

**БАЛАКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ —**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»



# **СБОРНИК ТРУДОВ**

**VI МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
И АВТОМАТИЗАЦИЯ В ТЕХНИКЕ,  
УПРАВЛЕНИИ И ОБРАЗОВАНИИ**

**ТОМ I**

**Балаково 2024**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Балаковский инженерно-технологический институт

# **СБОРНИК ТРУДОВ**

**VI Международной  
научно-практической конференции**

**«Современные технологии и автоматизация в технике,  
управлении и образовании»**

**Том I**

Балаково 2024

УДК 621.311, 677, 620.9

ББК 31.4+35.71+31.19

C23

Сборник трудов VI (Международной научно-практической конференции «Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании» (21 декабря 2023 года). – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2024. – Т. I. – 416 с.

Сборник содержит статьи по итогам докладов, включенных в программу VI Международной научно-практической конференции «Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании» 21 декабря 2023 года в БИТИ НИЯУ МИФИ.

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

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

**Редакционная коллегия**

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

**члены редакционной комиссии:** О.В. Виштак, С.Н. Грицюк,  
Т.А. Ефремова, Э.Ф. Кочеваткина, В.М. Меланич, О.Н. Михайлова, Г.В. Очкур,  
Н.М. Чернова, В.М. Герасимова, Е.В. Свиридова, Е.В. Базарова.

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

Статьи получены до 25 декабря 2023 года. Статьи сборника издаются в авторской редакции.

ISBN 978-5-7262-3055-9

© Балаковский инженерно-технологический  
институт (филиал)  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», 2024

Подписано в печать 15.05.2024. Формат 60x84 1/16  
Печ. л. 25,94. Изд. № 010-1. Тираж 100 экз. Заказ № 1

*Балаковский инженерно-технологический институт (филиал)  
Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»  
Типография БИТИ НИЯУ МИФИ  
413853, Саратовская обл., г. Балаково, ул. Чапаева, д. 140*

## СОДЕРЖАНИЕ

### VI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В ТЕХНИКЕ, УПРАВЛЕНИИ И ОБРАЗОВАНИИ»

#### СЕКЦИЯ 1:

#### «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ, ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, МАШИНОСТРОЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»

##### **БАЙКОВ А.С., ЕЛИСЕЕВ И.С., КУДАШЕВА И.О.**

Радиолиз воды и методы воздействия на него в реакторах ВВЭР-1000 и РБМК-1000... 11

##### **БАТИЩЕВ И.Ю., МЕФЕДОВА Ю.А.**

Моделирование гидравлической системы..... 15

##### **БАТИЩЕВ И.Ю., ЩЕГОЛЕВ С.С.**

Приложение для построения оптимального пути эвакуации при пожаре..... 21

##### **БЕЛОПАХОВА А.А., ГРИЦЮК С.Н.**

Моделирование систем электронной техники..... 27

##### **БИРЮКОВ В.П.**

Постановка задачи оценки неконтролируемых возмущающих воздействий в производстве углеродного волокна на основе полиакрилонитрильных волокон..... 32

##### **ГАЛАГАН Д.А., КРАСНОЛУДСКИЙ Н.В.**

Перспективы и проблемы применения водорода в качестве топлива..... 40

##### **ГАЛАГАН Д.А., КРАСНОЛУДСКИЙ Н.В.**

Реакторы на быстрых нейтронах..... 45

##### **ГАЛАГАН Д.А., КРАСНОЛУДСКИЙ Н.В.**

Системы слежения за Солнцем в солнечной энергетике..... 50

##### **ГАЛАГАН Д.А., КРАСНОЛУДСКИЙ Н.В.**

Разработка автономного солнечного трекера..... 55

##### **ГАЛАГАН Д.А., КРАСНОЛУДСКИЙ Н.В.**

Широтно-импульсная модуляция..... 62

##### **ГЛУБОКИЙ В.А., ЕФРЕМОВА Т.А.**

Оценка надежности системы подачи воды на форсунки компенсатора давления с помощью построения дерева отказов..... 67

