности для профессиональной подготовки. Погружение студентов в реалистичные профессиональные ситуации позволяет отрабатывать практические навыки в безопасной контролируемой среде, многократно повторять сложные действия, изучать объекты, недоступные для непосредственного наблюдения. Применение цифровых симуляторов помогает студентам лучше понять и освоить сложные концепции, формируя не только предметные знания, но и профессиональные умения их практического применения [6].

Технологии искусственного интеллекта (ИИ) оказывают всё более значимое влияние на образовательный процесс. По данным опросов, 80% преподавателей и 70% студентов одобряют использование искусственного интеллекта в образовании, хотя 5%

студентов и 15% преподавателей по-прежнему считают внедрение нейросетей недопустимым [3]. Возможности ИИ в контексте высшего образования включают внедрение персонализированных подходов к обучению, автоматизацию оценивания знаний и оптимизацию управления образовательными учреждениями [4].

Авторы, исследующие влияние генеративных нейронных сетей на формирование профессиональных компетенций, выделяют ограниченную возможность их использования обучающимися в силу недостаточного уровня развития у них абстрактного, критического и системного мышления и предупреждают о возможном атрофировании некоторых элементов индикаторов профессиональных компетенций при некритичном применении [5]. Таким образом, внедрение ИИ требует взвешенного методического подхода.

Проектные технологии и проблемно-ориентированное обучение (Problem-Based Learning) занимают особое место среди инновационных методов. Они предполагают самостоятельную работу студентов над реальными или максимально приближенными к реальному профессиональными задачами, что способствует формированию не только предметных компетенций, но и таких метанавыков, как умение работать в команде, распределять ресурсы, презентовать результаты.

В мировой практике к числу наиболее эффективных инновационных технологий относят перевёрнутый класс (Flipped Classroom), проблемно-ориентированное обучение, кейс-метод, совместное международное онлайн-обучение COIL (Collaborative Online International Learning) и геймификацию – инструменты, которые исследователи оценивают по критериям вовлечённости студентов, глубины усвоения материала и формирования профессиональных компетенций [6].

Геймификация, применение игровых механик в неигровом контексте, становится мощным инструментом повышения мотивации и вовлечённости студентов в образовательный процесс. Использование баллов, уровней, достижений, рейтингов и соревновательных элементов позволяет превратить освоение профессиональных компетенций в увлекательное занятие, способствует формированию настойчивости в достижении целей и развитию навыков самоорганизации. При этом важно подчеркнуть, что геймификация не сводится к развлечению; при грамотном методическом проектировании она становится эффективным инструментом формирования профессионально значимых качеств [8].

Наряду с очевидными преимуществами внедрение инновационных технологий в высшее образование сопряжено с рядом вызовов и ограничений. Прежде всего, это необходимость повышения цифровой компетентности преподавателей, многие из

которых испытывают трудности при освоении новых инструментов и методик. Вторым значимым ограничением выступает неравномерность доступа к технологической инфраструктуре как между разными вузами, так и между студентами. Третьим вызовом является трудоёмкость разработки качественного учебного контента для новых технологических сред, требующая дополнительных временных и финансовых затрат. Наконец, остаются не до конца решёнными вопросы оценки сформированности профессиональных компетенций при использовании инновационных форматов обучения: традиционные экзаменационные процедуры не всегда адекватны новым образовательным результатам [1][8].

Новый вектор развития системы высшего образования задаёт концепция Future Skills – компетенций будущего, необходимых для профессий, которые ещё не существуют. Современные исследования выделяют четыре компонента такого набора навыков: решение проблем, самоуправление (самоменеджмент), работа с людьми, использование и развитие технологий [9]. Формирование этих универсальных компетенций в значительной степени опирается именно на инновационные образовательные технологии, которые позволяют моделировать сложные, неопределённые, междисциплинарные задачи и создавать условия для развития адаптивности и готовности к непрерывному обучению.

На основе проведённого обзора можно сформулировать ряд рекомендаций по эффективному использованию инновационных технологий для формирования профессиональных компетенций в системе высшего образования.

Первая рекомендация – переход от фрагментарного к системному внедрению инноваций, предполагающему не отдельные «технологические вкрапления», а целостную трансформацию образовательной среды.

Вторая рекомендация – методическое сопровождение внедрения, включающее повышение квалификации преподавателей, разработку соответствующих учебно-методических материалов и систем оценивания.

Третья рекомендация – учёт специфики направления подготовки при выборе технологий: для инженерного образования наиболее востребованы симуляторы и цифровые двойники, для гуманитарного – технологии искусственного интеллекта для анализа текстов и языковые корпуса, для управленческого – деловые игры и кейс-метод.

Четвёртая рекомендация – постоянный мониторинг эффективности внедряемых технологий и гибкая адаптация образовательного процесса к меняющимся условиям и новым технологическим возможностям.

Представленный анализ позволяет заключить, что инновационные технологии выступают не просто вспомогательным инструментом, а важнейшим средством формирования профессиональных компетенций в системе высшего образования. Они создают условия для персонализации обучения, погружения в профессиональную среду, развития практических навыков, формирования метакомпетенций и готовности к непрерывному профессиональному развитию.

Однако эффективность их применения напрямую зависит от методической продуманности, системности внедрения и готовности преподавателей и студентов к работе в новых образовательных условиях. Ключевой вывод состоит в том, что инновационные технологии сами по себе не гарантируют формирования профессиональных компетенций; таковую гарантирует лишь их целенаправленное, методически обоснованное и педагогически целесообразное использование в рамках целостной образовательной системы. Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой конкретных методик преподавания с использованием иммерсивных технологий и систем искусственного интеллекта применительно к различным направлениям подготовки, а также с созданием надёжных инструментов оценки сформированности профессиональных компетенций в условиях цифровой трансформации высшего образования.

Литература

1. Багаутдинова, А.Ш., Клещева, И.В. Инновационные образовательные технологии в высшем образовании [Электронный ресурс] / А.Ш. Багаутдинова, И.В. Клещева // Проблемы современной экономики. — 2014. — № 1 (49). — URL: <https://ideas.repec.org/a/scn/031903/16414692.html> (дата обращения: 30.04.2026).
2. Артемьев, Д.М. Трансформация высшего образования [Электронный ресурс] / Д.М. Артемьев // Молодой ученый. — 2025. — № 43 (594). — С. 294–296. — URL: <https://moluch.ru/archive/594/129511> (дата обращения: 30.04.2026).
3. Павлова, А.Б., Барышева, Е.В. Искусственный интеллект в образовании: отношение студентов и преподавателей высшей школы / А.Б. Павлова, Е.В. Барышева // Вестник Государственного гуманитарно-технологического университета. — 2025. — № 4. — С. 118–126.
4. Гомонов, И.С., Сорокина, А.Е. Возможности искусственного интеллекта в контексте высшего образования [Электронный ресурс] / И.С. Гомонов, А.Е. Сорокин // Научный журнал Сибирского федерального университета. — 2025. — Т6, №2 – С.73-81 – URL: <https://www.scholar.sfu-kras.ru/publication/82373243> (дата обращения: 30.04.2026).

5. Бородавко, Л.С. О влиянии генеративных нейронных сетей на формирование профессиональных компетенций как результата освоения образовательной программы высшего образования [Электронный ресурс] / Л.С. Бородавко // Управление образованием. — 2025. — Т. 15. — URL: <https://emreview.ru/index.php/emr/article/view/2704> (дата обращения: 30.04.2026).
6. Амангожаева, А.Б., Амангожаева, Е.Б., Маркелова, М.А. и др. Современные интерактивные технологии в высшем образовании: влияние на эффективность обучения [Электронный ресурс] / А.Б. Амангожаева, Е.Б. Амангожаева, М.А. Маркелова и др. // Известия КазУМОиМЯ имени Абылай хана, серия «Педагогические науки». — 2025. — № 3 (78). — URL: <https://bulletin-pedagogical.ablaikhan.kz/index.php/j1/article/view/1807> (дата обращения: 30.04.2026).
7. Компетенции как основной результат обучения [Электронный ресурс] // Справочник преподавателя. — Москва: Российский университет дружбы народов. — URL: <https://gumsoc.rudn.ru/ru/educational-process/teachers-handbook/> (дата обращения: 30.04.2026).
8. Инновационные технологии в образовании [Электронный ресурс] // Инфоурок. — URL: <https://infourok.ru/innovacionnie-tehnologii-v-obrazovanii-2270947.html> (дата обращения: 30.04.2026). — Текст: электронный.
9. Khlaisang J., Koraneekij P. Future skill set of higher education learners: confirmatory factor analysis // International Journal of Mobile Learning and Organisation. — 2025. — Vol. 19, № 2. — P. 135–155.

СЕКЦИЯ №3
«ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

УДК 69.04

**Аддитивные технологии в современном строительстве: мировой опыт,
перспективы развития**

Андреева Наталья Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры
«Промышленное и гражданское строительство»

Анашкин Николай Сергеевич, студент направления «Строительство»

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

В статье анализируется применение аддитивных технологий (3D-печати) в строительной отрасли, их текущие достижения и перспективы развития. Рассматриваются ключевые принципы технологии послойного синтеза конструкций, позволяющей создавать сложные архитектурные формы с высокой точностью и минимальными отходами материалов. Анализируется состояние нормативной базы в России, включая действующие стандарты и технические регламенты, регулирующие применение аддитивных технологий в строительстве.

Аддитивные технологии в строительстве – это методы послойного наращивания и синтеза объектов с помощью 3D-печати, которые позволяют создавать строительные конструкции путём последовательного нанесения материала согласно цифровой модели. Эти технологии открывают новые возможности для ускорения строительства, снижения затрат, создания сложных архитектурных форм и решения специфических задач отрасли.

Пилотные объекты, возведённые с применением аддитивных технологий, начали появляться в разных странах (включая Россию) [1] в период с 2014 по 2016 год. К 2026 году количество таких объектов в мире значительно выросло.

Подходы к применению аддитивных технологий различаются в зависимости от региона. В США, Мексике, Индии и странах Африки акцент делается на типовых оптимизированных проектных решениях для снижения себестоимости строительства. В Европе и на Ближнем Востоке реализуются более дорогие дизайнерские проекты с уникальной архитектурой. В Китае активно развивается заводское аддитивное производство для печати мелко- и крупногабаритных сборных элементов зданий.



Рисунок 1 – Проект ТЕСЛА (Италия). Компания WASP построила экологичный дом из перерабатываемых материалов с использованием модульного 3D-принтера Crane WASP. Проект направлен на популяризацию строительства с низким уровнем выбросов углекислого газа



Рисунок 2 – Школа на Мадагаскаре от Thinking Huts. Здание создано с помощью двухметровой роботизированной руки, в качестве материала использовался цемент



Рисунок 3 – Мечеть в ОАЭ. Строительство началось в 2022 году. Для возведения здания используется роботизированный 3D-принтер, который печатает материалы со скоростью 2 м² в час



Рисунок 4 – Отель Sunday Homes в Техасе. Компания ICON восстановила заброшенный отель El Cosmico, построив новые здания из бетона с помощью 3D-печати. Они получили цилиндрическую форму и песочную расцветку, чтобы гармонично вписаться в степной ландшафт



Рисунок 5 – Шарообразный дом в Японии от Serendix. 20-тонный каркас здания изготовлен из бетона при помощи 3D-печати. Дом имеет усиленные стены, соответствующие европейским требованиям к шумоизоляции и японским стандартам сейсмоустойчивости



Рисунок 6 – Общественно-культурный центр «Мелля» в России. Первое здание, прошедшее государственную экспертизу проектной документации. Построен компанией «3Д Арт» по заказу «Татнефти»

Нормативные документы, регулирующие 3D-печать в строительстве, включают как российские, так и международные стандарты. Эти документы устанавливают требования к материалам, технологиям, безопасности и качеству конструкций,

созданных с помощью аддитивных методов. Однако система регулирования в этой сфере пока находится в стадии развития, что создаёт определённые сложности для широкого внедрения технологии.

Нормативная база в области аддитивных технологий развивается, но пока не обеспечивает полного покрытия всех аспектов технологии. Ключевые проблемы связаны с адаптацией традиционных норм к специфике аддитивных методов, различиями в международных подходах и необходимостью дополнительных испытаний. Для ускорения внедрения 3D-печати в строительной сфере требуется:

- разработка специализированных стандартов, учитывающих особенности аддитивных технологий;
- гармонизация российских и международных норм;
- создание методик испытаний для специфических параметров (например, реологических свойств смесей, адгезии слоёв);
- обновление образовательных программ для подготовки специалистов, знакомых с новыми требованиями.

Современные тенденции в области строительной 3D-печати демонстрируют стремительное развитие по нескольким стратегическим направлениям, каждое из которых открывает новые перспективы для отрасли.

Интеграция гибридных систем. Особое внимание уделяется созданию комбинированных технологических решений, объединяющих аддитивное производство с традиционными строительными методами. Перспективным направлением становится внедрение роботизированных комплексов, оснащённых системами компьютерного зрения и элементами искусственного интеллекта. Такие системы позволяют осуществлять динамическое планирование строительных операций в реальном времени, значительно повышая точность и эффективность процессов возведения конструкций.

Инновационные строительные материалы. Активно ведутся исследования в области разработки новых составов строительных смесей для 3D-печати. Особый интерес представляют лёгкие высокопрочные бетоны, модифицированные различными добавками. Например, внедрение микросфер в состав бетонных смесей позволяет существенно снизить массу конструкций при сохранении их несущей способности. Параллельно разрабатываются специализированные полимерные и композитные материалы, расширяющие возможности аддитивного строительства [2].

Расширение областей применения. Сфера использования строительной 3D-печати выходит за рамки традиционного жилищного строительства. Технология

находит применение при создании объектов транспортной инфраструктуры: от модульных логистических центров до элементов автозаправочных станций и конструкций для автомобильных и железнодорожных магистралей. Особую актуальность аддитивные технологии приобретают при освоении труднодоступных регионов, таких как Арктическая зона, где возможность быстрого возведения сооружений с минимальным использованием человеческих ресурсов становится критически важной.

Персонализация строительных решений. Развитие технологий позволяет реализовывать концепцию массовой кастомизации в строительстве. Появляются новые бизнес-модели, предполагающие продажу земельных участков с уже подготовленными фундаментами, оптимизированными под последующую 3D-печать индивидуальных жилых домов. Это создаёт предпосылки для формирования нового сегмента рынка – персонализированного жилья, сочетающего преимущества серийного производства с возможностью реализации уникальных архитектурных решений.

Повышение энергоэффективности. Аддитивные технологии открывают новые возможности в области создания энергоэффективных зданий. Свобода формообразования, предоставляемая 3D-печатью, позволяет оптимизировать конструкции с точки зрения теплотехнических характеристик. Одновременно ведётся разработка специальных теплоизоляционных составов для печати, способных существенно улучшить энергетические показатели сооружений.

Указанные направления формируют комплексный подход к трансформации строительной отрасли, где аддитивные технологии становятся катализатором изменений. Дальнейшее развитие этих направлений предполагает тесное взаимодействие между научно-исследовательскими центрами, производителями строительных материалов и разработчиками специализированного оборудования. Особое значение приобретает вопрос стандартизации процессов и создание нормативной базы, способной обеспечить безопасное и эффективное внедрение инновационных решений в массовое строительство.

Литература

1. Неустроев, Д.В., Овчинников, И.Г. Аддитивные технологии и их применение в промышленном и транспортном строительстве / Д.В. Неустроев, И.Г. Овчинников. // Вестник Евразийской науки. – 2021. – №2. – URL: <https://esj.today/PDF/26SAVN221.pdf> (дата обращения: 21.04.2026).
2. Голова, Т. А. Опыт использования аддитивных технологий в малоэтажном строительстве / Т. А. Голова, Л. Д. Зотов // Актуальные проблемы и пути развития

энергетики, техники и технологий: Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции, Балаково, 23 апреля 2020 года. Том 2. – Балаково: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2020. – С. 11-20.

УДК 69.04

Бетон как основной материал в современном строительстве: свойства, классификация и технологии применения

Андреева Наталья Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры

«Промышленное и гражданское строительство»

Слободяник Ксения Константиновна, студент направления «Строительство»

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

В статье рассматривается роль бетона в современном строительстве, его физико-механические свойства, классификация и технологии применения. Бетон представлен как материал, обладающий высокой прочностью, долговечностью, экономичностью и устойчивостью к внешним воздействиям. Особое внимание уделено классификации бетона по прочности на сжатие, плотности и виду вяжущего вещества, а также его применению в различных типах конструкций — от жилых и промышленных зданий до мостов и дорожных покрытий.

Анализируются современные технологии возведения железобетонных конструкций, включая монолитное бетонирование, сборный железобетон и инновационные методы, такие как 3D-печать и самоуплотняющиеся смеси. Подчеркивается влияние условий эксплуатации (влажность, температурные перепады, агрессивные среды) на выбор типа бетона и методов его укладки.

Статья также затрагивает перспективы развития бетона как конструкционного материала, связанные с повышением его экологичности, энергоэффективности и адаптивности к требованиям современного строительства.

В современной строительной индустрии бетон занимает одну из главных позиций в качестве основного материала для создания несущих конструкций. Универсальность, надежность и доступность делают его незаменимым при возведении зданий и сооружений различного назначения. Бетон обладает рядом уникальных характеристик, включая высокую долговечность, пластичность, экономическую эффективность, огнестойкость и устойчивость к механическим нагрузкам. Благодаря этим свойствам он стал основным материалом для производства железобетонных конструкций, которые широко применяются в гражданском, промышленном и транспортном строительстве.

Основным критерием оценки качества бетона является его прочность на сжатие, которая определяет способность материала выдерживать значительные нагрузки без разрушения. В зависимости от проектных требований бетон подразделяется на классы

по прочности, обозначаемые, например, В15, В20, В25 и т. д. Выбор конкретного класса зависит от типа возводимой конструкции и условий ее эксплуатации. Например, для строительства многоэтажных жилых зданий применяются высокопрочные марки бетона (В25–В40), тогда как в малоэтажном строительстве могут использоваться менее прочные составы (В15–В20) [1].

Помимо прочности, важными характеристиками бетона являются его морозостойкость, водонепроницаемость и устойчивость к агрессивным средам. Эти свойства особенно актуальны при строительстве в регионах с суровым климатом или повышенной влажностью. Современные технологии позволяют модифицировать бетонные смеси с помощью различных добавок (пластификаторов, гидрофобизаторов, воздухоовлекающих компонентов), что значительно расширяет область их применения.

Бетон классифицируется не только по прочности, но и по другим параметрам, таким как плотность, вид вяжущего вещества и назначение. По плотности различают особо тяжелые (более 2500 кг/м³), тяжелые (1800–2500 кг/м³), легкие (500–1800 кг/м³) и особо легкие (менее 500 кг/м³) бетоны [1]. Каждый из этих типов имеет свою сферу применения: тяжелые бетоны используются в несущих конструкциях, легкие – в теплоизоляционных панелях, а особо тяжелые – в защитных сооружениях (например, в атомной энергетике).

В зависимости от вида вяжущего вещества выделяют цементные, силикатные, гипсовые и полимербетоны. Наиболее распространенными являются цементные бетоны, которые применяются в монолитном строительстве, производстве сборных железобетонных изделий и дорожных покрытий. Силикатные бетоны, получаемые на основе извести, используются реже, но обладают высокой устойчивостью к высоким температурам. Гипсовые бетоны применяются преимущественно для внутренней отделки, а полимербетоны – в специальных конструкциях, требующих повышенной химической стойкости.

Строительство железобетонных конструкций осуществляется с использованием различных технологий, выбор которых зависит от масштабов проекта, условий строительства и требований к качеству. Традиционный метод монолитного бетонирования предполагает заливку бетонной смеси в опалубку непосредственно на строительной площадке. Этот способ обеспечивает высокую прочность и монолитность конструкции, но требует значительных временных затрат на набор прочности бетона.

Альтернативой монолитному строительству является применение сборного железобетона, при котором конструкции изготавливаются на заводах и доставляются на стройплощадку в готовом виде. Этот метод позволяет значительно сократить сроки строительства и минимизировать влияние погодных условий на процесс возведения

зданий. Однако он требует точного проектирования и наличия специализированной техники для монтажа.

Современные технологии, такие как 3D-печать бетоном и самоуплотняющиеся смеси, открывают новые возможности для строительной отрасли. 3D-печать позволяет создавать сложные архитектурные формы с высокой точностью, а самоуплотняющиеся бетоны исключают необходимость вибрирования, что упрощает процесс укладки и повышает качество конструкций [2].

Бетон остается одним из самых востребованных строительных материалов благодаря своей универсальности, прочности и адаптивности к различным условиям эксплуатации. Современные технологии производства и укладки бетонных смесей позволяют расширять сферу его применения, делая его незаменимым как в традиционном, так и в инновационном строительстве. Дальнейшее развитие бетонных технологий будет направлено на повышение экологичности, долговечности и энергоэффективности этого материала, что соответствует глобальным тенденциям устойчивого развития строительной отрасли.

Литература

1. СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» (с Изменениями N 1, 2) / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. – Москва: Стандартинформ, 2018. – Текст: электронный.
2. Голова, Т. А. Опыт использования аддитивных технологий в малоэтажном строительстве / Т. А. Голова, Л. Д. Зотов // Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий: Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции, Балаково, 23 апреля 2020 года. Том 2. – Балаково: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2020. – С. 11-20.

УДК 624.131.54

Новый метод достоверной оценки НДС грунтового основания под фундаментом мелкого заложения с использованием датчиков нового поколения

¹Землянский Анатолий Андреевич, доктор технических наук, профессор кафедры
«Промышленное и гражданское строительство»;

²Андросов Андрей Витальевич, студент направления «Строительство»;

^{1,2}Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

В работе представлены результаты принципиально новых исследований модели ленточного фундамента в условиях плоской деформации с использованием датчиков нового поколения для оценки НДС модели грунтового основания в пределах активной зоны. В результате выявлена форма ядра жесткости под подошвой исследуемого фундамента и болевые точки резкой концентрации напряженно-деформированного состояния грунта в зоне его вершины, что по мнению автора требует соответствующего учета при оценке деформационного поведения проектируемого фундамента.