<b>ГЛУБОКИЙ В.А., КУДАШЕВА И.О., ТАРАСОВА А.И., КОСТИН Д.А.</b>	
Модель системы автоматического регулирования перепада давления конденсата на уплотнениях турбопитательного насоса.....	70
<b>ГЛУБОКИЙ В.А., КУДАШЕВА И.О., ШАЛАЕВ В.Д.</b>	
Сравнение ПИД- и нейронного регулирования в технологических системах.....	76
<b>ГУБАРЕВА Ю.В., ПЕРЕГУДОВ Н.Е.,</b>	
Интегрированный климат-контроль в многоэтажных жилых домах: эффективность и энергосбережение.....	81
<b>ГУЛЯЕВ С.С., ПЕТРОВ Д.Ю.</b>	
Анализ программных сред для проектирования и тестирования систем автоматического управления мобильных роботов.....	86
<b>ЕЛИСЕЕВ И.С., МЕФЕДОВА Ю.А.</b>	
Моделирование исполнительного механизма регулирующего клапана.....	91
<b>ЕФРЕМОВА Т.А., ИЛЕНЕВ С.А., ШАЛАЕВ В.Д.</b>	
Возможность использования комбинированного метода математического моделирования для маневрирования мощностью реакторной установки.....	95
<b>ИЛЕНЕВ С.А., КУДАШЕВА И.О., ШАЛАЕВ В.Д.</b>	
Процедура мониторинга аксиальных ксеноновых колебаний в водо-водяных реакторах типа ВВЭР.....	99
<b>КИРИЧЕНКО А.В., МЕФЕДОВА Ю.А.</b>	
Исследование схем моделирования для анализа технических объектов в пространстве состояний.....	103
<b>КИРИЧЕНКО А.В., ЩЕГОЛЕВ С.С.</b>	
Объезжающий препятствия робот в среде Arduino.....	111
<b>КОЛОМИНА П.С., ГРИЦЮК С.Н.</b>	
Принципы построения микропроцессорных систем.....	117
<b>КОЛОМИНА П.С., ЕФРЕМОВА Т.А.</b>	
Математическое моделирование элементов микропроцессорной схемотехники в среде SimInTech.....	122
<b>КОНЕВ М.А., МЕФЕДОВА Ю.А.</b>	
Разработка системы автоматического регулирования температуры газовой смеси в системе дожигания водорода атомной станции с реактором ВВЭР-1000.....	126
<b>КОРОБЕЙНИКОВ И.С., ПЕТРОВ Д.Ю.</b>	
Анализ методов обслуживания робототехнических комплексов.....	133

<b>КРИКУНОВ А.Д., САВОЧКИН И.С., УСТИНОВ Н.А.</b>	
Паровые двигатели: эволюция технологии и влияние на прогресс человечества.....	140
<b>ПАСЬКОВ А.В., МАКСИМОВ Д.И.</b>	
Применение SCADA-систем для контроля и управления технологическими процессами.....	144
<b>ПАСЬКОВ А.В., МАКСИМОВ Д.И.</b>	
Система телеметрии газораспределительного пункта пускорезервной котельной.....	149
<b>ПОДРЕЗОВ Н.Н., ПЕРЕПЕЛИЦЫНА А.В., ВИННИЙЧУК В.А.</b>	
Исследование сварки кольцевых швов корпуса ПГВ–1000 с применением подкладной ленты.....	153
<b>ПОЖИДАЕВА Д.С., БАТИЩЕВА Ю.Н.</b>	
КМОП-детекторы в цифровой рентгенографии .....	158
<b>РАЗУВАЕВ А.В., УНТИЛЭ Д.А., РУСАНОВА В.А.</b>	
К вопросу об эффективности энергоснабжения фермерских хозяйств.....	163
<b>СИМИКИН В.В., САВОЧКИН И.С., УСТИНОВ Н.А.</b>	
МОХ-топливо – будущее ядерной энергетики.....	167
<b>ТАБАКОВА Е.Д., ГРИЦЮК С.Н.</b>	
Система автоматического регулирования скорости расхолаживания реакторной установки ВВЭР-1000.....	174
<b>ТАБАКОВА Е.Д., КУДАШЕВА И.О.</b>	
Сравнительный анализ циклотрона и бетатрона как источника воздействия на экологию.....	180
<b>ТРУНЯН Н.С., МЕФЕДОВА Ю.А.</b>	
Регулирование давления питательной воды от вспомогательных питательных электронасосов на атомной станции .....	184
<b>ФОМИН И.Н., КОСТЕРЕВ А.А., ПЕТРОВ Д.Ю., ИВАЩЕНКО В.А.</b>	
Подходы к автоматизации энерготрейдинговой деятельности на ОРЭМ.....	188
<b>ЩЕРБАНЬ А.С., МИХАЙЛЕВСКИЙ Д.А., ПАВЛИЧЕНКО А.В., ТОМИЛИН С.А.</b>	
Технологические особенности ультразвукового контроля сварных соединений из стали аустенитного класса марки 10X15H9C361-III (ЭП302-III).....	194
<b>ЯКОВЛЕВ Д.Д., КОСТЕРЕВ А.А.</b>	
Применение имитационного моделирования для оптимизации функционирования конвейерной линии.....	202