Все фундаменты мелкого заложения, согласно существующей статистики массового строительства различных инженерных объектов, являются наиболее востребованными и многочисленными при использовании в строительстве зданий и сооружений различного назначения.

Указанные фундаменты относятся к наиболее ответственным несущими конструкциями возводимых зданий и сооружений, так как на их устройство затрачиваются серьёзные материальные и финансовые ресурсы, объём которых в среднем достигает не менее 15%, а в сложных инженерно-геологических условиях и при значительной интенсивности внешней нагрузки последние могут превышать 20-25% [1, 2].

Расчетом, формированием аналитических моделей и экспериментальным исследованием работы фундаментов мелкого заложения в XX веке занимались такие ведущие учёные, как В.В.Соколовский, В.Г.Березанцев, А.Н.Богомолов, Л.А.Бартоломей, Ф.Г.Габибов, М.Н.Гольдштейн, М.И.Горбунов-Посадов, М.С.Грицук, В.П.Дыб, С.И.Евтушенко, Ю.К.Зарецкий, К.В.Королев, В.И.Курдюмов, М.В.Мальшев, Н.Н.Маслов, Э.И.Мулюков, Ю.Н.Мурзенко, Е.М.Перлей, А.В.Пилягин, А.И.Полищук, Н.П.Пузыревский, А.П.Пшеничкин, Г.М.Скибин, В.В.Соколовский, Ю.И.Соловьев, Е.А.Сорочан, Л.Р.Ставицер, З.Г.Тер-Мартirosян, И.В.Федорова, В.Г.Федоровский, В.А.Флорин, Н.А.Цытович, Д.М.Шапиро, K.Akai, R.Hilscher, H.Lundgren, G.G.Meyerhof, K.Mortensen, J.F.Nixon, L.Prandtl, K.Terzaghi, R.F.Scott, Z.Mroz и другие [3, 4, 5].

Тем не менее, до сих пор в области изучения характера распределения НДС под подошвой фундаментов мелкого заложения в пределах активной зоны имеется много вопросов, на которые пока нет абсолютно обоснованных и экспериментально подтверждённых ответов.

Именно поэтому настоящая работа направлена на экспериментальное уточнение фактического распределения НДС под подошвой рассматриваемых фундаментов.

Согласно работам Пузыревского Н.П. [6], график зависимости осадки от внешней нагрузки можно условно разделить на три фазы деформирования.

Первая называется фазой уплотнения грунта, вторая – фазой образования локальных сдвигов и, наконец, третья фаза выпоров, характеризуется образованием сплошных зон сдвигов грунта, выходящих на дневную поверхность.

По Пузыревскому конец первой фазы характеризуется начальным критическим давлением $P_{\text{крит}}^{\text{нач}}$, которое абсолютно безопасно для грунтового основания с полным отсутствием каких-либо пластических деформаций под подошвой исследуемого фундамента. Конец второй фазы характеризуется наличием в краевой зоне фундамента областей предельного равновесия с пластическими деформациями на $1/4$ глубину от активной ширины фундамента ($b/4$), указанное давление принимается за расчетное сопротивление R , которое используется при определении требуемой площади проектируемого фундамента. Конец третьей фазы деформирования характеризуется предельным критическим давлением $P_{\text{крит}}^{\text{пред}}$, при котором возникает новая расчетная схема включающая в себя конический переуплотнённый грунтовой массив – так называемое ядро жесткости – возникающее непосредственно под подошвой исследуемого фундамента и сплошные поверхности скольжения, выходящие на поверхность грунтового основания, с мгновенным переходом грунтового основания в предельное состояние, характеризующее либо полной потерей устойчивости грунта, либо лавинообразным нарастанием осадков, которые происходят без увеличения нагрузок за счёт перемещения и выпора грунта из-под подошвы фундамента по линиям скольжения с выходом последнего на дневную поверхность основания [7].

В существующей нормативной литературе установлено, что только в конце третьей фазы деформирования грунта под подошвой фундамента мелкого заложения возникает ядро жесткости, резко изменяющее всю расчётную схему работы и деформационного поведения исследуемого фундамента. Этот процесс приводит к тому, что вся внешняя нагрузка, воспринимаемая телом фундамента, начинает передаваться на несущий слой грунтового основания не по всей площади подошвы, а через остриё вершины ядра жесткости. И именно этот факт приводит на практике к тому, что всё грунтовое основание переходит в предельное состояние.

На практике данный факт был зарегистрирован экспериментально в начале двадцатого века только методами фотофиксации, в частности, профессорами Курдюмовым В.И. и Малышевым М.В. [8, 9].

Расчетные значения начального критического давления $P_{\text{крит}}^{\text{нач}}$ при $z = 0$ в конце первой фазы деформирования и расчетное сопротивление грунта соответственно в конце второй фазы можно определить, воспользовавшись формулой Н.П. Пузыревского:

$$P_{\text{крит}} = \frac{\pi}{\text{ctg}\varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}} \cdot (\gamma z_{\text{max}} + \gamma^* h + c \cdot \text{ctg}\varphi) + \gamma h, \quad (1)$$

где $P_{\text{крит}}$ – критическое напряжение под подошвой фундамента,

π – соотношение длины окружности к диаметру круга для осесимметричной задачи,

φ – угол внутреннего трения грунта,

z_{max} – ордината области предельного равновесия грунта,

γ – удельный вес грунта под подошвой фундамента,

γ^* – удельный вес грунта обратной засыпки,

h – глубина заложения фундамента,

c – удельное сцепление грунта.

Формула для определения начального критического давления при ($z = 0$) имеет следующий вид:

$$P_{\text{крит}}^{\text{нач}} = \frac{\pi(\gamma^* h + c \cdot \text{ctg}\varphi)}{\text{ctg}\varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}} + \gamma h, \quad (2)$$

При $z_{\text{max}} = 0.25b$, где b – активная ширина фундамента, $P_{\text{крит}}$ становится равным расчетному сопротивлению грунта – R , которое можно определить по следующей затабулированной формуле на основе пункта 5.6.7 СП 22.13330.2016 [10]:

$$R = \frac{\gamma_{c1} \gamma_{c2}}{k} \cdot [M_{\gamma} k_z b \gamma_{\text{II}} + M_q d_1 \gamma_{\text{II}}^* + M_c c_{\text{II}}], \quad (3)$$

где γ_{c1} и γ_{c2} – коэффициенты условий работы, принимаемые в зависимости от вида грунта и жесткости возводимого здания,

k – коэффициент надежности, принимаемый в зависимости от метода определения прочностных характеристик грунта,

k_z – поправочный коэффициент, принимаемый в зависимости от ширины фундамента;

M_{γ} , M_q , M_c – коэффициенты, принимаемые в зависимости от нормативной величины угла внутреннего трения грунта,

b – ширина фундамента,

γ_{II} – нормативное значение удельного веса грунта под подошвой,

γ_{II}^* – нормативное значение удельного веса грунта обратной засыпки,

c_{II} – нормативное значение удельного сцепления грунта,

d_1 – глубина заложения фундамента от уровня планировки.

Формула для предельного критического давления имеет следующий вид:

$$P_{\text{крит}}^{\text{пред}} = (q + c \cdot \text{ctg} \varphi) \cdot \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \cdot e^{\pi \cdot \text{tg} \varphi} - c \cdot \text{ctg} \varphi, \quad (4)$$

где q – интенсивность боковой пригрузки от собственного веса грунта,

e – основание натурального логарифма.

С целью экспериментально обоснования появления под подошвой фундамента ядра жесткости и оценки изменения в результате этого явления не только расчетной схемы, но и характера напряженно деформированного состояния исследуемого грунтового основания в настоящей работе был разработан специальный лоток размером 100x70x20 см. с прозрачной боковой стенкой, с целью испытания модели ленточного фундамента в условиях плоской задачи. Модель ленточного фундамента имела следующие размеры: $B=10$ см. $L=20$ см. $H=5$ см. Загрузка модели фундамента производилась с помощью высокоэффективной пневматической системы, позволяющей с дискретностью 0.20 кг/см^2 ступенями прикладывать неизменяемо стабильную внешнюю нагрузку на модель фундамента от нуля до 10 кг/см^2 независимо от величины возникающих при этом деформации грунта.

Активная пригрузка грунтового основания на глубине залегания подошвы фундамента моделировалась также пневматически и принималась, что подошва исследуемого фундамента находится на глубине 1.2 метра. Модель грунтового основания формировалось из среднезернистого песка имеющего следующие базовые характеристики: угол внутреннего трения 38° ; плотность грунта 1.7 г/см^3 ; влажность грунта 8 %; пористость грунта 0.75; модуль общей деформации 70 кг/см^2 . Для измерения осадки модели фундамента использовались прогибомеры Максимова, а для оценки НДС грунтового основания была разработана инновационная цифровая система мониторинга для измерения фактического распределения напряжения в грунте и месдозы нового поколения, работающие на основе использования нетрадиционного активного материала, сопротивление которого практически линейно зависит от приложенного к разработанной месдозе внешнего давления. Используемые датчики имеют следующие характеристики: модуль упругости более 1000 кг/см^2 ; диаметр внешний 20 мм.; высота менее 4 мм; До начала практического использования разработанных инновационных датчиков, последние были протарированны в специальной тарировочной емкости и в результате установлено, что разрешающая способность последних достигает более $0,005 \text{ кг/см}^2$ [11] что значительно выше всех существующих современных аналогов.

На первом этапе, используя вышеприведенные формулы, авторы настоящей работы аналитически определили теоретические значения начального критического давления на грунт, расчетное сопротивление и предельное критическое давление на исследуемую модель грунтового основания. При этом указанные давления для рассматриваемой модели грунта имели следующие значения: начальное критическое давление 0.276 кг/см^2 ; расчетное сопротивление около 2 кг/см^2 ; предельное критическое давление более 10 кг/см^2 .

На втором этапе, учитывая отмеченное, в ходе проведенных экспериментов была построена зависимость осадки фундамента от интенсивности внешнего давления передаваемого по подошве фундамента на грунт, приведённая в таблице 1. При детальном анализе было установлено, что в первой фазе деформирования грунта указанная зависимость практически абсолютно линейна, во второй фазе рассматриваемая зависимость носит незначительно нелинейный характер и, наконец, в третьей фазе начинает возникать интенсивно нелинейный характер деформирования грунта, что сопоставимо с теоретическими прогнозами предсказанными проф. Пузыревским Н.П.

Таблица 1 – Зависимость осадки модели фундамента от интенсивности внешней нагрузки

Давление под подошвой фундамента, Р (кг/см ²)	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2
Осадка фундамента, S (мм.)	0.0	0.25	0.5	0.8	1.1	1.4	1.8	2.2	2.6	3.1	4.5	6.4

На третьем этапе авторы рассчитали характер теоретически расчетного изменения напряженно деформированного состояния грунта в пределах активной зоны. При этом согласно пункту 5.6.32 СП 22.13330.2016 [10] дополнительное вертикальное давление от внешней нагрузки в пределах активной зоны по вертикали, проходящей через центр подошвы, можно определить применительно к плоской задаче по следующей формуле:

$$\sigma_{zp} = \alpha p_0, \quad (5)$$

где α – коэффициент рассеивания напряжений, принимаемый по таблице 5.8 [10] или по нижеприведённой формуле:

$$\alpha = 0,64 \left(\arctg \frac{R}{\xi \sqrt{1 + \xi^2 + \eta^2}} + \frac{\xi \eta (1 + \eta^2 + 2\xi^2)}{(\xi^2 + \eta^2)(1 + \xi^2) \sqrt{1 + \xi^2 + \eta^2}} \right) \quad (6)$$

где ξ – коэффициент, определяемый в зависимости от отношению $2z/b$ в центре подошвы,

η – коэффициент, равный отношению l/b для исследуемого фундамента, что отражено в таблице 2.

На четвертом этапе для повышения достоверности полученных результатов выполнено многократное экспериментальное определение распределения напряжения от внешней нагрузки в пределах активной зоны и результаты приведены также в табл. 2.

Таблица 2 – Расчётные и экспериментальные значения напряжений в грунтовом основании от внешней нагрузки по глубине активной зоны

№ слоя	z, см.	$\xi = \frac{2z}{b}$	$\eta = \frac{l}{b}$	α	$\sigma_{zp}^{расч}$, $\frac{кг}{см^2}$	$\sigma_{zp}^{экс}$, $\frac{кг}{см^2}$	разница, %
0	0,00	0,00	2	1,00	2,00	2,00	0,00
1	2,50	0,50	2	0,96	1,92	2,30	+119,8
2	5,00	1,00	2	0,82	1,64	4,10	+250,0
3	7,50	1,50	2	0,67	1,34	2,00	+149,2
4	10,0	2,00	2	0,55	1,10	1,20	+109,1
5	20,0	4,00	2	0,31	0,62	0,61	-1,61
6	30,0	6,00	2	0,21	0,42	0,40	-4,80
7	40,0	8,00	2	0,16	0,32	0,28	-12,50
8	50,0	10,0	2	0,13	0,26	0,18	-30,76
9	60,0	12,0	2	0,11	0,22	0,10	-54,54

В результате установлено, что в отличие от теории, на глубине 5 см. при давлении равном расчетному сопротивлению грунта, в частности 2 кг/см^2 , под подошвой фундамента возникает критическая точка, в которой измеряемое напряжение достигает $4,10 \text{ кг/см}^2$, что в 2,5 раза больше, чем среднее напряжение под подошвой фундамента, что казалось бы является необъяснимым фактом, нарушающим классический закон сохранения энергии. Но при внимательном рассмотрении данный факт можно объяснить только тем, что по теории в начале третьей фазы в грунте под подошвой фундамента начинает возникать ядро жесткости, наличие которого приводит к тому, что вся нагрузка, приложенная к фундаменту, начинает передаваться непосредственно через острие указанного ядра жесткости. В результате практически вся внешняя нагрузка начинает передаваться через пренебрежительно малую площадь острия возникшего ядра, что и приводит к резкому увеличению напряжения именно в этой критической точке. В рассматриваемом случае ядро жесткости возникло в конце второй фазы деформирования, что, по мнению авторов данной работы, следует обязательно учитывать при проектировании и оценки ожидаемого деформационного поведения фундамента через фактическое увеличение площади эпюры дополнительного давления от внешней нагрузки в пределах активной зоны исследуемого грунтового основания.

Данный факт увеличения давления в зоне вершины возникшего ядра находит дополнительное подтверждение и через то, что в конце второй фазы происходит более резкое нелинейное увеличение возникающей осадки фундамента практически более чем

на 50 процентов выше, чем в предыдущей ступени загрузки, что, по мнению авторов, обусловлено наличием в грунтовом основании сформированного ядра жесткости и концентрированного повышения напряжения в зоне вершины ядра жесткости.

В заключение по данной работе можно сделать следующие выводы:

1. Полученные в исследовании теоретические и экспериментальные зависимости осадки фундамента от интенсивности внешнего давления носят сопоставимый характер по всем трем фазам;

2. Появление основных контуров очертания рабочего ядра жесткости под подошвой фундамента начинается в исследуемом песчаном грунтовом основании практически в конце второй фазы;

3. Впервые экспериментально выявлено, что после формирования ядра жесткости под подошвой фундамента в конце второй фазы деформирования грунта в зоне вершины ядра возникает резкая концентрация вертикального напряжения от внешней нагрузки, превышающая теоретическое значение последнего практически в 2.5 раза, что значительно изменяет расчетную схему грунтового основания;

4. Считаем, что экспериментально выявленное в настоящей работе резкое локальное изменение НДС грунтового основания, в сторону увеличения, при появлении ядра жесткости в конце второй фазы, требует соответствующего учета последнего при оценке деформационного поведения исследуемых фундаментов мелкого заложения в ходе проектирования с целью повышения точности и достоверности оценки уровня их эксплуатационной надежности для последующей безаварийной эксплуатации.

Литература

1. Сорочан, Е.А. Фундаменты промышленных зданий / Е.А. Сорочан. – Москва : Строй-издат, 1986. – 304 с.
2. Долматов, Б.И. Механика грунтов, основания и фундамента / Б.И. Долматов. – Ленинград : Стройиздат, 2001. – 416 с.
3. Цытович, Н.А. Механика грунтов (краткий курс) / Н.А. Цытович. – Москва : Высшая школа, 2000. – 272 с.
4. Горбунов-Поссадов, М.И. Расчет конструкций на упругом основании / М.И. Горбунов-Поссадов, Т.А. Маликова, В.И. Соломин. – Москва : Стройиздат, 2004. – 679 с.
5. Ухов, С.Б. Механика грунтов / С.Б. Ухов, В.В. Семенов, В.В. Знаменский, З.Г. Тер-Мартirosян, С.Н. Чернышев. – Москва : изд-во АСВ. 2005. – 523 с.
6. Цытович, Н.А. Основы прикладной механики грунтов / Н.А. Цытович, З.Г. Тер-Мартirosян. – Москва : Высшая школа, 1987. – 320 с.

7. Тер-Мартirosян, З.Г. Механика грунтов / З.Г. Тер-Мартirosян. – Москва : Изд-во АСВ, 2005. – 489 с.
8. Курдюмов, В.И. Краткий курс Оснований и фундаментов. / В.И. Курдюмов. – Санкт-Петербург : Типография Ю.Н. Эрглих, 1897. – 250 с.
9. Малышев, М.В. Прочность и устойчивость оснований и сооружений / М.В.Малышев. – Москва : Стройиздат, 1980. – 137 с.
10. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений: актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* : с изменениями № 1, 2, 3. – Введён в действие с 17 июня 2017 г.
11. Землянский, А.А. Месдоза для измерения давления в грунте: авторское свидетельство на изобретение № 1673895 / А.А. Землянский. – Москва : ВНИИГПЭ, 1992. – Дата регистрации: 30.08.1992.

УДК 624.0

Нетрадиционный метод активного кольцевого армирования слабых грунтов

Землянский Анатолий Андреевич, доктор технических наук, профессор кафедры
«Промышленное и гражданское строительство»;

Кабделов Данияр Бауржанович, студент направления «Строительство»;

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

В работе впервые представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований нового метода активного кольцевого армирования слабых грунтов при строительстве и реконструкции уникальных, энергетических, экологически опасных и высотных зданий и сооружений с управляемой эксплуатационной надежностью возводимых объектов. Рассмотренный метод предназначен для использования в строительстве нового класса интеллектуально разумных строительных объектов с управляемым уровнем эксплуатационной надежностью.

Анализ результатов обследования различных уникальных, исторических и высотных зданий и сооружений позволил установить, что в преобладающем большинстве случаев лавинообразные и необратимые аварии последних произошли в основном из-за больших абсолютных и неравномерных осадок грунтового основания.

Отмеченный факт наглядно подтвержден и многочисленными работами Улицкого В.М., Ильичева В.А., Долматова Б.И., Сорочана Е.А. и Абелева М.Ю. [1, 2, 3, 4]. В настоящее время существует множество пассивных методов усиления слабых грунтов, к которым можно отнести различные способы вертикального и

горизонтального армирования грунтов с помощью различных металлических, синтетических и сверхпрочных композиционных материалов.

Использование на практике кольцевых свайных и сплошных шпунтовых стенок позволяет добиться некоторого пассивного эффекта за счет перераспределения вертикальных и горизонтальных напряжений, обусловленного изменением граничных условий загружаемого основания. Однако в результате практического применения указанного армирования, снижение осадки загружаемого основания при равной интенсивности внешней нагрузки происходит не более чем на 60%, что не позволяет добиться необходимой безаварийной и эффективной эксплуатации высотных зданий и сооружений.

Все отмеченное свидетельствует об актуальности рассматриваемой проблемы, связанной с необходимостью разработки принципиально новых методов активного усиления слабых грунтов и создания нетрадиционных и высокоэффективных систем армирования грунта.

Установленный в работах [2, 3, 4] факт значительного увеличения доли вертикальных осадок дневной поверхности грунтового основания из-за больших перемещений расчетной среды в горизонтальном направлении позволил автору разработать новый принцип увеличения несущей способности грунтового основания за счет активного горизонтального армирования грунта с помощью полый кольцевой шпунтовой стенки, преднапряженной по окружающему грунту, как показано на рис. 1

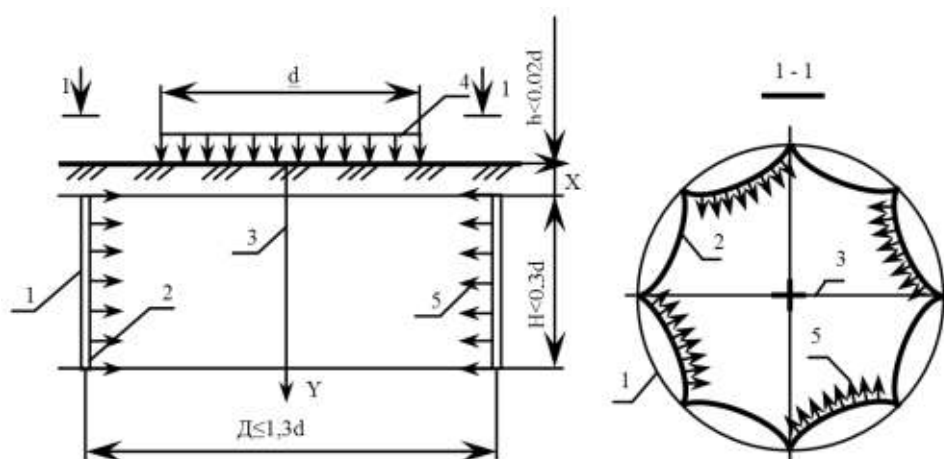


Рисунок 1 – Конструктивная схема кольцевой шпунтовой стенки с преднапряжением по грунту: 1 – внешняя стенка кольцевой шпунтовой системы; 2 – внутренняя стенка кольцевой шпунтовой системы; 3 – рабочая зона преднапрягаемого грунта; 4 – нагрузка от здания или сооружения; 5 – давление горизонтального преднапряжения грунта

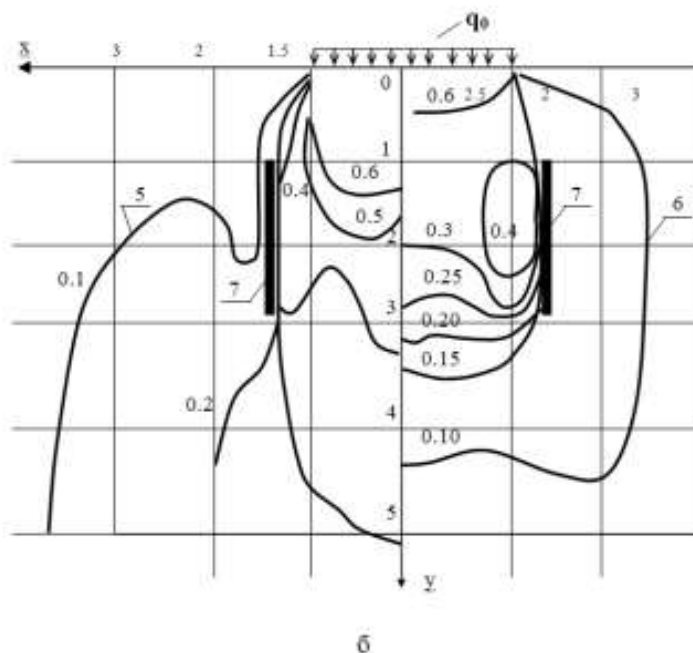
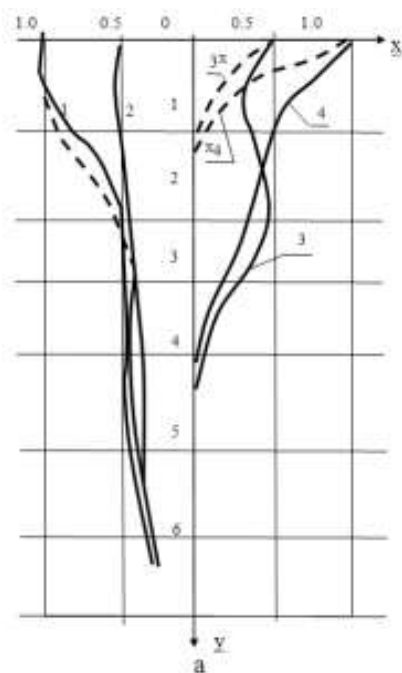


Рисунок 2 – Результаты численного эксперимента с пассивным армированием грунта в основании: а – эпюры напряжений в вертикальном сечении грунта основания, 1 – эпюра вертикального напряжения σ_y в сечениях $x=0$; 2 – эпюра вертикального напряжения σ_y в сечениях $x=b/2$; 3 – эпюра горизонтального напряжения σ_x в сечениях $x=b/2$; 4 – эпюра горизонтального напряжения σ_x в сечениях $x=0$. (пунктиром показаны эпюры напряжений в неармированном состоянии) б – изобары напряжений по оси y и оси x ; 5 – изобары σ_y ; 6 – изобары σ_x ; 7 – зона армирования грунтового основания

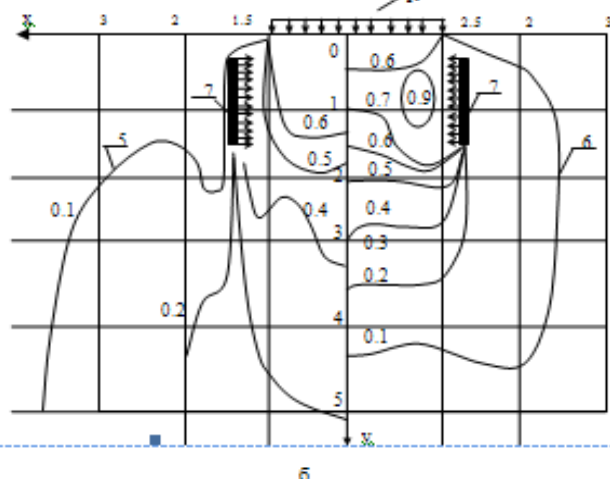
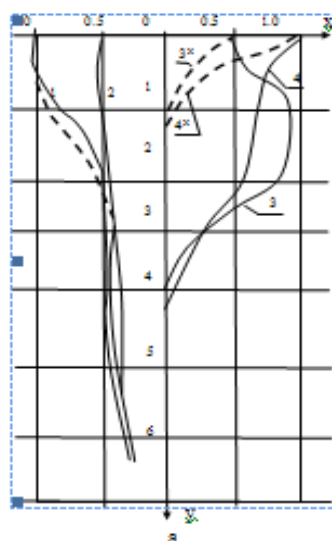


Рисунок 3 – Результаты численного эксперимента с активным армированием грунта в основании: 1 – эпюра вертикального напряжения σ_y в сечениях $x = 0$; 2 – эпюра вертикального напряжения σ_y в сечениях $x=b/2$; 3 – эпюра горизонтального напряжения σ_x в сечениях $x=b/2$; 4 – эпюра горизонтального напряжения σ_x в сечениях $x=0$ (пунктиром показаны эпюры напряжений в неармированном состоянии); б – изобары напряжений по оси y и оси x ; 5 – изобары σ_y ; 6 – изобары σ_x ; 7 – зона армирования грунтового основания

При этом преднапряжение грунта, находящегося во внутренней зоне кольцевой шпунтовой стенки, может осуществляться за счет давления воздуха, давления жидкости или давления саморасширяющегося грунтоцементного раствора,

нагнетаемого в рабочие полости кольцевой шпунтовой стенки. Выполненные автором теоретические исследования с использованием сертифицированной программы «Лира» позволили выявить факт значительного перераспределения горизонтальных и вертикальных напряжений в исследуемом грунтовом основании, что является на практике главной и доминирующей причиной резкого повышения несущей способности армируемой грунтовой среды. Полученные результаты представлены на рис.2, 3.

Одновременно в ходе аналитического обоснования предложенного метода кольцевого армирования слабых грунтов в работе выполнена оптимизация конструкции и основных размеров полый кольцевой шпунтовой стенки.

В результате установлено, что при минимальных затратах рабочий диаметр кольцевого армирующего элемента должен удовлетворять условию $D \leq 1,3d$, где d – диаметр рабочей зоны усиления слабого грунта. Рабочая высота преднапряженного кольцевого элемента должна находиться в пределах $H \leq 0,3d$. Наконец, удаление преднапряженного кольцевого элемента h от дневной поверхности грунтового основания должно составлять не более $0,02d$.

С целью экспериментального обоснования эффективности пассивного и активного армирования грунта автором выполнен целый комплекс исследований, направленный на качественную и количественную оценку уровня уменьшения деформируемости армированного грунтового основания. При этом были рассмотрены пять схем армирования исследуемого грунтового основания, представленные на рис.4.

Все эксперименты были выполнены в лотке размером $3 \times 3 \times 4$ м, заполненном кварцевым среднезернистым песком плотностью $\rho = 16 \text{ кН/м}^3$, влажностью $\omega \leq 12\%$, с углом внутреннего трения $\varphi = 34^\circ$ и модулем общей деформации $E_0 = 5,4 \text{ МПа}$. Нагрузка q_0 от днища резервуара моделировалась резиновой диафрагмой, герметично закрепленной на абсолютно жестком штампе диаметром 60 см и 120 см, через которую с помощью воздуха можно передавать на грунт абсолютно равномерную распределенную нагрузку интенсивностью q_0 .

По первой схеме для достоверной оценки эффективности различных способов армирования грунта последний загружался через абсолютно гибкий штамп без какого-либо армирования грунтового основания.

По второй схеме осуществлялось армирование грунта металлической фольгой, укладываемой горизонтально в грунт в три слоя во взаимно перпендикулярных направлениях.

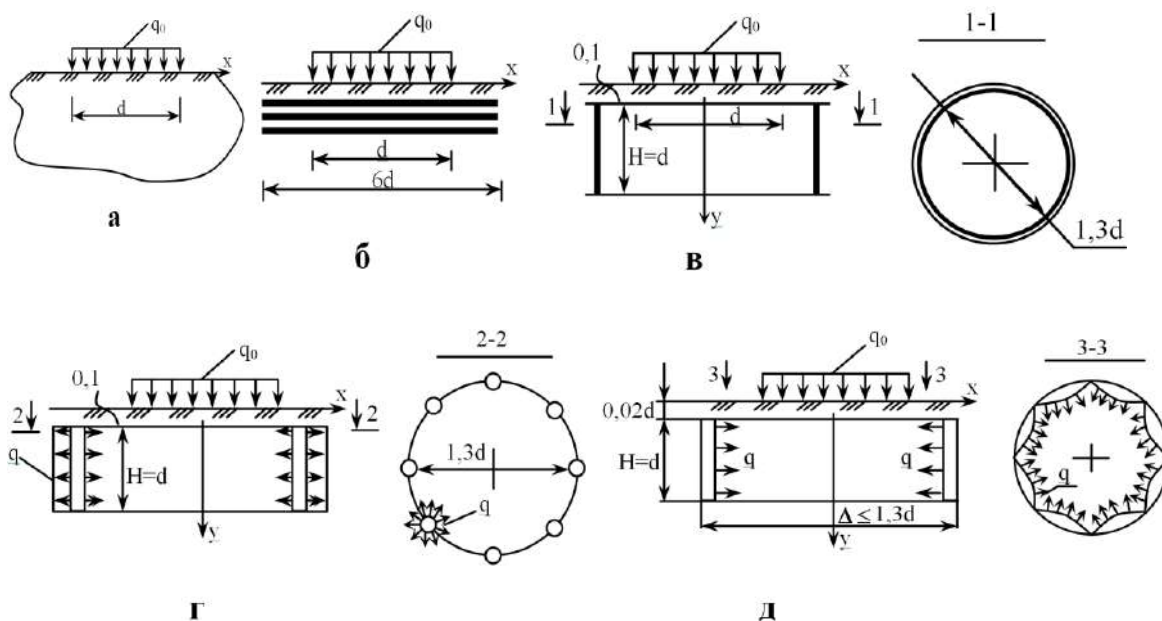


Рисунок 4 – Схемы армирования грунтового основания под здания и сооружения:

а – неармированное грунтовое основание; б – пассивное армирование грунта горизонтальными элементами; в – пассивное армирование грунта жестким заглубленным кольцом; г – активное армирование грунта в кольцевом направлении сваями, преднапряженными по грунту; д – активное армирование грунта кольцевым элементом с преднапряжением по грунту

По третьей схеме было выполнено армирование грунта в пассивном режиме с помощью жесткого кольца высотой, равной диаметру рабочего штампа, удаленного от дневной поверхности на $h=0,1d$.

По четвертой схеме создавалось армирование грунта в кольцевом направлении одиночными сваями высотой $H=d$ с активным преднапряжением по грунту и удалением друг от друга на расстояние $l \approx 3d^*$.

По пятой схеме было выполнено армирование грунта в активном режиме с помощью кольцевого элемента, позволяющего осуществить ступенчатое преднапряжение грунта во внутренней полости кольца.

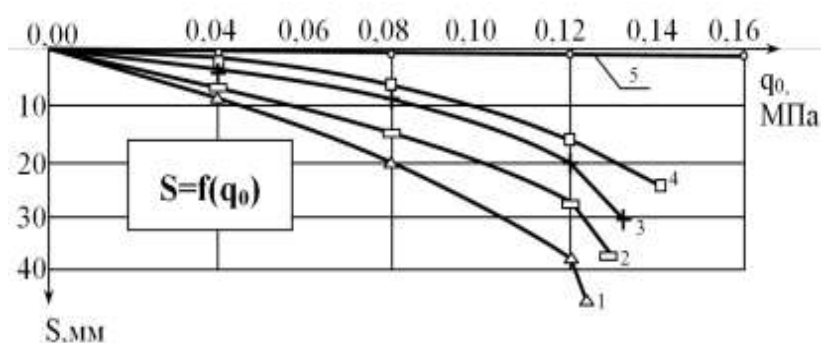
В результате проведения всего цикла запланированных экспериментов автором были получены графики зависимости усредненных осадок абсолютно гибкого штампа соответственно от интенсивности внешней нагрузки и вида армирования грунта, что представлено на рис.5 а, б.

Анализ полученных результатов показал, что усредненная осадка грунтового основания при вертикальной равномерно распределенной нагрузке интенсивностью $q_0=0,12\text{МПа}$ составила около 39 мм при диаметре рабочего штампа, равном 60 см, во втором случае – около 24 мм. В третьем случае указанная осадка составила чуть более 20 мм. В четвертом случае при активном преднапряжении грунта вокруг одиночных свай в пределах $q_0=0,12\text{МПа}$ осадка составила около 18 мм. Наконец, в пятом случае,

при том же уровне преднапряжения, осадка составила всего 0,88 мм, что свидетельствует о высокой эффективности предложенного способа активного горизонтального армирования слабых грунтов, так как в результате преднапряжения грунта специальным кольцевым элементом средняя осадка поверхности исследуемого грунтового основания уменьшилась более чем в 40 раз по отношению к неармированному грунтовому основанию, что свидетельствует о полном подтверждении всех теоретических прогнозов и аналитических исследований, выполненных автором.



а



б

Рисунок 5 – Результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния грунта при активном кольцевом армировании:
а – общий вид экспериментальной установки; б – график зависимости средней осадки гибкого штампа от интенсивности внешней нагрузки и способа армирования грунтового основания 1 – неармированное грунтовое основание $S_1=39\text{мм}$; 2 – пассивное армирование грунта линейными элементами $S_2=24\text{мм}$; 3 – пассивное армирование грунта жестким кольцевым элементом $S_3=20\text{мм}$; 4 – активное армирование грунта сваями, преднапряженными по грунту в кольцевом направлении $S_4=18\text{мм}$; 5 – активное армирование грунта кольцевым элементом с преднапряжением внутренней зоны грунта $S_5=0,88\text{мм}$

С целью пошаговой оптимизации размеров кольцевой системы преднапряжения и зоны активного армирования исследуемого грунтового основания автором выполнен целый комплекс экспериментов с использованием классической теории математического планирования экспериментов.

При этом в ходе проводимых экспериментов все физико-механические характеристики исследуемого грунта были застabilизированы на одном заданном уровне, представленном выше.

Одновременно в табл.1 автором выделены и представлены четыре наиболее значимых и доминирующих фактора, к которым можно отнести: интенсивность внешней вертикальной, равномерно распределенной нагрузки q_0 (X_1)(МПа),

передаваемой на исследуемый грунт через гибкую резиновую мембрану абсолютно жесткого штампа; интенсивность преднапряжения грунта q (X_2) (МПа), создаваемого за счет кольцевой системы армирования грунта; удаление кольцевой системы армирования грунта от дневной поверхности h (X_3) (см); высоту кольцевого элемента для активного горизонтального преднапряжения грунта H (X_4) (см) при его постоянном диаметре.

Таблица 1 – Уровни варьирования изучаемых факторов

Факторы Уровни	$X_1(q_0)$		$X_2(q)$		$X_3(h)$		$X_4(H)$	
	физ.зн.(МПа)	код	физ.зн.(МПа)	код	физ.зн.(см)	код	физ.зн.(см)	код
Верхний X^B	0,16	+1	0,12	+1	5	+1	50	+1
Основной X^O	0,13	0	0,10	0	3	0	35	0
Нижний X^H	0,10	-1	0,08	-1	1	-1	20	-1
Интервал варьирования	0,03	-	0,02	-	2	-	15	-

Матрица планирования четырехфакторного эксперимента представлена в табл.2

Таблица 2. Матрица планирования экспериментов для линейной аппроксимации модели активного армирования грунтового основания абсолютно гибким штампом.

Номер опыта	Факторы и их взаимодействие											Средняя осадка мембраны				Ошибка %
												Серия опытов		У _{экс} ср	Расчетные	
	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₁ X ₄	X ₂ X ₃	X ₂ X ₄	X ₃ X ₄	I	II		значения	
1	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	2,76	2,60	2,68	2,40	-10,4
2	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	4,20	4,00	4,10	4,17	+1,7
3	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	1,60	1,40	1,50	1,45	+3,4
4	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	3,90	3,70	3,80	4,05	+6,6
5	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	3,20	2,90	3,05	2,90	-4,9
6	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	4,54	4,30	4,42	4,80	+8,5
7	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	2,26	2,10	2,18	2,40	+10
8	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	8,90	8,10	8,50	8,00	-11
9	+	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	0,68	0,60	0,64	0,80	+25
10	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	5,74	5,30	5,52	5,30	-3,9
11	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	0,80	0,70	0,750	0,60	-20
12	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	0,94	0,82	0,88	1,00	+13,6
13	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	0,91	0,81	0,86	0,68	-21
14	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	3,00	2,60	2,80	2,87	+2,0
15	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	0,54	0,50	0,52	0,40	-23
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1,76	1,60	1,68	1,80	+7,1

Схема пневмозагрузки исследуемого грунтового основания с активным кольцевым армированием грунта, размещение мессдоз и датчиков перемещения грунта в ходе выполняемых экспериментов для комплексной оценки напряженно-деформированного состояния расчетной среды, представлены на рис. 6.

Реализация матрицы планирования четырехфакторного эксперимента с запланированной последовательностью и сочетанием изучаемых факторов позволила получить следующее уравнение регрессии

$$\begin{aligned}
 \hat{y}_{\text{ср}} = & 2,838 + 1,123 X_1 - 0,246 X_2 + 0,266 X_3 - 0,927 X_4 - 0,00162 X_1 X_2 + \\
 & + 0,121 X_1 X_3 - 0,315 X_1 X_4 + 0,593 X_2 X_3 - 0,288 X_2 X_4 - 0,480 X_3 X_1 + \\
 & + 0,393 X_1 X_2 X_3 - 0,103 X_1 X_2 X_3 X_4.
 \end{aligned}
 \quad (1)$$

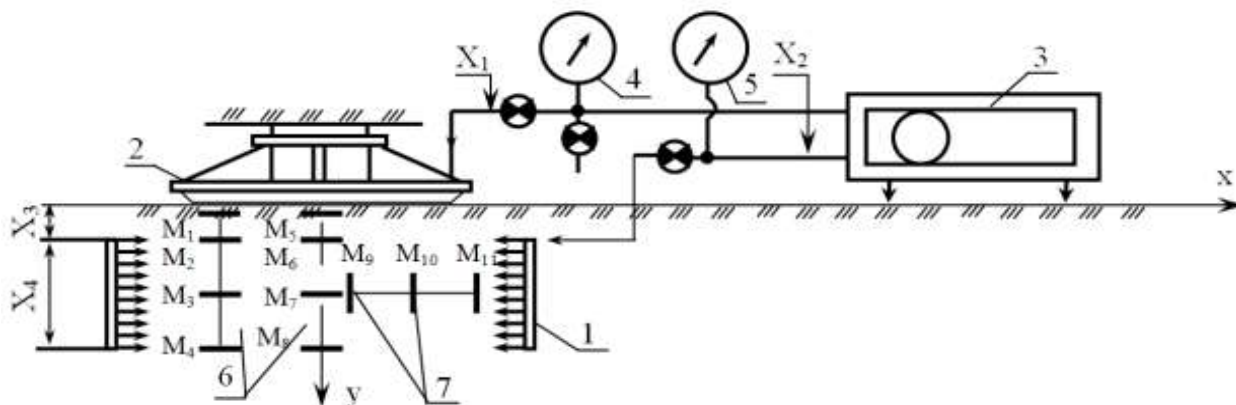


Рисунок 6 – Схема пневмозагрузки грунтового основания через гибкую мембрану и размещение мессдоз для оценки напряженно-деформированного состояния исследуемого основания: 1 – кольцевая система армирования грунта; 2 – жесткий штамп с абсолютно гибкой мембраной; 3 – система пневмозагрузки рабочего штампа; 4 – система измерения давления в штампе; 5 – система измерения давления в кольцевой системе преднапряжения грунта; 6 – мессдозы для измерений давления в вертикальном направлении; 7 – мессдозы для измерений давления в горизонтальном направлении

где $\hat{y}_{\text{ср}}$ – усредненная осадка дневной поверхности грунтового основания,

загруженного равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью q_0 МПа.

X_1 , X_2 , X_3 , X_4 – активные факторы (внешнее давление q_0 , давление преднапряжения грунта q , удаление кольцевой системы преднапряжения от дневной поверхности грунта h , высота H кольцевой системы армирования) исследуемые ММПЭ для оценки их влияния на деформирование грунтового основания.

Общий анализ полученного уравнения регрессии показал на его достаточно высокую адекватность, обусловленную тем, что ошибка между экспериментальными и расчетными данными не превышает в большинстве случаев 6 – 8 %, что подтверждено и дополнительной проверкой по F-критерию Фишера [6].

Анализ полученной математической модели свидетельствует о том, что самое большое влияние на ожидаемую усредненную осадку гибкого штампа оказывает X_1 , то есть интенсивность внешней нагрузки q_0 . При этом, как показывает знак у коэффициента корреляции, с увеличением нагрузки осадка грунтового основания увеличивается.

На втором месте по степени влияния находится высота элемента армирования грунта H , в нашем случае X_4 . При этом исходя из знака, чем больше высота элемента армирования, тем меньше ожидаемая осадка.

На третьем месте по степени влияния на осадку грунтового основания находится удаление элемента армирования от дневной поверхности X_3 . При этом, чем больше удаление исследуемой системы армирования грунта от дневной поверхности, тем выше становится осадка загружаемого основания.

Наконец, на четвертом месте по интенсивности влияния на изучаемый отклик находится интенсивность преднапряжения грунта внутри исследуемого массива q в рассматриваемом случае X_2 . При этом чем больше интенсивность горизонтального давления преднапряжения грунта, тем меньше ожидаемая усредненная осадка исследуемого грунта.

Детальный анализ полученных результатов позволил установить очень высокую эффективность предложенного метода активного кольцевого армирования слабых грунтов, достигающих в отдельных случаях более сорокакратного уменьшения осадки дневной поверхности исследуемого армированного грунтового основания по сравнению с неармированным.