**СЕКЦИЯ 2:**  
**«ИТ-ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ»**

**АНЦИБОР А.В., ДОБЛЕР Г.А., ПЛОТНИКОВА О.А.**

Симуляционное обучение как инструмент формирования профессиональных компетенций..... 208

**ВИШТАК Н.М., ЖУМАТИЙ Е.В.**

Эффективный веб-дизайн при разработке образовательного ресурса..... 212

**ВИШТАК О.В., ДОРОЖКИН К.А.**

Использование методологии гибкой разработки образовательных информационных ресурсов..... 217

**ВИШТАК О.В., ХАРЛАМОВ И.М.**

Технология блокчейн в сфере образования..... 223

**ВИШТАК О.В., ШЕСТАКОВА Е.С.**

Автоматизированные системы тестирования знаний обучающихся по программам дополнительного образования..... 228

**ГОЛОВКО М.В., ЗАРУБА Д.С.**

Внедрение ИТ – технологий в систему образования..... 235

**ГРИГОРЬЕВ А.Э., ГЛЯНЕНКО А.А., ЗАХАРОВА Л.В.**

Искусственный интеллект – друг или враг? Сравнение ИИ-технологий в нашей современной жизни..... 240

**КОЛОМИЕЦ М.А., МОТКОВ А.Г.**

Автоматизация процесса поддержания влажности почвы с использованием API прогноза погоды и датчиков влажности..... 245

**КОЛПАКОВ Е.Л., ОЧКУР Г.В.**

Приложения поиска маршрута в трехмерном пространстве..... 250

**МИХЕЕВ И.В., МАРКИН В.В.**

Искусственный интеллект и умный дом, умный город..... 254

**МИХЕЕВ И.В.**

Об индивидуализации обучения программированию в вузовской практике..... 260

**НАРАНОВИЧ О.И., КАЛЬКО А.И., ХАДАРОВИЧ О.Д.**

Приложение с дополненной реальностью для отображения разнообразной информации на буклете..... 265

<b>ПОДГОРНОВ А.А.</b>	
Применение модели Transformer для решения задач обработки естественного языка (NLP).....	270
<b>ШТЫРОВА И.А., КАВЕРЗИНА К.В.</b>	
Применение искусственного интеллекта в учебном процессе.....	278
<b>ШТЫРОВА И.А., КУЛИКОВА А.О.</b>	
Инструментарий для разработки графических объектов.....	283
<b>ЯНЧЕВ М.Д., ОЧКУР Г.В.</b>	
Электронная информационная образовательная среда учебно-методической поддержки образовательного процесса.....	288