Выполненные исследования позволили автору создать новый класс активного кольцевого армирования грунта и новую конструкцию нетрадиционных кольцевых фундаментов – несущей способностью, и эксплуатационной надежностью, которых можно эффективно и целенаправленно управлять с целью предотвращения любых потенциально возможных аварийных, либо предаварийных ситуаций исследуемых объектов.

Предложенный метод активного кольцевого армирования слабых грунтов даст возможность на практике создать абсолютно новое поколение интеллектуально разумных строительных объектов с управляемой эксплуатационной надежностью, что позволит вывести всю отечественную строительную индустрию на инновационный путь развития.

Литература

1. Реконструкция городов и геотехническое строительство: научно-технический журнал / под ред. В. М. Улицкого. – Москва; Санкт-Петербург: Издательство АСВ, 2003–2004. – 268 с.
2. Сорочан, Е.А. Фундаменты промышленных зданий / Е.А. Сорочан. – Москва : Стройиздат, 1986. – 333 с.
3. Сорочан, Е.А. Строительство сооружений на набухающих / Е.А. Сорочан. – Москва : Стройиздат, 1989. – 312 с.
4. Абелев, М.Ю. Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах / М.Ю. Абелев. – Москва : Стройиздат, 1983. – 248 с.
5. Справочник проектировщика Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под общ. ред. Е.А. Сорочан, Ю.Г. Трофименкова. – Москва : Стройиздат, 1985. – 480 с.
6. Ковшов, В.А. Постановка инженерного эксперимента / В.А. Ковшов. – Киев-Донецк : Высшая школа, 1982. – 120 с.

Бесшовные технологии в монолитном строительстве – суть и преимущества

Магеррамова Инна Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры
«Промышленное и гражданское строительство»

Елшина Светлана Андреевна, студент направления «Строительство»

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

В статье рассматривается сущность бесшовных технологий при возведении монолитных железобетонных конструкций. Анализируются основные принципы непрерывного бетонирования, приводятся достоинства и ограничения метода. Выполнено сравнение с традиционными технологиями (со швами). Показано, что бесшовные конструкции обладают повышенной герметичностью, сейсмостойкостью и долговечностью. Рекомендуются применение для ответственных и высотных сооружений.

В современном строительстве монолитный железобетон занимает лидирующие позиции благодаря своей высокой несущей способности, долговечности и возможности возводить здания сложной геометрии. Однако традиционные методы монолитного бетонирования связаны с необходимостью деления конструкции на захватки, что приводит к образованию так называемых «холодных швов» – границ между ранее и позже уложенными слоями бетона. Эти швы становятся ослабленными зонами, через которые в конструкцию проникают вода, агрессивные газы и хлориды, вызывая коррозию арматуры, снижение сцепления арматуры с бетоном и преждевременное разрушение сооружения [1].

Особенно остро проблема технологических швов проявляется в следующих случаях:

- при строительстве гидротехнических сооружений (плотины, бассейны, резервуары для нефтепродуктов), где герметичность является главным требованием;
- при возведении высотных зданий в сейсмически активных районах, где любые стыки становятся концентраторами напряжений;
- при строительстве подземных сооружений (паркинги, тоннели, заглубленные этажи), где гидростатическое давление воды может достигать значительных величин;
- при устройстве ответственных конструкций (ядра жёсткости, фундаменты под турбины, дымовые трубы), где даже микропротечки недопустимы.

Бесшовные технологии предлагают принципиально иной подход – непрерывную укладку бетонной смеси без перерывов, достаточных для начала схватывания цемента.

Это достигается за счёт применения скользящей или несъёмной опалубки, высокоподвижных и самоуплотняющихся бетонов, а также чёткой организации логистики доставки смеси. В результате формируется конструкция, работающая как абсолютно единое целое, без внутренних границ и ослабленных зон [2].

Бесшовное бетонирование – это комплекс организационных, технологических и конструктивных решений, направленных на исключение образования «холодных швов» в монолитных железобетонных конструкциях. Холодный шов представляет собой границу между ранее уложенным, начавшим схватываться бетоном и свежееуложенной смесью. В отличие от рабочего (деформационного) шва, который предусматривается расчётом, холодный шов является дефектом, снижающим несущую способность, водонепроницаемость и долговечность.

Непрерывная подача бетонной смеси – это ключевой принцип бесшовного бетонирования. Бетон заливается в опалубку без остановок в течение длительного времени — иногда до нескольких суток. Это позволяет создать монолитную конструкцию без холодных швов, которые обычно являются слабыми местами в традиционном строительстве [3].

Некоторые аспекты:

- Равномерная подача смеси. Например, при использовании бетононасосов бетонная смесь подаётся слоями определённой высоты (например, 200–300 мм) при соблюдении расстояния между точками подачи.
- Непрерывность процесса. Темпы поступления бетонной смеси на объект и её перекачивания насосом должны обеспечивать непрерывность подачи. Технологические перерывы не должны превышать 20 минут.
- Управление временем схватывания. Время подачи очередного объёма бетона должно быть значительно меньше времени схватывания ранее уложенного бетона.

Использование специальных опалубочных систем:

- Скользящая опалубка – непрерывно поднимается с помощью домкратов со скоростью 150–300 мм/ч; позволяет бетонировать вертикальные конструкции (стены, ядра жёсткости, лифтовые шахты, дымовые трубы) любой высоты без горизонтальных швов.
- Несъёмная опалубка – остаётся частью конструкции, обеспечивает дополнительную тепло- и гидроизоляцию, а также служит направляющей для укладки бетона.
- Переставная опалубка – используется для горизонтальных и наклонных поверхностей с организацией захваток, но с условием укладки следующей порции до схватывания предыдущей [4].

Применение высокотехнологичных бетонных смесей:

- Самоуплотняющийся бетон (SCC) – растекается под собственным весом, не требует вибрирования, заполняет самую густую арматуру. Это особенно важно при бесшовном бетонировании, так как исключает остановки на виброуплотнение.
- Бетоны с замедлителями схватывания – увеличивают «открытое время» до 8–12 часов, что позволяет вести укладку даже при сбоях в подаче.
- Бетоны с противоморозными добавками – обеспечивают твердение при отрицательных температурах без прогрева, что актуально для зимнего бесшовного бетонирования [5].

Контроль температуры и влажности – при укладке большого объёма непрерывно необходимо следить за температурой ядра бетонного массива (особенно в массивных фундаментах и стенах) и принимать меры против температурных трещин (использование низкотермичных цементов, охлаждение смеси, укладка труб с циркулирующей водой).

Преимущества бесшовных конструкций:

1. Целостность и герметичность. Отсутствие швов исключает пути миграции воды, нефтепродуктов, агрессивных газов. Для гидротехнических сооружений это главный критерий надёжности.

2. Сейсмостойкость и жёсткость. Бесшовная стена работает как единое целое, без концентрации напряжений в зонах стыков. Испытания показывают повышение сейсмостойкости на 30–50% по сравнению со сборно-монолитными системами.

3. Ускорение строительства. При скользящей опалубке скорость бетонирования достигает 3–6 м в сутки по высоте. Не требуются операции по расчистке, промывке и герметизации швов.

4. Снижение эксплуатационных затрат. В бесшовных конструкциях практически не возникает протечек, коррозии арматуры в местах швов, что увеличивает межремонтный срок в 2–3 раза.

5. Улучшенная тепло- и звукоизоляция. Термическое сопротивление бесшовной стены более равномерно, отсутствуют мостики холода. Акустическая однородность выше на 15–20 дБ.

6. Эстетика и экономия отделки. Гладкая поверхность, полученная при использовании качественной опалубки, часто не требует штукатурки.

Ограничения и особенности

- Высокие требования к логистике (перебои с бетоном недопустимы).
- Сложность при отрицательных температурах (необходим электропрогрев или

противоморозные добавки).

- Более высокая стоимость оборудования (скользящая опалубка, бетононасосы).

Однако для крупных и ответственных объектов эти затраты окупаются за счёт долговечности и безопасности [6].

В ходе проведённого обзора и анализа получено следующее:

- Бесшовные технологии обеспечивают непрерывность бетонирования, исключая образование холодных швов.
- Основные преимущества: высокая герметичность, сейсмостойкость, скорость возведения, снижение эксплуатационных затрат и улучшенные теплозвукоизоляционные свойства.
- Ограничения связаны с необходимостью точной организации подачи бетона и применения специального оборудования.
- Рекомендуются применение бесшовных методов при проектировании высотных, гидротехнических и ответственных сооружений [7].

Полученные результаты рекомендуются к использованию при проектировании монолитных конструкций зданий промышленного и общественного назначения, а также в курсовом и дипломном проектировании.

Литература

1. ГОСТ 7473–2010 Смеси бетонные. Технические условия = Fresh concrete. Specifications : национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 мая 2011 года №71-ст. : взамен ГОСТ 7473-94: дата введения 2012-01-01 / подготовлен Научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона «НИИЖБ» - филиалом ФГУП «НИЦ «Строительство». – Москва: Стандартинформ, 2010. – 12 с. – Текст : непосредственный.
2. ГОСТ Р 52086–2003 Опалубка. Термины и определения. = FORMWORKS Terms and definitions : национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное : утвержден и введен в действие постановлением Госстроя России от 22.05.2003 № 42 : введен впервые : дата введения 2003—06—01 / рабочей группой технического подкомитета по стандартизации и техническому нормированию ПК 3/ТКС 71 «Опалубка и опалубочные работы для монолитного строительства» в составе: НТЦ «Стройопалубка» ЗАО «ЦНИИОМТП», Управление государственной строительной политики (в том числе лицензирование) Госстроя России, ООО ПСФ «Крост». – Москва: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – 35 с. – Текст: непосредственный.

3. Баженов, Ю. М. Технология бетона: учебник для вузов / Ю. М. Баженов. – 2-е изд., перераб. – Москва : Изд-во АСВ, 2011. – 528 с.
4. Теличенко, В. И. Технология возведения зданий и сооружений: учебник / В. И. Теличенко, О. М. Терентьев, А. А. Лapidус. – 5-е изд., стер. – Москва: Высшая школа, 2012. – 446 с.
5. Улицкий, В. М. Скользящая опалубка в монолитном строительстве / В.М. Улицкий, А. Г. Широков. – Москва: Стройиздат, 2015. – 192 с.
6. Евгеньев, Г. Б. Самоуплотняющиеся бетонные смеси: свойства и применение / Г. Б. Евгеньев, С. А. Коровкин // Бетон и железобетон. – 2018. – № 4. – С. 12–18.
7. Рекомендации по непрерывному бетонированию массивных гидротехнических сооружений / ОАО «НИИЭС». – М., 2016. – 48 с.

УДК 691

Бетонное полотно – применение в строительной отрасли

Магеррамова Инна Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры
«Промышленное и гражданское строительство»

Магеррамова Эллада Рауфовна, студент специальности «Атомные станции:
проектирование, эксплуатация и инжиниринг»

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

В статье рассматривают бетонное полотно, его основной состав, ключевые особенности, некоторые технические характеристики, основные преимущества и сферы применения.

В современном мире бетонное полотно является одним из универсальных решений для сложных строительных задач. Оно экономит время и ресурсы, подходит для экстремальных условий и обеспечивает надёжную защиту на десятилетия. Бетонное полотно – это инновационное решение для строительства. Оно является прорывной технологией на российском строительном рынке. Это гибкий материал, сочетающий удобство рулонных покрытий и прочность бетона [1]. Этот материал разработан более 10 лет назад, сегодня он применяется во многих странах, включая Россию. В РФ технологию используют многие известные компании.

Бетонное полотно – пропитанная сухой бетонной смесью ткань с ПВХ-подкладкой. В сухом состоянии она гибкая, легко раскатывается по любой поверхности - горизонтальной, наклонной, ровной или неровной. После смачивания водой материал

затвердевает и образует прочный водонепроницаемый и огнеупорный слой бетона (рис.1).



Рисунок 1 – Состав бетонного полотна

К ключевым особенностям можно отнести:

- поставляется в больших и компактных рулонах (компактные можно переносить вручную);
- не требует дорогостоящего оборудования для смешивания смесей;
- готов к использованию (достаточно добавить воды);
- через 1-2 часа после смачивания начинает затвердевать;
- через 24 часа набирает 80% прочности и готов к эксплуатации;
- толщина полотна: 5 мм, 8 мм, 13 мм;
- стандартная ширина рулона – 1м.

К основным техническим характеристикам можно отнести: прочность на сжатие – 37,5 МПа (сопоставимо с армированным бетоном); водонепроницаемость – коэффициент непроницаемости равен $k=1 \times 10^{-9}$ м/с; устойчивость к истиранию – в 2 раза выше, чем у портландцемента; морозостойкость – выдерживает до 300 циклов замораживания/оттаивания; температурный диапазон эксплуатации – от -65°C до $+65^{\circ}\text{C}$; срок службы более 30 лет; экологичность – низкое содержание щелочи в цементном растворе, низкая скорость вымывания.

Основные преимущества:

1. Быстрый и простой монтаж. Укладка в 10 раз быстрее, чем заливка обычного бетона – до 800 м² в день (бригада из 6 рабочих за 1 рабочий день). Для работы нужны только: режущее оборудование (строительный нож или дисковая пила), металлические колья, кувалда, саморезы, вода для смачивания. Не требуется сложная подготовка – достаточно убрать острые камни или элементы арматуры. Гибкость материала позволяет повторять профиль основания, обволакивая выступы и впадины [2].

2. Укладка в труднодоступных местах. Компактные рулоны легко переносить вручную – это позволяет работать там, где нет доступа для подъемной техники. Один большой рулон толщиной 8 мм (125 м²) заменяет две 17-тонных бетономешалки.

Гибкость до смачивания помогает огибать препятствия.

3. Стойкость к химикатам. Материал устойчив к воздействию щелочей, кислот и других агрессивных сред. Огнеупорные свойства позволяют применять его в зонах повышенного риска возгорания. Верхний слой – полимерный композит, стойкий к УФ – излучению.

4. Морозостойкость. Эффективен при температуре от -65°C до $+65^{\circ}\text{C}$. Укладка возможна при низкой температуре, если в течение 24 часов после смачивания сохраняется положительная температура.

5. Долговечность. Материал: практически не подвижен после скрепления с основанием; не растрескивается благодаря рамированным текстильным волокнам; не требует высоких расходов на эксплуатацию. Для ремонта достаточно заменить поврежденный участок новым куском полотна

6. Экологичность. Заменяя 100-150 мм слой бетонного раствора, полотно снижает углеродный след строительных работ.

Бетонное полотно применяется в различных сферах строительства:

- Укрепление траншей и канав. Подходит для любых канав, каналов и траншей, независимо от ширины, глубины и типа грунта (песчаный, глинистый и др.). Не требует специальной подготовки. Можно укладывать при любой погоде, в т.ч. в проливной дождь или прямо в воде. Предотвращает обрушение стенок и заиливание дна, увеличивает скорость отвода воды.

- Защита склонов и откосов. Гибкость позволяет монтировать полотно на крутых склонах с углом наклона более $60-80^{\circ}$. Застывшее покрытие образует монолитную конструкцию, устойчивую к ветру, осадкам, стокам и подвижности грунта. Применяется для стабилизации грунта, предотвращая оползни, сохраняя угол наклона.

- Восстановление бетонных конструкций. Материал укладывается поверх разрушенных или обветшалых конструкций (бассейны, каналы, водопропускные трубы), предотвращая дальнейшее разрушение. Термосварка слоёв обеспечивает полную герметичность. Альтернатива торкретированию, обмазке битумом, укладке плит.

- Защита трубопроводов. Бетонное полотно подавляет рост растительности (в т.ч. кустарников и деревьев) и защищает трубы. Водонепроницаемость и химическая стойкость предотвращают просачивание воды и нефтепродуктов в почву, что помогает обнаружить протечки и избежать подтопления конструкций.

- Создание перемычек в шахтах. Позволяет быстро сооружать вентиляционные,

изолирующие и закладочные перемычки. Застывшее полотно образует монолитную, водонепроницаемую конструкцию, устойчивую к вибрации и сотрясениям (в отличие от гипса, дерева или шлакоблоков). Термосварка делает покрытие герметичным, предотвращая подтопление шахты.

- Обвалование. Используется для защиты нефтяных и химических хранилищ, дамб от наводнений. Полностью подавляет рост растительности.

- Временные дороги. Подходит для возведения временных дорог: стабилизирует не устойчивый грунт, а при постепенном разрушении под тяжестью транспорта служит аналогом щебеночной дороги.

- Быстровозводимые конструкции из бетонного полотна (например, палатки МЧС) занимают мало места в сложенном виде. После надувания и смачивания в течение 24 часов стены затвердевают и становятся водонепроницаемыми.

Чтобы бетонное полотно обеспечивало нужные свойства, необходимо соблюдать порядок монтажа: подготовка основания – очистка от крупных загрязнений и острых предметов, при необходимости уплотнение грунта или заделка впадин; укладка листов – раскатывание рулонов вдоль или поперек основания, при узких траншеях лист укладывается без стыков; соединение полотен – стыковка внахлест, крепление саморезами или скобами. Для герметичности – термосварка; закрепление по периметру – создание анкерных пазов, куда укладываются края материала для прочного крепления с основанием; увлажнение – распыление воды или погружение вводу. В течение 1-2 часов стыки остаются гибкими, что позволяет корректировать положение; контроль затвердевания – через 24 часа покрытие набирает 80% прочности [3].

Бетонное полотно – это универсальное решение для сложных строительных задач. Оно экономит время и ресурсы, подходит для экстремальных условий и обеспечивает надежную защиту десятилетия.

Литература

1. Шаройкин, М. Л. Бетонное полотно как будущее строительных материалов / М. Л. Шаройкин, Е. С. Максимова, Б. А. Буровая // 49-я студенческая научно-техническая конференция Белорусско-Российского университета: материалы конференции, Могилев, 16–17 мая 2013 г. / редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорусско-Российский университет, 2013. - С. 232
2. ГОСТ 26633-2015. Бетоны тяжёлые и мелкозернистые. Технические условия. – Введён в действие с 01.09.2016. – Москва : Стандартинформ, 2016.
3. ГОСТ 33068-2014. Материалы геосинтетические для дренажных систем. Общие технические требования (EN 13252:2005). – Введён в действие с 01.01.2016. –

УДК 92

Историческая специфика архитектуры торговых площадей города 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 раскрываются историко-архивные сведения о торговом значении города Балаково «пшеничной столицы России» середины XIX века. Приводятся исторические планы с размещением торговых площадей, фотоматериалы конца XIX века.

Историческую справку о Балаково находим в энциклопедическом словаре Брокгауза и Эфрона 1899: «Балаково – удельное село Самарской губернии, Николаевского уезда, в 80 верст от уездного города, одна из самых крупных хлебных пристаней на Волге. Село основано в 1760-х годах возвратившимися из Польши раскольниками. В период XIX – начала XX века в России приобретает большое экономическое значение хлебная пристань «Балаково» на Волге, которая имела емкость складских помещений на 7 млн. пудов пшеницы. Балаково называлось «пшеничной столицей». Две хлебных пристани (одна на Волге, другая на Балаковке) сплавляли хлеб вверх по Волге в столицу и за границу. Экспортировалась лучшая в мире твердая пшеница «белотурка». Сюда приходили за ней иностранные суда, в том числе по заказу королевы Англии» [1].

О торговом значении Балаково писали многие историки. Зеньковский С.А. пишет, что в 1762—1765 годах в степном Заволжье появляются мирские слободы «загранишних» старообрядцев: Балаковская, Криволученская и Мечетная. При самом впадении Иргиза в Волгу раскольники основали слободу Балаково. В поселении обосновались до 120 дворов из переселенцев из Ветки. Бывшие мирские старообрядческие слободы Балаково, Николаевска (бывшей Мечетной), Криволучье вырастают в значительные зерновые центры, в которых богатые хозяйства – уже не крестьянско-любительского, а фермерско-рыночного типа поставляют пшеницу «белотурку» не только на русские, но и на заграничные рынки [2].

Большое торговое село Балаково (22 тыс. чел.) на рубеже веков становится международным торговым портом, «пшеничной столицей» России, а также основой

хлебных операций купцов-миллионеров, чьи зерновые сделки в 1840–1870-х гг. отражаются на продуктовых биржах и ценах Гамбурга, Лондона и Парижа [3].

По Волге зерно – пшеница «белотурка» шла или в Петербург, или в Ростов-на-Дону, а оттуда за границу на биржу. Импозантные и дорогие дома местных купцов-миллионеров ничем не отставали от дворянских помещичьих и городских резиденций и «с честью выдержали бы конкуренцию даже с домами на хороших улицах любой столицы», – писал П. И. Мельников [4].

Исторический феномен Балаково состоит в его экономическом подъеме: за два десятка лет в период конца XIX века, из небольшого села превращается в город с населением 22 000 жителей, наименование уездного города присвоено в 1912 году. «В Балаково имеется 500 торговых предприятий I, II, III разрядов, 75 промышленных и более 10 торговых предприятий свободных от налогов, 300 складочных помещений вместимостью до 10 млн пудов. Торговые обороты села Балаково выражаются в довольно крупной цифре – от 40 до 50 млн в год в зависимости от урожая хлеба в Николаевском и Новоузенском уездах» [6].

Границы исторического центра Балаково (рис. 1) проходят по двум улицам меридионального направления: Мариинская (20 лет ВЛКСМ) и Новоузенская (Ленина), которая включающая несколько опорных градостроительных узлов-площадей: площадь у Троицкого храма, бывшие площади Единоверческую, Новую Базарную. Здесь сосредоточены основные памятники архитектуры конца XIX – начала XX века, а также усадебные градостроительные комплексы:

Из пяти площадей ныне сохранилась Новая Базарная площадь, остальные застроены в советское время.