### **СЕКЦИЯ 3:**

#### **«ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»**

<b>АНДРЕЕВА Н.В., ПОПОВА В.Н., ШУМКАЕВА Е.П.</b>	
Особенности расчета конструкций объемных блоков.....	293
<b>БАБАЯН А.В., ДМИТРУШКО Р.В., БРАТОШЕВСКАЯ В.В.</b>	
Обеспечение энергоэффективности зданий.....	298
<b>БОНДАРЕНКО О.Н., ЗАЯРОВ Ю.В.</b>	
Совершенствование системы управления строительством за счет внедрения системы «Дистанционный мониторинг строительства».....	302
<b>ЗАЕВА А.Г., ЗАЕВ С.С.</b>	
Энергоэффективные теплоизоляционные штукатурки с использованием вспученного перлита.....	306
<b>ЗАХАРОВА Ю.А., РАЩЕПКИНА С.А.</b>	
Краткий обзор с анализом способов антикоррозийной защиты конструкций и оборудования.....	309
<b>ЗЕМЛЯНСКИЙ А.А., АНДРЕЕВА Н.В., БЕХ А.В., ТАРАСЕНКО В.С.</b>	
Полевые испытания большепролетной железобетонной ребристой плиты по серии 1.465.1.-15.....	317
<b>ЗЕМЛЯНСКИЙ А.А., ЗЕМЛЯНСКИЙ К.А., АНДРЕЕВА Н.В., ТАРАСЕНКО В.С., ИСАЕВА Ю.С.</b>	
Результаты широкомасштабных экспериментальных работ по оценке НДС фундаментов мелкого заложения с использованием инновационных датчиков нового поколения.....	324



<b>ЗЕМЛЯНСКИЙ А.А., ЖИЛЬЦОВ А.Н., БИРЮКОВА Е.Д</b>	
Усиление и реконструкция фундаментов на слабых грунтах за счет активного кольцевого армирования с преднапряжением слабого грунта.....	333
<b>ИНОЗЕМЦЕВ В.К., РЕДКОВ В.И., СИНЁВА Н.Ф.</b>	
Особенности работы плитных фундаментов стекловаренной печи на неоднородном основании в условиях высокотемпературных воздействий.....	339
<b>КУЛИК Г.А., ТКАЧЕВ В.Г.</b>	
Разработка организационно-технологических решений при реконструкции стенового ограждения здания корпуса № 1 филиала АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск.....	346
<b>МАГЕРРАМОВА И.А., ЕРШОВ А.В.</b>	
Применение легион-блока в современном строительстве с использованием фибробетона.....	350
<b>МАГЕРРАМОВА И.А., МАГЕРРАМОВ Р.А., БЕЛОУСОВ Д.А.</b>	
Исследование фибробетона и его состава для строительства ГРЭС.....	358
<b>МАГЕРРАМОВА И.А., МАГЕРРАМОВ Р.А., КОЗЛОВ Е.С.</b>	
Основные виды состава бетона, применяемых для радиозащиты зданий и сооружений АЭС.....	365
<b>МАГЕРРАМОВА И.А., ТАРАСЕНКО В.С.</b>	
Особенности возведения высотных сооружений с применением воздушной грузоподъемной техники.....	373
<b>МАРЬИНА Н.Л.</b>	
Особенности и проблемы преподавания графических дисциплин поколению Z.....	380
<b>ПОПОВА Н.А.</b>	
Градостроительный анализ архитектурного наследия купеческой слободы по улице Московской эпохи модерна.....	384
<b>ПОПОВА Н.А., ДРЫНДИНА И.В.</b>	
Результаты натурного обследования современного состояния особняка купца Лобанова - памятника архитектуры XIX века.....	388
<b>ПОПОВА Н.А., КАРГИНА Т.Д.</b>	
Результаты натурного обследования памятника архитектуры XIX века города Балаково усадьбы купца Менькова.....	393
<b>ПРОКОПЕНКО П.Д., ТКАЧЕВ В.Г., БУРДАКОВ С.М.</b>	
Сравнение антикоррозионных свойств добавок к бетонной смеси для фундамента машинного зала атомной электрической станции (АЭС).....	397