Верхняя Амбарная площадь относится к утраченной торговой площади (рис. 2). Об ансамбле Амбарной площади, примыкавшей к реке Балаковке и обрамленной дугой амбаров, согласно историческим градостроительным документам, теперь судить сложно, ибо никаких признаков этого главного делового пространства города, сосредоточившего в себе основную деятельность по закупке, хранению и отправке хлеба по полной воде к Волге и далее, не сохранилось.

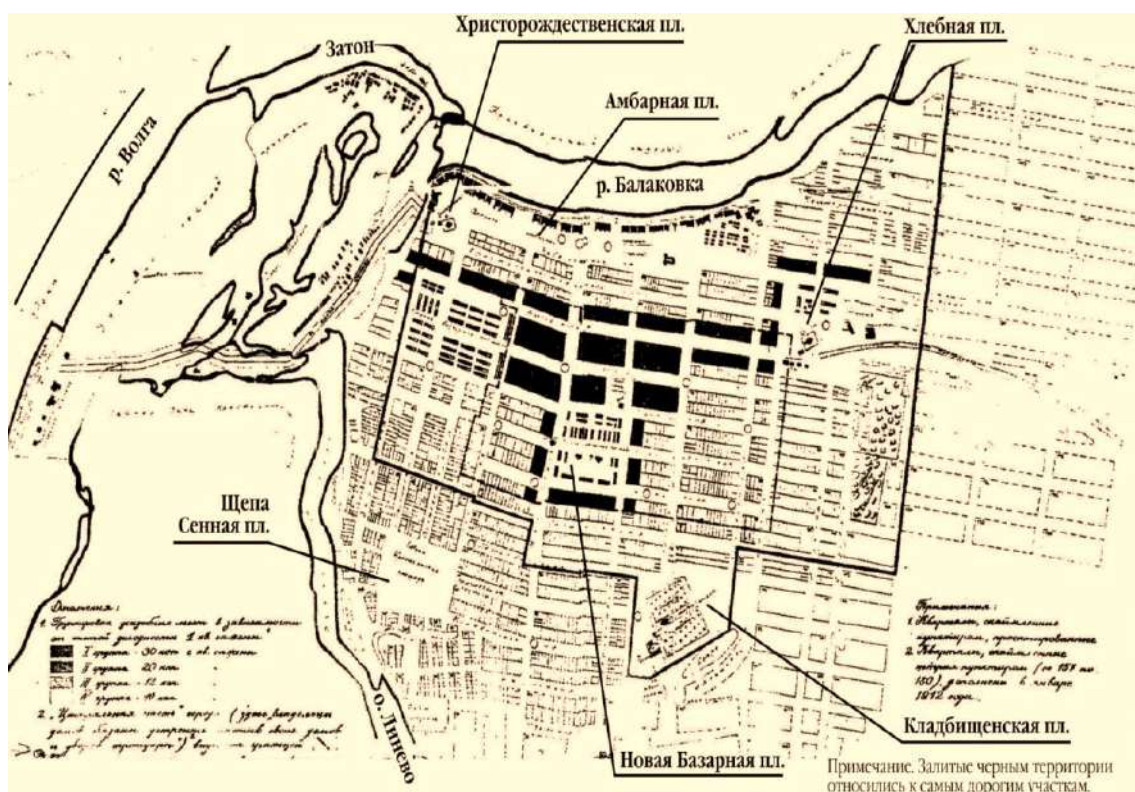


Рисунок 1 – Регулярный план г. Балаково 1912. Архивный документ из СГА

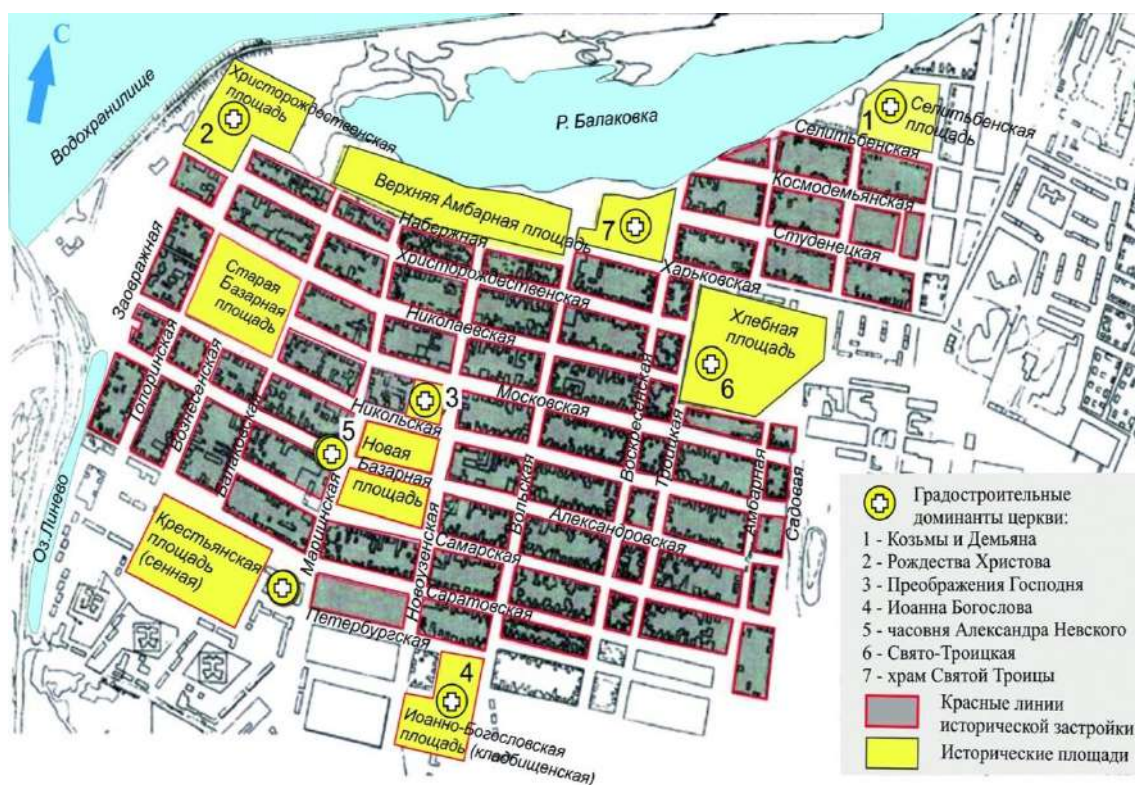


Рисунок 2 – План города Балаково начала XX века с выделением торговых и церковных площадей автором. Торговые площади: Старая Базарная площадь; Верхняя Амбарная площадь; Новая Базарная площадь; Хлебная площадь; Крестьянская площадь (сенная)



Рисунок 3 – Набережная реки Балаковка. Хлебные склады Мальцевых. Конец XIX в.



Рисунок 4 – Срубная архитектура хлебного амбара купцов Мальцевых. Конец XI-X в. [5]

Амбары снесены в советское время, площадь частично застроена лечебно-профилактическими учреждениями, частично занята инженерно-коммуникационными сооружениями.

Старая Базарная площадь (рис.2) расширилась во второй половине XIX века. В результате образован обширный прямоугольник размером 170×100 сажень для различных торговых рядов и лавок. Собственно торговая площадь (первой половины XIX века) была ограничена улицами Коммунистической и Московской и поперечными улицами Топоринской) и Балаковской, застроена сохранившимися зданиями, несомненно представляющими историко-архитектурную ценность и закрепляющими почти весь периметр по линии застройки площади. На территории Старой Базарной площади в советское время размещаются постройки начала XX века бывшего механического завода «Русский Дизель» Якова Мамина – ныне судоремонтный завод [6].

Хлебная и Троицкая площади полностью утрачены. Они служили торгам с вozов

хлебом, крупой и др. товаром (рис.2). Площадь представляет собой в настоящее время современную застройку микрорайонов.

К перечисленным утраченным площадям нужно добавить «сад Отрада» и Крестьянскую площадь (Щепу), где торговали лесом, пиломатериалами дровами и сеном (рис.2).

Сохранилась только Новая Базарная площадь (рис. 1, 2), являющаяся геометрическим центром села, вокруг которого территория застраивалась самыми значимыми и богатыми кирпичными строениями. Участки и торговые места вдоль и на пересечении улиц Новоузенской, Мариинской, Московской, Александровской, Никольской считались самыми дорогими и были заняты постройками зажиточных купцов, которые застраивали её дорогими торговыми строениями: крупные магазины, торговые фирменные дома. По периметру Новой Базарной площади располагались одноэтажные торговые ряды и лавки, сблокированные лавки-магазины с определенными товарами в единый ряд [6].



Рисунок 5 – Базарная площадь – Толчек. Ул. Пролетарская. В базарный день.
Фото начала XX века

Развитие торговли в Балакове демонстрируется на исторических фотографиях базара «Толчѣк» (рис. 5), где велась открытая торговля с лотков, а также фруктово-овощного ряда (рис. 6).



Рисунок 6 – Фруктовый ряд. По ул. Ленина Реконструкция с фото



Рисунок 7 – Рыбный базар на ул. Ленина

Имеется старинная фотография из книжного магазина Н. А. Пастухова, на которой зафиксированы торговцы – рыбаки на рыбном базаре (рис. 7). Был такой на площади у единоверческой церкви (ныне остановка «Рынок», против усадьбы А. М. Мальцева). Рыбаки в тулупах демонстрируют осетра – почти в рост человека. [7].

Торговые ряды и яркие торговые дома Новой Базарной площади относятся к периоду конца XIX – начала XX века (рис.8). Все ценные торговые комплексы и здания размещаются в пределах Новой Базарной площади либо вблизи неё. «В Балаково имеется 500 торговых предприятий I, II, III разрядов, 75 промышленных и более 10 торговых предприятий свободных от налогов, 300 складочных помещений вместимостью до 10 млн. пудов» [8].

Разнообразие и специфика торговых площадей исторического центра Балаково

начала XX века подтверждают подъем купеческой деятельности и экономическую мощь города.

Литература

1. Брокгауз, Ф.А. Энциклопедический словарь / Ф.А. Брокгауз, И.А. Ефрон. – Санкт-Петербург: Типография акционерного общества «Брокгауз-Ефрон», 1899. – Т. 54. – С. 115.
2. Зеньковский, С.А. Русское старообрядчество / С.А. Зеньковский. – Москва: Церковь и культура, 2009. – Т. 11. – С. 410.
3. Русская старина: историко-литературный журнал. – 1896. – Т. 2. – С. 308.
4. Мельников, П.И. На горах / П.И. Мельников // Собрание сочинений : в 6 т. – Москва : Художественная литература, 1976. – Т. 4. – С. 183.
5. Российский государственный исторический архив (РГИА). – Фонд № 1276. – Опись № 17. – Дело № 158. – Лист 22 об.
6. Попова, Н.А. Балаково. Историко-архитектурное наследие / Н.А. Попова. – Саратов: СГТУ, 2008. – С. 50–51.
7. СГА, ГУУ. – Фонд № 1. – Опись № 12. – Дело № 5292.
8. Российский государственный исторический архив (РГИА). – Фонд № 515. – Опись № 11.

УДК 711.52

Проект зодчего Шехтеля Ф.О. «Белокриницкая церковь

А. Мальцева во имя Святой и Живоначальной 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 раскрываются исторические сведения о проекте и архитектурной специфике Церкви Святой Троицы в Балаково, построенной в 1911 году знаменитым московским архитектором Ф.О. Шехтелем, мастером стиля русский модерн.

В 1900–1910 годах более всего сооружений проектируется Шехтелем для Поволжья. Среди них – церковь Святой и Живоначальной Троицы в Балаково. Шехтель был знаком с купцом Рогожской старообрядческой общины Паисием Мальцевым, который пригласил его, по просьбе брата, для строительства церкви в село Балаково Самарской области.

Храм Святой Троицы в Балаково, первоначально называвшийся «Белокриницкой церковью А. Мальцева во имя Святой и Живоначальной Троицы», был построен в 1911 году по проекту московского архитектора Ф.О. Шехтеля. Церковь была построена на пустовавшем участке, прилегающем к Амбарной площади, на высоком берегу реки Балаковка. Здание полностью просматривалось с судов, плывущих по реке Волга (рис.1).



Рисунок 1 – Храм Святой Троицы, вид сверху. Фото 2017 года.

В государственном архиве города Самара и архиве музея им. Щусева в Москве сохранились планшеты и синьки замечательного проекта Ф.О. Шехтеля (с автографами автора), а также чертежи планов, фасадов, разрезов, интерьеров, пояснительная записка с расчетом шатра, выполненные автором в 1909 году (рис. 2, 3, 4). На склоне лет Шехтель выражал удовлетворение именно своими постройками неорусского стиля, к которым принадлежит и балаковская церковь. Он посылает открытку с ее изображением другу и товарищу по работе в Московском архитектурном обществе И.П. Машкову с припиской: «По-моему, лучшая из моих построек».

В 1909 году журнал «Церковь» представляет следующие сведения о строительстве: «Храм сооружается на подаренной старообрядческой общине удельным ведомством земле. На огромной открытой площади на средства местных прихожан, известного по старообрядческому Поволжью и др. местам, благотворителя А.М. Мальцева по проекту известного архитектора Шехтеля. И по своим огромным размерам, и по архитектуре, и по материалу, из которого он строится, это будет



Рисунок 2 – Общий вид храма Святой и Живоначальной Троицы 1909 г. Проект. Архитектор Ф.О. Шехтель



а



б

Рисунок 3 – Фото архивных цветных планшето́в из музея Щусева с автографом Ф.О. Шехтеля: а – главный фасад церкви; б – северный фасад церкви



а



б

Рисунок 4 – Фото архивных цветных планшетов из музея Щусева с автографом Ф.О. Шехтеля, 1909 г.: а – южный фасад церкви; б – восточный фасад церкви

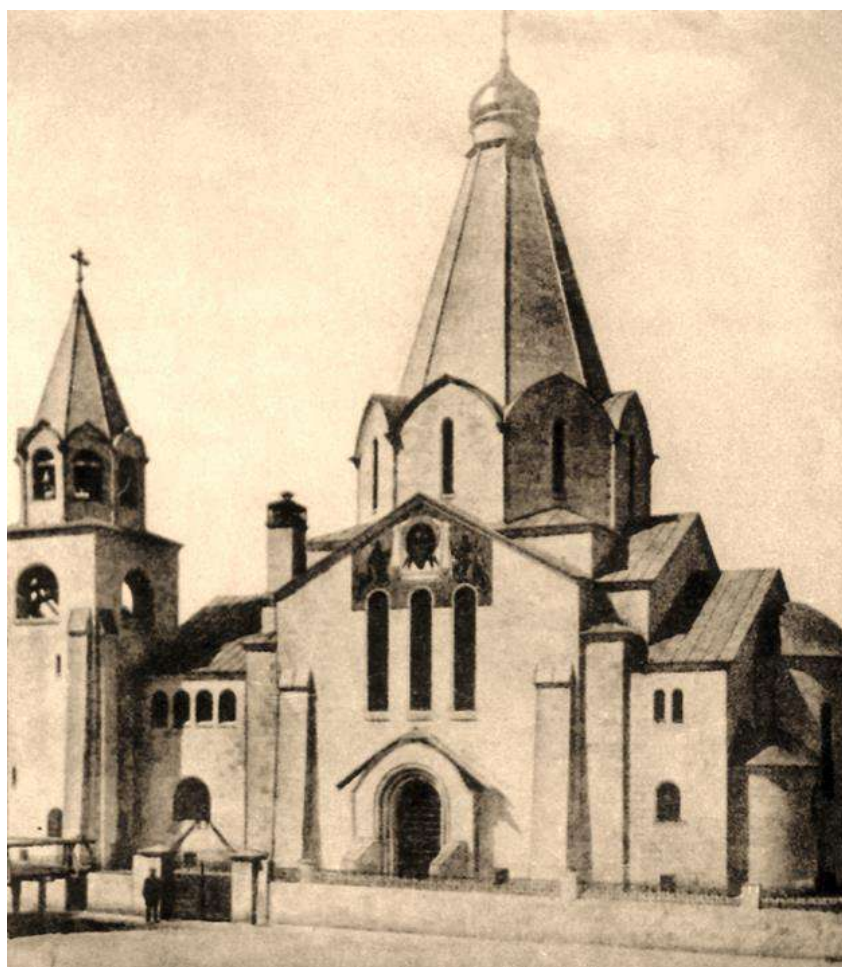


Рисунок 5 – Старообрядческая церковь А. Мальцева во имя Святой и Живоначальной Троицы в Балаково. Историческое фото 1911

единственный пока во всем старообрядчестве храм, на который посмотреть и подивиться будут ездить со всей России. Необычность архитектурного облика храма и оригинальность его конструкции отмечались в прессе того времени. Репортер, искусствовед В. Курбатов 1911 году писал «церковь в Самарской губернии поражает искусно решенной задачей шатрового покрытия большой площади» [1]. Там же «Зодчий» сообщает: «Церковь строится на средства А.М. Мальцева на 1200 молящихся. Стоит она над Волгой и сооружается из жигулевского камня, размером 10х13 вершков; им же облицованы главный шатер и шатры над крестильней и колокольной (рис.5). Мозаичные панно на северном и южном фасадах и над главным входом исполняются в мозаичной мастерской В.А. Фролова в Петербурге. Иконостас и ризы в пяти ярусах будут выложены серебряной вызолоченной басмой. Церковь выполняется по проекту академика архитектуры Ф.О. Шехтеля» [2]. Об авторе композиций мозаичных панно на фасадах Шехтель упоминает в «Сказке о трех сестрах»: «И.О. Чириков для наружной мозаики храма в Балаково делает мне три колоссальных картона (около 12 ар. длины). Храм сооружается в древнем новгородском стиле и будет построен весь, от основания до верха, не из кирпича, а из глыб белого жигулевского камня, причем так, чтобы, насколько возможно, и швов не было заметно. Стоимость постройки этого храма будет огромна, как передают, около 500 тысяч рублей. И это в селе, хотя и большом, бойком и торговом» [3].

На рис. 2, 3, 4 представлены фотографии фасадов проекта церкви из фонда архивных материалов музея им. Щусева (фасады, общий вид). По фотоматериалам и подлинникам чертежей выполнено описание первоначального облика, архитектуры церкви.

Архитектурное решение храма включает использование мотивов псковско-новгородского зодчества в сочетании с выделением мощного шатрового завершения. Художественный образ огромной призмы шатрового храма ассоциируется с высоко поднятым шлемом древнерусского богатыря.

Академик Ф.О. Шехтель при создании проекта храма пошел по пути поэтического переосмысливания форм отечественного Средневековья: прообразом явилась шатровая церковь Вознесения в Коломне.

Шехтель достигает архитектурной выразительности храма за счет объемной композиции, состоящей из разновысоких шатровых объемов с разной формой покрытия. Масса храма, утяжеленная в нижней части, ступенчато облегчается кверху. Этот эффект усиливается прорезанными узкими, вытянутыми проемами окон, порталами, контрфорсами. Контрфорсы решены в виде мощных вертикалей. Их масса

уменьшается кверху, создается эффект особого напряжения архитектурных масс. Строгое архитектурное убранство фасадов дополнено цветовыми мозаиками, которые зрительно усиливают эффект монументальности и мощи. Нерегулярный ритм арочных проемов окон оживляет статику объемов храма.

В плане главная часть церкви, молитвенный зал, представляет собой квадрат ориентировочно 18х18 метров, к которому с запада примыкает одноэтажная галерея, соединяющая зал с колокольной и крестильной, и входная часть с лестницами. С востока к храму примыкает алтарная часть, решенная в виде трех апсид, две боковые при этом вдвое ниже центральной апсиды. По архитектурной типологии церковь представляет собой бесстолпный, зальный, с выраженной продольной осью с запада на восток храм.

В общем центральное пространство храма Шехтель активно включает и пространство притвора, хотя оно ограничивается сверху антресолью хоров. Он применяет излюбленный прием — устройство сквозной, с раскрытием на всю высоту храма арки, которая органично соединяет притвор с центральным подкупольным пространством и обеспечивает перетекание пространства (принцип модерна) [4]. Кульминацией композиции является эффект прорыва, подъема мощного купола вверх по вертикали, с помощью парусного свода.

Огромный шатер, перекрывающий храм, имеет высоту более 14 метров и опирается на восьмигранный барабан высотой 7 метров. Барабан поставлен на подпружные арки, пяты которых опираются на усиленные, решенные в виде квадратных опор столбы в углах здания, пронизывающие весь объем до основания фундаментов.

Снаружи распор шатра гасится поясом конструктивных, вытянутых вертикально закомар, которые одновременно являются и декоративным поясом, своеобразным барабаном — основанием шатра. Над внешней стеной барабана расположен купол и гнезда для опорных башмаков несущего каркаса шатра. «Общий вид церкви, её многообразной композиции воссоздают облик Небесного Града. Взыскуемое старообрядцами Беловодье с белоснежным храмом — градом вознеслось над строениями волжского села» — пишет так академик архитектуры Е.И. Кириченко. [5].

Главный вход в храм решен в виде тамбура, фасад которого завершен высоким килеобразным фронтоном с мозаикой из итальянской цветной смальты Животворящей Троицы.

Северо-западный угол храма занимает небольшой кубический объем крестильни, перекрытой четырехгранным шатром. Ее фасад имеет композицию окон и

закомар, украшенных килеобразными кокошниками, опирающимися на каменные колонки.



а



б

Рисунок 6 – Мозаичные панно из итальянской цветной смальты: а) на южном фасаде «Спас Нерукотворный»; б) на северном фасаде «Богородица Знамения»



Рисунок 7 – Фото западного фасада храма Святой Троицы Шехтеля в современности в 2017 г.

В юго-западной части храма зодчий поместил шатровый объем колокольни, которая имеет вытянутый вверх объем параллелепипеда, квадратный в плане, усиленный по углам контрфорсами. В верхней части колокольни имеются сквозные проемы с полуциркульным завершением, раскрывающие пространство большого колокола – гордости церкви. Венчает башню восьмигранный высокий барабан с килеобразными кокошниками, опирающимися на колонки, образующие малые проемы.

Внизу на западном фасаде колокольни выделяется ниша с полуциркульным завершением, имеющая двускатный навес, где Шехтель расположил образ икону и висящую на цепи большую лампаду.

Мозаики: Яркой особенностью храма Шехтеля являются мозаичные панно из цветной смальты, которые контрастно выделяются на строгом белокаменном поле стен храма (рис. 6). Все три мозаичные панно на северном и южном фасадах и над главным входом исполнялись в мозаичной мастерской В. А. Фролова в Петербурге.



Рисунок 8 – Освящение новой мозаики главного входа в храм Святой Троицы в Балаково из цветной итальянской смальты, 2019 г.

Третья мозаика главного входа «Троица Живоначальная» была утрачена и восстановлена в 2019 году, о чем свидетельствует (рис.8).

Все архитектурные средства подчинены тому, чтобы, по словам Шехтеля, «ввести зрителя в то настроение, которое отвечает назначению здания... украсить наше существование, дать радость нашему глазу и повысить тонус нашей жизни».

Литература

1. Попова, Н.А. Белокаменный Феникс Шехтеля / Н.А. Попова. – Саратов : СГТУ, 2016.
2. Зодчий: архитектурно-художественный журнал. – 1911. – № 11. – С. 118.
3. Зодчий: архитектурно-художественный журнал. – 1911. – № 51. – С. 541.
4. Шехтель, Ф.О. Сказка о трёх сёстрах / Ф.О. Шехтель // Государственный научно-исследовательский музей архитектуры имени А.В. Щусева (ГНИМА). – Фонд Р1. – Описание 11626. – Дело 2.
5. Кириченко, Е.И. Архитектурное наследие России. Фёдор Шехтель / Е.И. Кириченко. – Москва : Издательский дом Руденцовых, 2011. – С. 451.

УДК 624.014

Краткий обзор развития купольных покрытий зданий и сооружений

Ращепкина Светлана Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры

«Промышленное и гражданское строительство»

Рязанова Ирина Николаевна, студент направления «Строительство»

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

В статье выполнен краткий обзор развития купольных покрытий зданий и сооружений: от римского Пантеона до современных большепролетных сооружений, прослеживается непрерывная эволюция конструктивных решений и материалов. Показаны возможности куполов для широкого применения на объектах различного назначения.

Купол – это одна из самых совершенных и величественных форм в архитектуре. От римского Пантеона до современных спортивных арен, купола на протяжении тысячелетий вдохновляли архитекторов, символизируя небесную сферу, могущество и инженерный гений. Это архитектурное чудо, сочетающее в себе эстетику и сложную инженерную мысль, прошло долгий путь эволюции.

Купола способны перекрывать значительные пролеты без дополнительных промежуточных опор, что позволяет применить их для круглых, многоугольных или эллиптических в плане зданий и сооружений [1, 2]. От вертикальной нагрузки, действующей сверху в куполе кроме усилий сжатия, возникает горизонтальная

составляющая – распор, который передается на опоры. С появлением металла стали использовать распорки, опорные кольца и другие специальные конструкции [1].

История появления куполов в мировом пространстве имеет длительный и сложный путь, глубокие древние корни. Анализ купольных покрытий позволяет проследить развитие человечества с его развитием и необычными принципиальными подходами. Тема весьма актуальная и требует дальнейшего изучения.

Цель статьи – проанализировать процесс развития и совершенствования купольных покрытий начиная от купола древних времен до настоящего современного красивого купольного покрытия, выявить возможности его широкого применения в уникальных большепролетных зданиях и сооружениях.

Самые древние каменные купола представляли собой сооружение, состоящее из горизонтальных рядов кладки, которые нависали один над другим, сходясь к центру, образуя куполообразное строение. Это начало III тысячелетия до н.э. в Двуречье (Месопотамия) и знаменитой «гробницей Атрея» в Микенах (XIV век до н.э.) [1, 2].

С появлением бетона в Древнем Риме научились возводить грандиозные каменные купола правильной сводчатой конструкции. Вершиной римского зодчества стал Пантеон (около 128 года н.э.) – храм всех богов. Диаметр полусферического купола составляет 43,5 метра (рис. 1, а). Он до сих пор остается самым большим в мире куполом из неармированного бетона [2]. В центре купола находится круглое отверстие – единственный источник света, символизирующий Солнце.

VI веке византийские архитекторы разработали способ возведения купола над квадратным в плане помещением. Они разработали систему парусов – сферических треугольников, которые передают нагрузку с круглого основания купола на четыре угловые опоры. Шедевром этого периода является собор Святой Софии в Константинополе (VI век) [1, 2].

В эпоху Возрождения (XV век) интерес к античной культуре привел к новому витку развития купольного зодчества. Филиппо Брунеллески создал огромный восьмиугольный купол собора Санта-Мария-дель-Фьоре (рис. 1, б) во Флоренции (1420-1436г.), применив новаторскую конструкцию двойной оболочки и ребер жесткости [1, 2]. Микеланджело завершил купол собора Святого Петра в Риме, который до сих пор доминирует над городским ландшафтом [2].

Начиная с XIX века, с развитием металлического каркаса, железобетона и остекления, купола стали применяться не только в культовых, но и в светских и общественных зданиях: парламентах, вокзалах, выставочных павильонах [1].

В XX веке появились геодезические купола, предложенные Ричардом

Бакминстером Фуллером – легкие сетчатые конструкции из стандартных элементов, позволяющие перекрывать пролеты до 150 метров [3].



Рисунок 1 – Типы древних куполов [3]: а - купол Пантеона; б - собор Санта-Мария-дель-Фьоре во Флоренции; в - главный купол Троице-Измайловского собора в Санкт-Петербурге

Троице-Измайловский собор – православный храм в Адмиралтейском районе Санкт-Петербурга (рис. 1, в). Храм построен в стиле ампир. Крестообразный в плане каменный собор имеет пять мощных глав [3]. На время освящения собор являлся крупнейшим в России. Стрела подъема купола составляет 80 м. В храме может находиться более 3000 человек. Купола расписаны золотыми звёздами по голубому фону.

Многообразие форм, размеров и удивительных конструкций куполов поражает. На протяжении более двух тысяч лет купол оставался одной из самых выразительных и конструктивно совершенных форм покрытия.

Купол-луковица. У купола-луковицы округлая структура, похожая на луковицу, с острием внизу (рис. 2, а). В России, Турции, Индии и на Ближнем Востоке чаще всего встречаются такие купола. Такие чаши больше по диаметру, чем основание, и крепятся к барабану, а их высота обычно превышает ширину. Как и шатры, купола изначально использовались только при строительстве деревянных церквей, а затем стали применяться в каменной архитектуре. Сейчас их изготавливают из дерева, металла или железобетона. В России церковь возводится с несколькими куполами-луковицами, что отличает её от построек других народов. Купола русских церквей чаще имеют меньший размер и обычно покрыты позолотой или ярко окрашены.

Овальный купол (рис. 2, б). Первый овальный купол в стиле барокко был возведен Джакомо да Виньола для церкви Сант-Андреа-ин-Виа-Фламиния. Папа Юлий III строил его два года (1552-1553). Выдающимися архитекторами овальных куполов были Л.Бернини и Ф.Борромини, Франческо Галло, который возвел купол в Викофорте (Италия). Большой и малый диаметры купола были соответственно: 36м и 25м, высота 75м. Строительство купола площадью 6032 м² было завершено в 1752 году Маттия

Бортолони и Феличе Биелла. В 1881 году церковь была объявлена достопримечательностью архитектуры [3].

Поясной купол (рис. 2, г). Этот тип купола отличается от «настоящего купола» тем, что он состоит из отдельных горизонтальных слоёв элементов сооружения. Все слои последовательно выступают над предыдущим на определенную величину. Для жесткости слои поддерживаются консолью. Последние слои сходятся вверху к центру. Примером такого купола является сокровищница Атрея.

Купол-блюдце. Купол-блюдце представляет собой неглубокий, с малым углом между горизонтальной и поверхностью у основания (рис. 2, д). Геометрически, горизонтальное сечение таких куполов является окружностью, а вертикальное – сегмент круга (то есть её часть). Эти купола имеют стрелу подъема заметно меньшую, чем в других известных типах. При этом они относятся к самым знаменитыми куполами большого диаметра. Купола-блюдца приобрели популярность в XVIII веке и остаются популярными по настоящее время. Зачастую они используются как элемент внутреннего дизайна помещения, располагаясь в пространстве чердачных помещений. В этом случае купол оказывается не виден снаружи, а внутри создаёт ощущение увеличенного пространства. Для архитектурной выразительности эти купола украшают различного рода орнаментами или фресками. Купола-блюдца распространены в византийских церквях, а также в османских мечетях. Такие купола распространены в Индии, Пакистане, Иране и Афганистане [4].

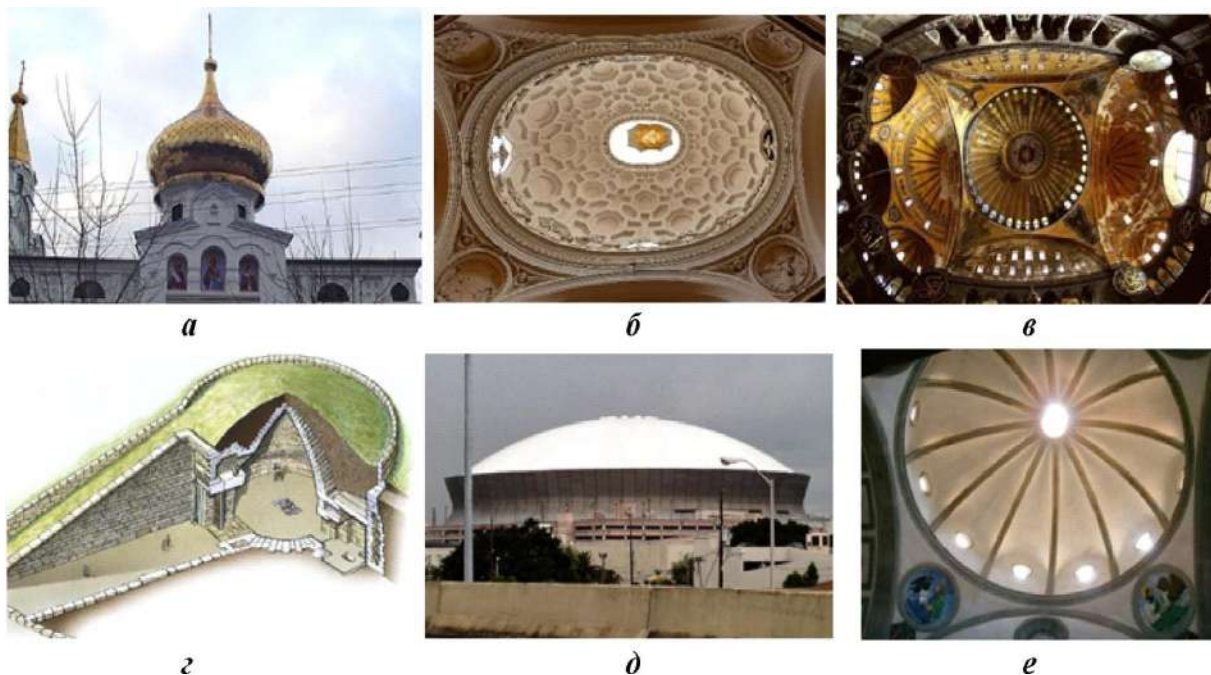


Рисунок 1 – Виды куполов [3, 4]: а - купол-луковица; б - овальный купол; в - парусный купол; г-поясной купол; д - купол-блюдце; е – купол-зонт

Купол-зонтик (рис. 2, е). Данный тип купола состоит из радиальных ребер, идущих от центра до нижней части оболочки. По такому принципу возведен центральный купол Софийского собора, а также главный купол собора Святого Петра [4].

Купола возводят из кирпича, металла, дерева, железобетона и керамики (рис. 3). Их покрывали медными, стальными листами или из других материалами. В древние времена на медную поверхность наносили ртутную амальгаму с золотой крошкой и нагревали. Ртуть выпаривалась, а золото распространялось по поверхности ровным тончайшим слоем и оставалось так на века. На золочение купола Исаакиевского собора в Санкт-Петербурге израсходовали около 100 килограммов драгоценного металла [4].

В наши дни в основном купола покрывают нержавеющей сталью с напылением нитрида титана золотого цвета. Такой метод используют при покрытии куполов другого цвета. Изготавливают не только купола золотого цвета, но и серебристые, синие и любые другие. Новые технологии совмещают прочность, долговечность и традиционный материал. Металлические купола могут иметь как сплошное покрытие, так и состоять из соединенных между собой фрагментов, чаще всего ромбовидных.

Деревянные купола в основном возводят из осины [5]. Собирают из тонких деревянных листов, подогнанных по форме купола. Таким способом строили купола храмов на Севере нашей страны, например, храмы знаменитых Кижей. В наши дни технология возрождена и широко используется при реконструкции и восстановлении разрушенных храмов.

Нашли применение керамические купола. Такие купола могут быть чешуйчатыми или состоять из разноцветных пластин. Например, купола храма благоверного князя Игоря Черниговского в Переделкино имеют удивительные красочные цвета и росписи, привлекающие взоры молящихся. Проходящие мимо люди или посетители радуются, любуются как дети, так и взрослые [5].



а

б

в

Рисунок 3 – Материалы куполов [5]: а – керамический купол церкви Сан-Дженнаро в Прайано; б – деревянные купола церкви Преображения Господня в Карелии; в – металлический купол Исаакиевского собора в Санкт-Петербурге

Наибольшее распространение нашли золотистые и серебристые купола. Иногда

раскрашивают купола в синие, голубые, красные, зеленые цвета, и они даже могут быть практически черного цвета. Например, купол Покровского собора Марфо-Мариинской обители имеет чёрный цвет куполов. Деревянные купола сохраняют в естественном цвете: золотисто-коричневый или серебристый оттенки.

В России в последнее время внедряется традиция соотносить цвет куполов храма с его посвящением. В работе символика цветов представлена следующим образом:

- Золотой – слава Божия,
- Синий (голубой) или серебристый – небесная чистота,
- Зеленый – благодать Святого Духа, дарующая жизнь; райский сад.
- Многоцветные купола (как на храмах Василия Блаженного и Спаса-на-Крови) – красота Небесного Иерусалима.

Следует отметить, красивый архитектурный вид здания очень зависит от традиций страны, региона, поселения. В качестве примера можно привести цвет купола, перекликающийся с цветом формы офицеров определенного воинского подразделения. Это купола Троицкого собора Лейб-гвардии Измайловского полка в Санкт-Петербурге [5]. Здесь купола выкрашены в голубой цвет – красочное сочное небо, имеющее цвет одежды.

Рассмотрим выдающиеся примеры современных купольных сооружений в России.

В Санкт-Петербурге был возведен аквапарк «Питерлэнд», где купол был выполнен из клееных деревянных конструкций (рис. 4, а). Диаметр купола 90 м, стрела подъема 45 м. Верхнее стальное несущее кольцо диаметром 5 м и нижнее железобетонное опорное кольцо соединяют меридиональные ребра, расположенные с шагом 14,5 м. Большие размеры сооружения не спрятаны; они видимы и создают красочность уникального строения [6, 7]. Кроме того, купол накрыт полупрозрачным пластиком, все сооружение просматривается, подчеркивая его огромные размеры, сочетающиеся с ажурностью и удивительной красотой конструкций из дерева, обработанного специальными составами и необычной резьбой.

Создание крупнейшего здания выполнялось по специально разработанной технологии. На жестком стенде производилась сборка блоков купола. Все блоки собирались в единое целое на вертикальном стенде с последующей установкой в необходимое положение согласно задуманному авторами конструктивному решению [7].

Достоинства:

- крупнейшие размеры конструкций из дерева;
- применение полупрозрачного пластика, позволяющего подчеркнуть строгость и красоту здания;

- применение клееных конструкций в здании больших размеров.



а

б

в

Рисунок 4 – Выдающиеся примеры современных куполов в России: а – Аквапарк «Питерлэнд» в Санкт-Петербурге [7], б – Главный храм Вооружённых сил России в Кубинке [8]; в – Чёрный кристалл кластер RDD в Новой Москве, Троицкий округ [9]

Главный храм Вооруженных сил в Московской области [8] (рис. 4, б). Этот православный храм, располагающийся в 50 км от столицы, также получил название Патриаршего собора во имя Воскресения Христова. Его посвятили подвигам русского народа в войнах, а открытие в 2020 году приурочили к 75-летию Победы в ВОВ.

Сочетание металла и стекла применено в архитектуре при создании инновационных куполов. Ярко и красиво сочетаются цвета как во внутренней отделке, так и внешней. Это медный, традиционный серый и новый темно-зеленый. Необычная форма купола напоминает шлем Невского А. Сооружение дополнено разными украшениям в виде гильз, осколков, снарядов. Особо следует заметить, что в здании представлены зашифрованные цифры, символизирующие могущество России. Диаметр основного купола (главного) составляет 22,43 м; высота малого купола – 14,18 м [8].

Достоинства:

- сочетание металла и стекла;
- яркие впечатляющие тона;
- военные украшения, подчеркивающие мощь и непобедимость России.

Черный кристалл в кластере RDD (рис. 4, в) [9]. В новой Москве был возведено сооружение в форме кристалла. Это многофункциональное здание было создано архитектором Кулиш С. В 1923 году. На основе зарубежных аналогов был создан каркас купола из трансгулированных плоскостей. Площадь купола составляет 7500 м². Он состоит из 52 секторов, которые надежно соединены с образование необычной пространственной конструкции. Это мощное здание имеет 30000 элементов, которые составляют основу многофункционального комплекса. Каркас несущего покрытия включает перекрёстно-стержневые конструкции.

Достоинства:

- достопримечательность современной архитектуры;
- уникальное купольное сооружение из трансгулированных плоскостей;
- огромное и перспективное здание.

Современные купольные конструкции рассматриваются как экологичная альтернатива традиционным зданиям. Благодаря двойной кривизне поверхности купола расходуют значительно меньше строительных материалов при сохранении большего внутреннего объема.

Экологические преимущества купольных конструкций:

- сокращение строительных отходов за счет использования торкретбетона и арматуры;
- сплошная водонепроницаемая мембрана обеспечивает герметичность и предотвращает загрязнение окружающей среды;
- устойчивость к ультрафиолетовому излучению и минимальные затраты на обслуживание;
- эффективное использование территории – возможность хранения большего объема материалов на меньшей площади;
- отличная защита от тепловых воздействий, огня и взрывов.

Таблица – Техническо-экономические показатели стальных сферических куполов

Наименование здания	Материал покрытия	Диаметр купола в м.	Стрела подъёма в м.	Расход стали в кг/м ²	Примечание
Стадион в Хьюстоне (США)	Прозрачный пластик	196	28,35	80	Сетчатый
Спортивный зал в Медисоне (США)	Стальной ребристый настил	99	14	76	Ребристый
Арена в Грин-Бич, штат Висконсин (США)	Стальные многопустотные панели	95	15,2	85	Ребристо-кольцевой
Выставочный зал в Шарлотте (США)	Монолитный железобетон	40	6,76	43	Сетчатый
Ремонтно-механический цех в Ленинграде	Дерево	34,1	8	41	Ребристо-кольцевой
Склад сушёного концентрата Лисаковского горно-обогатительного комбината	Дерево	24	4,3	49	Ребристо-кольцевой
Высоковольтный испытательный центр	Профилированный стальной настил	227	32,5	88	Ребристо-кольцевой со связями
Склад глинозёма Таджикского алюминиевого завода	Стальная мембрана	66	14,5	35	Ребристо-кольцевой с мембраной

В таблице приведены основные технико-экономические показатели сферических

куполов из стали, характеризующие различные их конструктивные решения, геометрические размеры и район их строительства [10].

Анализ таблицы показал:

- наибольшее распространение нашли ребристо-кольцевые купола;
- диаметры куполов имеет широкие пределы: от 24м до 227 м;
- стрела подъема имеет большой диапазон; она изменяется в ребристо-кольцевых куполах от 4,3 м (небольшой диаметр) до 15,2м (диаметр 95 м);
- удельный расход стали при возведении ребристо-кольцевого купола изменяется от 41кг/м^2 до 88кг/м^2 ;
- сетчатые купола позволяет перекрывать огромный диаметры: от 40м до 196м.

Таким образом, купол – это уникальное большепролетное покрытие позволяющее перекрывать здания как малых, так и огромных диаметров. Сетчатые купола являются одним из перспективных покрытий зданий и сооружений различного назначения.

Развитие купольных покрытий представляет собой яркую страницу в истории архитектуры и строительной техники. На протяжении более двух тысяч лет купол оставался одной из самых выразительных и конструктивно совершенных форм покрытия, воплощая как инженерные достижения, так и духовные устремления человечества.

От римского Пантеона до современных большепролетных стадионов прослеживается непрерывная эволюция конструктивных решений, материалов и методов расчета. Ключевыми этапами этого развития стали: изобретение бетона в Древнем Риме, разработка парусной системы в Византии, создание двухоболочечных конструкций в эпоху Возрождения, внедрение металлов в XIX веке и освоение железобетонных оболочек в XX столетии.

В настоящее время область применения купольных покрытий чрезвычайно широка: от культовых сооружений до промышленных объектов, от спортивных арен до выставочных павильонов. Дальнейшее развитие технологий, появление новых композиционных материалов и совершенствование методов расчета открывают новые перспективы для купольного строительства, позволяя реализовывать всё более смелые архитектурные идеи.

Литература

1. Архитектурный словарь – Крымский архитектурный портал КАП. [Электронный ресурс]. URL: https://www.archiportal-crimea.ru/architekturniy-slovar.html?dic_tid=3226 (дата обращения 24.03.2026).

2. Купол – Википедия. [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Купол> (дата обращения 24.03.2026).
3. Цвингман, Г.А. Основные типы куполов, их конструкция и архитектура // Проблемы архитектуры: Сборник материалов. Т. I, кн. 2. – Москва : Издательство Всесоюзной Академии архитектуры, 1936. – С.25-60.
4. Купол: архитектурный элемент, виды и особенности конструкции. [Электронный ресурс]. URL: <https://znanierussia.ru/articles/Купол> (дата обращения 24.03.2026).
5. Купола православных храмов. [Электронный ресурс]. URL: <https://ortox.ru/wiki/kupola/> (дата обращения 24.03.2026).
6. Купол как уникальная конструкция // Строительный Еженедельник. – 2019. – № 31 (891). – С.13.
7. Детский развлекательный центр с аквапарком и катком // Архив конкурса Arhiwood. [Электронный ресурс]. <https://arwd.ru/awards/project/detskiy-razvlekatelnyy-tsentr-s-akvaparkom-i-katkom> (дата обращения 24.03.2026).
8. 15 самых знаковых храмов и церквей в России. [Электронный ресурс]. URL: https://zoon.ru/article/otdyh/samye_znakovye_khramy_i_czerkvi_rossii/ (дата обращения 24.03.2026).
9. Необычная архитектура: топ-7 зданий в форме кристалла. [Электронный ресурс]. URL: <https://stroygaz.ru/publication/architecture/neobychnaya-arkhitektura-top-7-zdaniy-v-forme-kristalla/> (дата обращения 24.03.2026).
10. Липницкий, М.Е. Купола. Расчёт и проектирование / М.Е. Липницкий. – Ленинград : Стройиздат, 1973. – 130 с.

УДК 624.014

О покрытиях в виде оболочек, применяемых в зданиях и сооружениях

Ращепкина Светлана Алексеевна, кандидат технических наук, доцент

Степанова Виктория Леонидовна, студент направления «Строительство»

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

В статье рассматриваются различные типы пространственных покрытий в виде оболочек из металла, железобетона, дерева, а также пневматические сооружения. Подробно анализируется каждый вид, указываются области их применения в гражданском и промышленном строительстве.

Использование оболочек в качестве покрытий позволяет перекрывать значительные пролёты при относительно малой толщине конструкции, поскольку основным рабочим состоянием здесь является сжатие. Такие решения дают возможность снижать расход материалов, придавать зданиям выразительный архитектурный облик и формировать уникальные внутренние пространства. В современной практике оболочки применяются при возведении спортивных арен, выставочных павильонов, аэровокзалов, культурных и культовых центров [1...21].

Выбор конкретного типа оболочки зависит от необходимой величины пролёта, уровня нагрузок, климатических условий, требуемой долговечности и экономических ограничений.

Цель работы – исследовать основные виды оболочек из различных материалов, проанализировать их ключевые характеристики, выявить наиболее перспективные конструктивные решения, их широкое применение в гражданском и промышленном строительстве.

Разновидности оболочек.

Оболочки из металла. В покрытиях зданий и сооружений металл широко применяют для создания пространственных ажурных конструкций. Они выполняют одновременно несущие и ограждающие функции [5]. В зависимости от конструктивной схемы, металлические оболочки подразделяются на листовые, ребристые и сетчатые [2]. Оболочки, изготавливаемые из тонкого стального или алюминиевого листа, часто называют мембранными. Они обеспечивают гладкую внешнюю поверхность [5]. Купола представляют собой конструкции из стальных стержней, формирующих геодезическую или другую сетку. Их отличает минимальный расход металла, составляющий 25–60 кг/м² [4]. Алюминиевые оболочки легче стальных и не нуждаются в антикоррозионной защите, но стоят дороже своих стальных аналогов.

К преимуществам металлических оболочек относят малый вес по сравнению с железобетонными, высокую заводскую готовность элементов сетки, быстрый монтаж высокоскоростными методами, возможность создания уникальных форм с пролетом до 200 м, а также ремонтпригодность и возможность несложного демонтажа. Среди недостатков следует указать подверженность коррозии, высокую стоимость специальных сталей и алюминиевых сплавов, применяемых в большепролетных покрытиях.

Оболочки из металла применяются в спортивных сооружениях (стадионы, ледовые дворцы), ангарах, развлекательных центрах, планетариях, крытых стадионах, выставочных комплексах, а также в производственных зданиях с крупными пролётами.

Примеры применения металлических оболочек: сетчатый купол – Спортивный комплекс «Лужники», Москва (рис. 1, а); Дворец спорта и образования Ирины Винер в Москве (алюминиевый купол сложной формы пролётом до 90 м) (рис. 1, б).



Рисунок 1 – Металлические оболочки: а – СК «Лужники» г. Москва [17]; б – Дворец спорта и образования Ирины Винер, г. Москва [18]

Оболочки из железобетона. Покрытия в виде оболочек представляют собой пространственные конструкции, имеющие очень малую толщину. Их поверхность обычно имеет криволинейный профиль. Такие оболочки часто выполняют как несущие, так и ограждающие функции [3]. По форме они делятся на цилиндрические своды, купола вращения, гиперболические параболоиды (гипары), коноиды, складчатые конструкции и вантовые системы с жёсткой оболочкой. Для возведения монолитных конструкций применяются инвентарные или пневматические опалубки, позволяющие создавать элементы с любой криволинейной формой. Тем не менее, это требует высокой квалификации рабочих и строгого контроля за процессом заливки бетонной смеси. Сборные конструкции включают стандартные панели с криволинейными поверхностями, такие как КЖС-оболочки. Эти панели изготавливаются на заводе, что гарантирует их готовность к монтажу. Однако такой подход ограничивает возможности для архитектурных экспериментов [3].

Среди ключевых преимуществ железобетонных оболочек можно отметить высокую несущую способность при толщине 4–12 см, долговечность (срок службы более 100 лет) и огнестойкость. Кроме того, они устойчивы к динамическим (в том числе сейсмическим до 9 баллов) воздействиям, позволяют перекрывать пролёты до 100 м и более без промежуточных опор [3] и дают возможность создавать плавные архитектурные формы [2]. В то же время для них характерны высокая трудоёмкость устройства опалубки и армирования, значительные сроки возведения из-за выдерживания бетона, ограниченная транспортная способность (преимущественно

монолитное исполнение) и повышенные требования к контролю геометрии оболочки. Оболочки из железобетона широко используются для спортивных арен, выставочных павильонов, крытых рынков, аэровокзалов, культовых сооружений, а также любых объектов с уникальной архитектурой [2]. Кроме того, они находят применение в зрелищных учреждениях (театры, концертные залы), крытых бассейнах и транспортных терминалах.

Примеры реализации: цилиндрический свод применён в покрытии крытого рынка «Гостиный двор» в Москве (арх. Дж. Кваренги, историческое здание, но современные железобетонные своды используются в ангарах и промышленных зданиях). Купол вращения реализован в покрытии мечети Кул-Шариф в Казани. Гиперболические параболоиды использованы в покрытии ресторана «Лос-Манантиалес», Мексика (рис.2).



Рисунок 2 – Железобетонные оболочки: а – гостиный двор г. Москва [14]; б – мечеть Кул-Шариф г. Казань [15]; в – покрытие ресторана «Лос-Манантиалес», Мексика [16]

Деревянные оболочки. Такие оболочки производятся из массива или клеёных материалов хвойных пород [2]. Чаще всего встречаются ребристые купола, сетчатые конструкции из гнуклеёных компонентов и сводчатые формы с обшивкой [8].

Сетчатые купола состоят из гнуклеёных брусьев, которые в узлах скрепляются стальными зубчатыми пластинами или соединяются с помощью болтов. Система радиальных и кольцевых ребер представляет собой ребристо-кольцевой купол, имеющий достаточно жесткий пространственный каркас. Каркас обшивается фанерой или плитами из дерева. Широкое распространение нашли клеёные своды различной формы очертания пролетом более 60 м.

Оболочки из дерева имеют хорошие показатели: высокую экологичность и эстетичность, низкую теплопроводность, малый вес, а также возможность сборки из элементов полной заводской готовности. Однако такие конструкции не лишены недостатков – слабая огнезащита, подверженность биоповреждениям, необходимость регулярной защитной обработки элементов деревянного покрытия [10].

Деревянные оболочки используются в общественных зданиях (детские сады, школы), спортивных сооружениях (крытые катки), церквях, выставочных павильонах, объектах туристической инфраструктуры, а также в загородных клубах, сельскохозяйственных постройках и малых архитектурных формах. Известны объекты с деревянными оболочками: ребристый купол (рис.3, а) – собор Св. Павла в Лондоне (деревянная конструкция внешнего купола); сетчатая оболочка (рис.3, б) – Метрополь Парасоль (Metropol Parasol) в Севилье (Испания, 2011 г., архитектор Ю. Майер, крупнейшее в мире деревянное сетчатое покрытие).



Рисунок 3 – Деревянные оболочки: а – собор Св. Павла, г. Лондоне [19]; б – Metropol Parasol, г. Севилья [20]

Пневматические и текстильные оболочки. Это мягкие оболочки, которые выполняют свои функции благодаря воздуху, находящемуся внутри них под определённым избыточным давлением [7]. Они делятся на два основных типа: пневмоопорные, где давление создаётся внутри основного объёма, и пневмокаркасные, где воздух нагнетается в несущие элементы. Текстильные мембраны способны выдерживать предварительное напряжение без необходимости постоянного давления, однако для их надёжной работы требуется мощный опорный контур. Более экономичными являются пневмоопорные оболочки при перекрытии больших пролетов (до 80м и более). Избыточное давление находится в пределах 0,3...0,5 кПа [7]. Нашли применение пневмокаркасные оболочки, где надувают балки, арки, составляющие основу каркаса, обтягиваемого специальной тканью, а иногда и пленкой.

Основное преимущество пневматических и текстильных оболочек являются минимальная масса, которая составляет 0,5...2 кг/м². Кроме того, быстрый монтаж (за несколько дней), низкая стоимость, возможность создания временных и мобильных сооружений позволили найти широкое применение таких конструкций. К недостаткам относятся ограниченный срок службы (10...20 лет), низкая огнестойкость, уязвимость к механическим повреждениям. Такие сооружение сложно применять в районах с большими ветрами и снеговыми нагрузками.

Пневматические оболочки используются для временных павильонов, складских ангаров, спортивных залов сезонного использования, выставочных пространств, крытых теннисных кортов, а также для быстровозводимых укрытий техники, мобильных медицинских центров и событийных мероприятий.

Примеры реализации оболочек:

- пневмоопорные оболочки (рис.4, а), где они использованы в стадионе «Сильвердоум» в США (г. Понтиак, Мичиган, 1975 г., первый пневмоопорный стадион);
- пневмокаркасные оболочки (рис.4, б) представлены складскими ангарами типа «арктическая палатка».



а



б

Рисунок 4 – Пневматические оболочки: а – стадион «Сильвердоум» в США [19];
б – ангар «арктическая палатка» [21]

Анализ различных типов оболочек показал, что железобетонные имеют широкое распространение благодаря высокой несущей способности, долговечности и огнестойкости [3, 4]. Красивейшее сооружение в виде оболочки сложного профиля возведено в г. Москва (рис. 5, а) [3]. Купол представляет собой 14-лепестковую железобетонную «ромашку» диаметром 72 м. Лепестки изготовлены из сборных железобетонных плит ромбовидной формы, их толщина в некоторых местах не превышает 4 см [12].

Вторым примером уникальной железобетонной оболочки служит покрытие концертного зала «Филармония» в Берлине (рис.5, б). Его гиперболический параболоид (гипар) был возведён в 1963 году по проекту архитектора Х. Шаруна и инженера Г. Айзака. Толщина железобетонной оболочки не превышает 8 см, а перекрываемый пролёт составляет около 50 метров. Сооружение успешно эксплуатируется более 60 лет, демонстрируя долговечность, надёжность и архитектурную выразительность тонкостенных железобетонных конструкций.

а



б



Рисунок 5 – Уникальные объекты: а – Даниловский рынок, г. Москва [12]; б – Берлинская филармония, г. Берлин [13]

На рис.6 показана сетчатая оболочка Монреальская биосфера (фр. Biosphère de Montréal) – музей в Монреале (Квебек, Канада), расположенный в парке Жан-Драпо на острове Святой Елены посреди реки Святого Лаврентия.

Биосфера представляет собой геодезический купол диаметром 76 метров и высотой 62 метра. Конструкция собрана из стальных стержней (по другим данным – алюминиевых труб). Геометрия купола основана на икосаэдре – 20-граннике, образованном внедрением пятиугольников в шестиугольную сетку. Однако чёткость этой формы размыта за счёт дробления граней на сеть равносторонних треугольников. Эти треугольники слегка искажены, из-за чего плоские секции выгибаются наружу, образуя оболочки. В результате конструкция выглядит значительно более сферической, чем стандартный икосаэдр, а повторение мелких элементов добавляет визуальной сложности.

Структурный каркас создан полностью из трёхдюймовых стальных труб, сваренных в местах соединений. Трубы постепенно сужаются к вершине купола, что позволяет оптимально распределять силы по всей системе. Американский изобретатель Фуллер использовал треугольники как идеальную геометрическую форму,

обеспечивающую равномерное распределение нагрузок. Это позволило создать лёгкую, но прочную конструкцию, используя примерно в 50 раз меньше материалов, чем при традиционном строительстве [11].



Рисунок 6 – Монреальская биосфера, г Монреаль, Канада [11]

Сравнительные технико-экономические показатели оболочек из различных материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Техничко-экономические показатели оболочек

Тип оболочки	Пролёт / диаметр, м.	Толщина / сечение, см.	Расход материала	Ориентировочная стоимость, руб./м ²
Железобетонная цилиндрическая (из сборных панелей) [3; 9]	до 36	6–8 см	бетон: 0,07–0,09 м ³ /м ² ; сталь: 8–10 кг/м ²	4 500 – 5 500
Железобетонная [3, 9]	36–70	8–10 см	бетон: 0,09–0,12 м ³ /м ² ; сталь: 10–13 кг/м ²	5 500 – 6 500
Железобетонная [3, 9]	70–100	10–12 см	бетон: 0,12–0,15 м ³ /м ² ; сталь: 13–15 кг/м ²	6 500 – 7 500
Металлическая (сетчатый купол) [5]	до 30	решётка 50–100 мм	сталь: 25–35 кг/м ²	6 000 – 8 000
Металлическая [5]	30–100	решётка 100–120 мм	сталь: 35–50 кг/м ²	8 000 – 10 000
Металлическая [5]	100–200	решётка 120–150 мм	сталь: 50–60 кг/м ²	10 000 – 12 000
Пневматическая [7]	до 30	ткань 0,5–1,0 мм	ткань: 0,5–1,0 кг/м ²	1 500 – 2 000
Пневматическая [7]	30–60	ткань 1,0–1,5 мм	ткань: 1,0–1,5 кг/м ²	2 000 – 2 500
Пневматическая [7]	60–80	ткань 1,5–2,0 мм	ткань: 1,5–2,0 кг/м ²	2 500 – 3 000
Клеёная деревянная [2, 6]	до 30	8–12 см	древесина: 0,05–0,07 м ³ /м ² ; сталь: 1,7–3,0 кг/м ²	4 000 – 5 500
Клеёная деревянная [2, 6]	30–60	12–16 см	древесина: 0,07–0,09 м ³ /м ² ; сталь: 3,0–4,0 кг/м ²	5 500 – 7 000
Клеёная деревянная [2, 6]	60–100	16–20 см	древесина: 0,09–0,11 м ³ /м ² ; сталь: 4,0–5,0 кг/м ²	7 000 – 8 500

Анализ таблицы четко показывает достоинства каждого типа оболочек, включая расход материалов, пролет и толщину несущей конструкции. При этом стоимость оболочек варьируется от 1500 руб./м² до 19000 руб./м². Наибольшая стоимость составляет у металлических оболочек. Минимальный расход материалов и соответственно наименьшая стоимость у пневматических оболочек.

В результате выполненного краткого анализа можно сделать следующие выводы:

- железобетонные оболочки отличаются высокой прочностью, долговечностью, устойчивостью к огню и способны перекрывать значительные расстояния при минимальной толщине. Это делает их идеальным решением для строительства капитальных сооружений с длительным сроком службы;
- металлические оболочки обладают такими преимуществами, как лёгкость, высокая степень заводской готовности и быстрая скорость монтажа. Однако они нуждаются в антикоррозионной защите и имеют высокую стоимость;
- пневматические и текстильные конструкции отличаются высокой экономичностью и скоростью возведения. Однако они менее долговечны и не обладают достаточной огнестойкостью, что ограничивает их использование для постоянных или круглогодичных объектов;
- деревянные покрытия отличаются экологичностью и привлекательным внешним видом. Они характеризуются низкой теплопроводностью, но требуют регулярного ухода для защиты от пожаров и биологических угроз.

Полученные результаты рекомендуются к применению при проектировании покрытий общественных, спортивных и выставочных зданий с большепролетными пространственными конструкциями.

Литература

1. Большепролетные конструкции в архитектуре зданий и сооружений / Н.А. Бузало, А.А. Тумасов, Н.Г. Царитова. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2026. – 144 с.
2. Перехоженцев, А.Г. Архитектурно-конструктивное проектирование большепролетных зданий : учебное пособие / А.Г. Перехоженцев. – Волгоград: ВолгГТУ, 2018. – 168 с.
3. Соколов, Б.С. Железобетонные тонкостенные покрытия / Б.С. Соколов, А.Л. Яншин. – Москва : Наука, 1986. – 229 с.
4. Тетиор, А. Н. Пространственные конструкции в строительстве: учебное пособие / А. Н. Тетиор. – Москва : Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. – 128 с.
5. Металлические конструкции: учебник для вузов / Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатьева и др. – Москва : Академия, 2007. – 680 с.

6. Нормативные показатели расхода материалов (НПРМ). Сборник 10. Деревянные конструкции. – Москва: Госстрой, 1991.
7. Ермолов, В.В. Пневматические строительные конструкции / В.В. Ермолов. – Москва: Стройиздат, 1985. – 192 с.
8. О деревянных конструкциях. Отечественный и зарубежный опыт формообразования покрытий с применением клееных деревянных конструкций [Электронный ресурс]. – URL: <https://research.sfu-kras.ru/publications/publication/345143644-334779226> (дата обращения: 20.04.2026).
9. Матниязов, Б. И. Конструктивная система зданий павильонного типа из тонкостенных оболочек [Электронный ресурс] / Б. И. Матниязов // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. – 2025. – № 9(138). — URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/20832> (дата обращения: 20.04.2026).
10. Пространственные конструкции покрытий [Электронный ресурс]. – URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01004123148> (дата обращения: 20.04.2026).
11. Биосфера (Монреаль) [Электронный ресурс]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Биосфера_\(Монреаль\)?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera](https://ru.wikipedia.org/wiki/Биосфера_(Монреаль)?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera) (дата обращения 17.05.2026).
12. Даниловский рынок [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Даниловский_рынок (дата обращения 20.04.2026).
13. Берлинская филармония [Электронный ресурс]. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Berlin_Philharmonie_asv2018-05_img1.jpg (дата обращения 20.04.2026).
14. Гостиный двор [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Старый_Гостиный_двор (дата обращения 20.04.2026).
15. Мечеть Кул-Шариф [Электронный ресурс]. – URL: <https://experience.tripster.ru/sights/mechet-kul-sharif/> (дата обращения 20.04.2026).
16. Спортивный комплекс «Лужники». [Электронный ресурс]. – URL: [https://пуни.рф/Лужники_\(стадион\)](https://пуни.рф/Лужники_(стадион)) (дата обращения 20.04.2026).
17. Дворец гимнастики Ирины Винер. [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Дворец_гимнастики_Ирины_Винер дата обращения 20.04.2026).
18. Стадион Сильвердоум [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Сильвердоум> (дата обращения 20.04.2026).
19. Собор Святого Павла [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Собор_Святого_Павла (дата обращения 20.04.2026).
20. Метрополь Парасоль [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энциклопедия. –

URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Метрополь_Парасоль?_ysclid=mpa1hmlxec192702805
(дата обращения 20.04.2026).

21. Каркасно-тентовые конструкции [Электронный ресурс] / Компания «АнгарТент» // angartent.ru. – URL: <https://angartent.ru/tcat/naduvnye-angary/> (дата обращения 20.04.2026).

УДК 624.121.537:624.137.5

**Геотехническое моделирование для оценки рисков потери
общей устойчивости дамбы обвалования**

Редков Валерий Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры
«Строительные материалы, конструкции и технологии»

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

Приводятся результаты компьютерного моделирования для оценки напряженно-деформированного состояния и общей устойчивости существующего сооружения инженерной защиты городской территории от затопления и подтопления, необходимые для экспертизы и мониторинга её технического состояния, а также для обоснования реконструкции её части с устройством новой набережной. Построение моделей геотехнической системы дамбы и численные расчеты выполнены для различных геотехнических ситуаций, связанных с изменением уровней подземных вод на защищаемой территории и меженных вод в водохранилище.

В настоящее время на значительной площади урбанизированных территорий Российской федерации сложились напряженные условия в связи с проявлением опасных природных и техногенных процессов. Наиболее активно проявляется процесс техногенного подтопления и затопления, которому подвержено около 20% урбанизированных территорий страны в 82% городов России. Проблемы строительства, эксплуатации и реконструкции объектов инженерной защиты урбанизированных территорий от подтопления и затопления актуальны для Саратовской области, находящейся в зоне влияния Волгоградского и Саратовского водохранилищ [1-3].

До заполнения Волгоградского водохранилища на территории г. Энгельс подземные воды находились на глубине 8–12 м на I террасе и до 10–15 м – на II террасе [1]. После создания водохранилища вследствие подпора подземных вод со стороны водохранилища начался интенсивный подъем их уровня в пределах поймы, I надпойменной террасы. К 2002 г. уровень подземных вод в прибрежной зоне

повысился примерно на 9 м, в центральной части террасы – почти на 6 м (с глубины 8,3 м до 2,2 м), в тыловой части террасы до 2-2,6 м. При этом водоносный горизонт из безнапорного превратился в напорный.

Для защиты города Энгельс от затопления и подтопления в 50-60-е гг. был запроектирован и построен основной комплекс инженерных сооружений по защите от подтопления центральной части г. Энгельс. Комплекс введен в эксплуатацию в 1965 г. и включает в себя дамбу обвалования, открытый и вертикальный дренажи, ливнесток и водозабор подземных вод.

Защитная дамба обвалования Энгельса – грунтовая, намывная из мелкозернистого песка и насыпная из суглинка защищает от подтопления и затопления пониженную часть городской территории, расположенную на I надпойменной террасе и частично в пойме. Отвод поверхностных вод с территории г. Энгельс осуществляется путем перекачки насосными станциями и самотеком через открытые и закрытые водопропуски, оборудованные в теле дамбы.

Наружный откос с заложением 1:3 и 1:2 (на участке временного напора) по всей протяженности и высоте укреплен каменной наброской с участками из монолитного армированного бетона [1]. Внутренний откос, имеющий заложение 1:2 и 1:1,5, укреплен посевом трав. Гребень дамбы имеет ширину от 3 до 5,5 м и почти на всем протяжении асфальтированное покрытие. Застройка прилегающей к дамбе территории Энгельса привела к активному использованию откосов и гребня дамбы обвалования для массовых прогулок, отдыха и занятий спортом.

В 2002-2003 гг. выполнен комплексный анализ особенностей геоморфологического строения территории, гидрогеологических условий и режимобразующих факторов подтопления городских и прилегающих территорий, проведено обследование технического состояния существующих объектов инженерной защиты, выполнена оценка риска и ущерба от подтопления промышленной, селитебной территории, зон рекреации города и сельскохозяйственных площадей [3]. Результаты проведенных исследований послужили основой для разработки технико-экономического обоснования проведения ремонта локальных участков повреждения каменного мощения откосов, замены крепления габионными конструкциями и выполнения благоустройства прилегающей территории.

В данной статье рассматриваются результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) основания и устойчивости существующей дамбы обвалования, необходимые для разработки нового проекта реконструкции комплекса инженерной защиты г. Энгельс. Длина реконструируемого

участка от мостового перехода «Саратов-Энгельс» до ул. Пушкина по гребню дамбы составляет 4000 м, в том числе неотложных мероприятий на участке от мостового перехода «Саратов – Энгельс» до городского пляжа г. Энгельс, протяженностью 1800 м [4].

Построение моделей геотехнической системы дамбы и численные расчеты выполнены методом конечных элементов (МКЭ) с использованием программного комплекса PLAXIS, работающего на основе современных технологий информационного моделирования (BIM – Building Information Modeling).

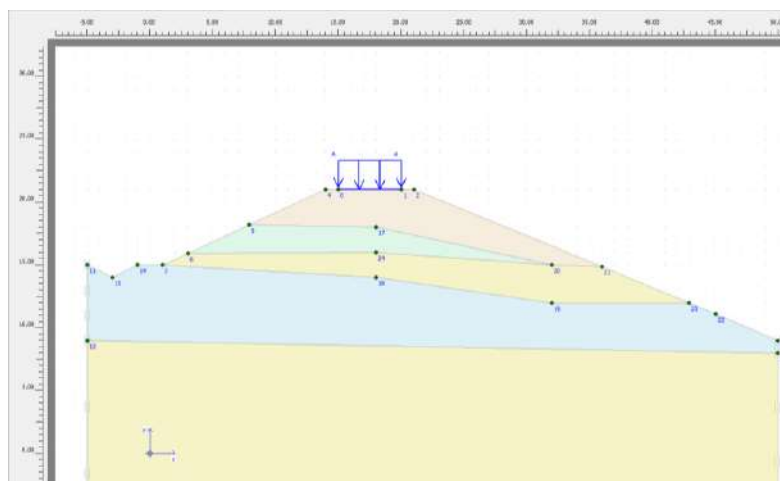


Рисунок 1 – Геометрическая модель геомассива с дамбой

Геометрическая модель дамбы (рис. 1) имеет следующие размеры: 55 м – по горизонтали и 28 м – по вертикали. Величина приложенной равномерно-распределенной нагрузки на гребне дамбы – $35,31 \text{ кН/м}^2$. Геомассив дамбы и основание представлены 5 слоями грунтов с разными показателями физико-механических свойств. При построении компьютерной модели рассмотрены возможные сочетания уровней воды водохранилища и подземных вод на защищаемой территории.

Расчеты НДС геомассива в ПК PLAXIS выполнялись пошаговым методом последовательных нагружений с использованием модели упругопластической среды основания Кулона-Мора. Результатом МКЭ-расчётов геотехнической системы являются все компоненты тензора напряжений и векторов перемещений в геомассиве. Расчеты устойчивости геомассива дамбы проводился с использованием режима *Phi/c reduction*, позволяющего моделировать состояние полного разрушения модели посредством поэтапного снижения прочностных характеристик материалов, при котором геомассив теряет устойчивость и разрушается.

Численными расчетами установлено напряженно-деформированное состояние геомассива дамбы, характер распределения эффективных напряжений и поровых давлений, главных нормальных и касательных напряжений, приращений перемещений и деформаций в виде векторов и изополей. Выявлены области, находящиеся в

пластическом состоянии. Эти данные позволяют обоснованно подойти к выбору конструктивных решений и технологий, направленных на обеспечение долговечности и надежности дамбы в условиях эксплуатации.

На рис. 2 приведены отдельные результаты расчетов НДС и устойчивости геомассива дамбы.

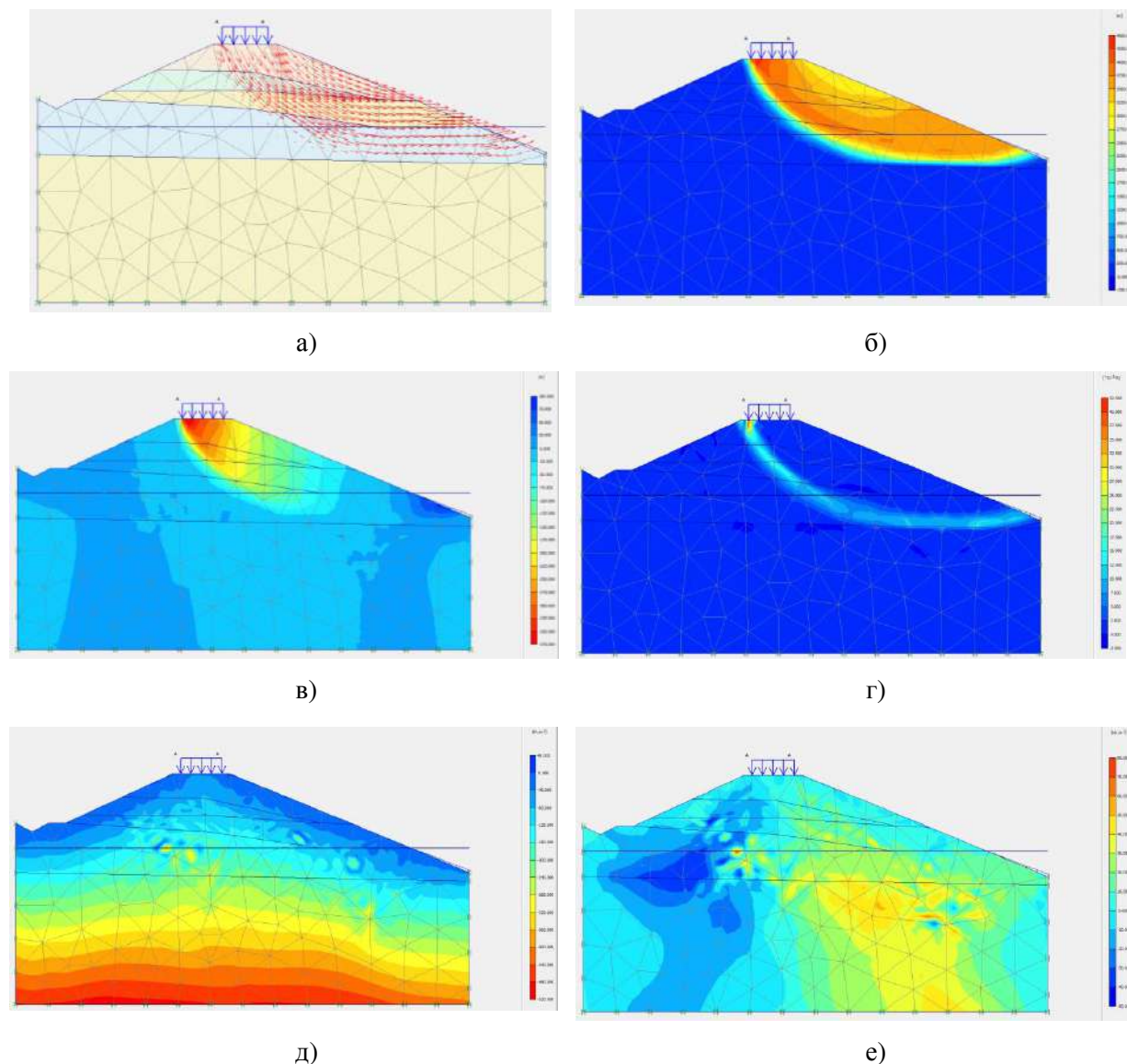


Рисунок 2 – Результаты расчетов НДС и устойчивости геомассива дамбы:
а, б – векторы и изополя полных перемещений; в, г – изополя приращений
вертикальных и сдвиговых деформаций; д, е – изополя вертикальных и касательных
напряжений

Полученный в результате расчета коэффициент устойчивости $k_{st}=1,219$ превышает нормируемое значение $[k_{st}]=1,15$ [5] на 6%. В рассмотренных гидрогеологических условиях и при отсутствии дополнительных внешних нагрузок и воздействий дамба обвалования находится в устойчивом состоянии.

Дополнительно построены расчетные модели и установлены особенности НДС и устойчивости для различных геотехнических ситуаций, связанных с изменением

уровней подземных вод (УПВ) на защищаемой территории и меженных вод в водохранилище (УМВ) (табл 1). Расчетами установлено, что повышение УМВ до отметок 15-17 м и УПВ до 14 м приводит к увеличению коэффициента устойчивости с 1,219 до 1,387.

Таблица 1 – Расчетные значения коэффициентов устойчивости геомассива дамбы

Предельное значение коэффициента устойчивости	Коэффициенты устойчивости геомассива дамбы для максимальных значений УПВ/УМВ		
	12/12	14/15	14/17
1,150	1,219	1,270	1,387

Наиболее критическая ситуация по устойчивости дамбы возникает при понижении УМВ ниже отметок 12–10, что может привести к снижению коэффициентов устойчивости ниже предельного значения 1,15. В этом случае требования строительных норм [5] по обеспечению устойчивости не будут выполнены.

Детальный анализ результатов расчетов напряженно-деформированного состояния и устойчивости геотехнической системы дамбы, выполненных с использованием программного комплекса PLAXIS, показывает его высокую эффективность для проведения экспертизы и мониторинга технического состояния существующей дамбы. Кроме того, результаты расчетов могут служить обоснованием для реконструкции части дамбы с устройством новой набережной, что позволяет повысить ее эксплуатационную надежность и устойчивость.

Литература

1. Техничко-экономический доклад по защите г. Энгельса от подтопления. Анализ гидрогеологических и геотехнических условий подтопления территории г. Энгельса» / ФГУП «Гипропромсельстрой». – Саратов, 2002.
2. Иноземцев, В.К. Техногенные факторы и геотехнические условия подтопления территории г. Энгельса / В.К. Иноземцев, В.И. Редков, А.В. Рубцов // Проблемы в проектировании объектов АПК России: сб. научн. тр. ФГУП «НИПИгипропромсельстрой», 2005. – С. 251-263.
3. Иноземцев, В.К. Экспертиза и мониторинг урбанизированных территорий и строительных объектов: учебное пособие / В.К. Иноземцев, В.И. Редков. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2017. – 472 с.
4. Проектная документация. «Сооружение – Дамба обвалования (Гидротехнические сооружения инженерной защиты г. Энгельса Саратовского области от ул. Пушкина до мостового перехода Саратов-Энгельс). Реконструкция» / ООО «НИИ «Агропромстрой», Саратов. – 2022.
5. СП116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от

опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003*, Москва, 2012 г. – 60 с.

УДК 692.914

**Перспективы применения светопрозрачных конструкций
для большепролетных покрытий зданий**

Созинова Валерия Олеговна, студент специальности
«Строительство уникальных зданий и сооружений»;

Иванова Татьяна Александровна, доктор технических наук, доцент,
доцент кафедры «Архитектура»

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар

Статья связана с изучением применения большепролетных светопрозрачных конструкций. В ней рассматриваются ключевые моменты развития строительной индустрии, связанные с внедрением большепролетных светопрозрачных конструкций, позволяющих создавать протяженные архитектурные пространства без внутренних опор и обеспечивать естественное освещение, энергоэффективность и комфортную среду для людей. В статье представлена классификация остеклений для рассматриваемой конструкции (классическое, структурное, планарное), описаны их конструктивные особенности и сложности монтажа. Также были изучены и сформулированы преимущества использования большепролетных светопрозрачных конструкций: снижение энергозатрат, повышение комфортности и безопасности внутренних пространств, а также возможность формирования новых общественных зон в городской среде. Статья подчеркивает роль большепролетных светопрозрачных конструкций как одного из ключевых направлений устойчивого развития архитектуры и городской среды будущего.

Строительная индустрия находится на пороге революционных изменений, где инновации позволяют создавать архитектурные решения с пролетами до 100 метров и даже больше, исключая необходимость во внутренних опорах. Это стало возможным благодаря интеграции новейших материалов, передовых технологий моделирования и оптимизированных процессов монтажа, что в итоге приводит к ускорению реализации проектов и снижению стоимости, а также к повышению гибкости планировки внутреннего пространства.

Тем не менее, на фоне этих технологических достижений, одной из главных проблем отрасли являются типовые композиционные решения для зданий различного назначения. Ускоренная застройка районов порождает однообразные, тесные и изолированные пространства, которые негативно влияют не только на облик города, но и на человека.

Чтобы преодолеть негативные последствия чрезмерной урбанистической

активности и вернуть городам гармонию, задачей архитекторов является применение инновационных решений, способных интегрировать защищенные пространства в городскую среду без ущерба для эстетики и комфорта жителей. Одним из таких подходов стала разработка светопрозрачных покрытий, которые не только укрывают от непогоды, но и пропускают естественный свет, создавая открытые, визуально связанные зоны.

Идея применения светопрозрачных покрытий, позволяющая балансировать между защитой и открытостью, имеет глубокие исторические корни. Реализация подобных проектов стала возможной лишь с наступлением эпохи промышленной революции, которая предоставила необходимые технические и финансовые ресурсы. В течение второй половины 19 века в ведущих городах Европы и Америки были возведены многочисленные светопрозрачные пассажи-галереи, включающие торговые площади и зоны отдыха. Особое место среди достижений в области создания крупных остекленных атриумных пространств занимает Галерея Виктора Эммануила II в Милане, открытая в 1877 году.

Сегодня существует ряд факторов, подталкивающих на дальнейшие исследования актуальности и применения данных конструкций. К ним, прежде всего, относят динамические и непредсказуемые климатические перемены, рост загрязнённости окружающей среды, возрастающие угрозы экстремистских активностей, а также стремление к понижению энергопотребления в городской среде. Ключевым толчком в развитии объёмных светопрозрачных сооружений стало научное обоснование их значительной эффективности как в плане энергосбережения и сокращения теплопотерь, так и в контексте создания новых, функциональных и востребованных общественных пространств [1].

При проектировании современных зданий с большим количеством остекления, специалисты учитывают комплекс факторов: от прочности и технологий до влияния на человека.

В распоряжении архитекторов широкий спектр светопрозрачных материалов, различающихся по внешнему виду, цвету и техническим свойствам, что открывает простор для создания инновационных и привлекательных архитектурных решений [2].

В современном мире активно применяются стекла с функциональными покрытиями, такими как низкоэмиссионные, зеркальные, солнцезащитные, декоративные, самоочищающиеся и тонкопроводящие. Кроме того, доступны термически и химически упрочненные, а также многослойные стекла, обеспечивающие повышенную ударостойкость, пулестойкость, огнестойкость, взрывобезопасность и

звукоизоляцию. Все эти типы стекол интегрируются в современные стеклопакеты.

Эксперты выделяют следующие основные категории светопрозрачных конструкций:

1. Классическое остекление: характеризуется видимыми снаружи алюминиевыми строчно-ригельными элементами, которые являются частью архитектурного облика (рис.1а);
2. Структурное остекление: отличается скрытой системой крепления, создавая эффект сплошной стеклянной поверхности с минимально заметными швами (рис.1б);
3. Планарное (спайдерное) остекление: позволяет реализовать полностью стеклянные фасады благодаря уникальной системе крепления, исключая использование алюминиевых профилей (рис.1в).



а



б



в

Рисунок 1 – Категории светопрозрачных конструкций: а – классическое остекление; б – структурное остекление; в – спайдерное остекление

Классическое остекление является эффективным в строительстве большепролетных зданий, прежде всего это связано с легкостью создания зданий практически любой конфигурации. Если рассматривать физические характеристики такого остекления, то выделяется высокая несущая способность, позволяющая выдерживать ветровые, снеговые нагрузки, а самое главное резкие перепады температур; теплоизоляция, обеспеченная специальными вкладышами, накладками или прокладками; звукоизоляция, обеспеченная возможностью использования специальных стёкол различной толщины или двойного остекления. Качества данного остекления дают возможность применяться как для холодного, так и для теплого остекления, а дешевизна по сравнению с другими видами делает его более популярным. Такое остекление можно часто встретить в автосалонах.

Структурное остекление – современная конструкция, основанная на строчно-ригельной системе. При таком остеклении вертикальные стойки и горизонтальные ригели создают несущий каркас, воспринимающий как сам вес стекла, так и ветровые нагрузки. Однако отсутствие дополнительных несущих конструкций накладывает некоторые ограничения. Например, расстояние между стеклопакетами должно быть

небольшим, чтобы конструкция могла спокойно воспринимать прогибы плит перекрытий, на которых закреплена вся система. Данный вид является наиболее сложным как в производстве, так и в монтаже, однако его применение показывает высокий уровень, именно поэтому его часто можно встретить в офисных и общественных зданиях.

Основным элементом планарного остекления является «spider» – кронштейн из высоколегированной стали. Элемент воспринимает нагрузку во всех точках крепления равномерно, что позволяет использовать такое остекление в самых различных конструкциях, начиная от фасадов, заканчивая элементами козырьков. Инвестиции в спайдерное остекление в основном связаны с приобретением высококачественных светопрозрачных элементов. Их устойчивость к воздействию внешней среды обеспечивает долговечность и надежность. Гибкость планарного остекления в размещении (от вертикального до горизонтального) значительно расширяет архитектурные горизонты, однако при горизонтальной установке следует принимать минимальный угол наклона в 30 градусов для эффективного водоотведения. Вместе с тем нужно понимать, что рассматриваемый вид будет весьма дорогостоящим на всех этапах: от проектирования и расчетов, до монтажа конструкции [3].

Несмотря на стоимость конструкций, сложность монтажа и обслуживания применение светопрозрачных конструкций в большепролетных покрытиях набирает обороты не только из-за эстетической стороны, но и из-за ряда преимуществ:

1. Применение светопрозрачного покрытия для купольных зданий значительно повышает энергоэффективность и эксплуатационные качества за счет использования светопрозрачности конструкции для освещения выделенных пространств, что является экономически выгодным для строительства [4]. Эксплуатация таких пространств обеспечивает экономию за счет улучшения параметров в любых климатах, круглогодичный комфорт и безопасность для людей внутри зданий и атриумных пространств.
2. Большой внутренний объем позволяет просто и дешево поддерживать в нём комфортную и безопасную среду для людей. Крупные инженерные системы могут совершать возврат тепла из вентиляционных выбросов, что позволяет снизить теплопотери, тем самым уменьшить стоимость как в производстве, так и эксплуатации на м². За счет большой площади застройки, имеющей грамотно спроектированную коммуникационную систему, позволяющую собирать ливневые воды для технических нужд, снижаются расходы питьевой воды. Кроме этого, внутренний тёплый воздух большого защитного сооружения, создавая подъёмную

силу (согласно закону Архимеда), в определённой мере, позволит снизить нагрузки от веса светопрозрачного покрытия на фундаменты опорных зданий сооружения.

3. Проектировщики также предусмотрели возможность замены части покрытия на солнечные батареи в теплых климатических условиях, которые могут способствовать выработке электроэнергии, одновременно, затеняя внутреннее пространство, экономить энергоресурсы на кондиционировании.
4. В таких помещениях неэкологичный транспорт опустится на подземные парковки и будет использоваться лишь для передвижения снаружи, а на замену им придут электромобили, велосипеды и другие безопасные для окружающей среды виды транспорта.

Внедрение и развитие современных технологий с каждым днём подводят ближе нас к новым «экогородам». Если применение большепролетных светопрозрачных конструкций наберет обороты, то в недалеком будущем нас ждут системы конструкций, не только идеально вплетенные в природный ландшафт, но и связанные между собой передовыми скоростными транспортными артериями. Такой композиционный подход может привести к гармоничному сочетанию функциональных зоны с пересечением пешеходных и автомобильных потоков.

Таким образом, применение светопрозрачных конструкций в большепролетных покрытиях позволит возводить зрелищные здания, которые направлены на гармонизацию архитектурного облика в сочетании с энергоэффективными технологиями строительства.

Литература

1. Архитектура ближайшего будущего. Большепролётные светопрозрачные здания и сооружения // Изобретатель: научно-популярный журнал. – 2021.
2. Светопрозрачные конструкции в архитектуре: особенности проектирования, материалы // Smistroy: строительный портал. – 2025.
3. Билюшова, Т. П. Спайдерное остекление / Т. П. Билюшова, А. В. Зиновьев // КиберЛенинка: науч. электрон. б-ка. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spaydernoe-osteklenie> (дата обращения: 30.04.2026).
4. Лейер, Д. В. Экономические аспекты инновационных решений купольной системы ботанического сада / Д. В. Лейер, А. В. Бакулин // Вестник Академии знаний. – 2022. – № 53(6). – С. 168-172.