**РАЩЕПКИНА С.А., ИНДЕЕВА К.А.**

Разновидности металлических ферм, применяемых в зданиях и сооружениях..... 401

**РЕДКОВ В.И., БАГАЕВ И.Х.**

Расчет напряженно-деформированного состояния и анализ устойчивости  
пространственного каркаса высотного здания..... 412

**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**  
**«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В ТЕХНИКЕ,**  
**УПРАВЛЕНИИ И ОБРАЗОВАНИИ»**

**СЕКЦИЯ 1**  
**«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ,**  
**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, МАШИНОСТРОЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ**  
**В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»**

УДК 681.52

**Радиолиз воды и методы воздействия на него в реакторах ВВЭР-1000 и РБМК-1000**

Байков Артем Сергеевич, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

Елисеев Иван Сергеевич, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

Кудашева Ирина Олеговна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Атомная физика и технологии»

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

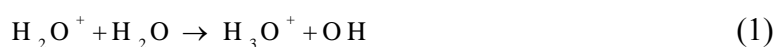
*В статье представлена обзорная информация о механизме радиолиза воды. Продемонстрированы закономерности протекания данного процесса. Изучены основы регулирования содержания концентрации продуктов радиолизного распада воды в первом контуре атомной электростанции проекта ВВЭР-1000 и РБМК-1000. Проведено сравнение в основах эксплуатации данных реакторных установок.*

Под радиолизом подразумевают процесс, в ходе которого вещество воспринимает радиоактивное излучение ( $\gamma$ -излучение, рентгеновское, электронное излучения) и распадается на молекулярные образования. При этом могут образовываться как свободные радикалы, так и отдельные нейтральные молекулы. Радиолиз – это важная проблема эксплуатации атомной электростанции. В реакторах ВВЭР-1000 и РБМК-1000 в роли теплоносителя используется легкая вода, которая под действием излучения реактора разлагается. Поэтому всякому специалисту, работа

которого связана с обслуживанием первого контура необходимо понимать закономерности процесса радиолиза и механизмы воздействия на него.

В 1944 г. Вейсом была выдвинута гипотеза о том, что при действии ионизирующего излучения на воду возникают свободные радикалы Н и ОН. Впоследствии эта гипотеза подтвердилась многочисленными исследованиями и получила дальнейшее развитие [1].

Свободные радикалы рождаются из-за физических и химических процессов, следующих за прохождением ионизирующей частицы через воду. Кратко эти процессы можно выразить следующими временными характеристиками. Передача воде энергии ионизирующего излучения происходит за  $10^{-16}$ - $10^{-18}$  сек, при этом возникают возбужденные молекулы воды, ионы  $\text{H}_2\text{O}^+$  и вторичные электроны. Последние, обладая значительной энергией, ионизируют и возбуждают еще несколько молекул воды. В итоге, в случае  $\gamma$ -, рентгеновского или электронного излучений образуются отдельные изолированные группы ионизированных и возбужденных молекул («шпоры»). Тяжелые заряженные частицы, то есть «шпоры» расположены близко друг от друга, и они мгновенно после своего появления сливаются в сплошную цилиндрическую колонку. Примерно через  $10^{-13}$ - $10^{-14}$  сек. происходит диссоциация положительного иона:



Конечные продукты радиолиза воды – водород, кислород и пероксид водорода. К неблагоприятным явлениям, сопровождающим процесс синтеза данных веществ в результате радиолиза, следует отнести:

- отрицательное влияние на коррозионную стойкость конструкционных материалов;
- возможность образования взрывоопасной смеси кислорода и водорода;
- отрицательное влияние на условия теплопередачи и на реактивность реактора.

Водно-химический режим первого контура ВВЭР, представляющий собой технологию подавления радиолиза воды, минимизацию коррозии оборудования и снижения количества радиоактивных отложений в контуре, в свете концепции глубокоэшелонированной защиты является одним из уровней защиты реакторной установки. Нейтрализовать данный фактор можно, вводя в теплоноситель Н<sub>2</sub>, который при концентрации больше 30 нмл/дм<sup>3</sup> практически полностью подавляет процессы радиолиза воды. Для поддержания необходимой концентрации водорода, обеспечивающей подавление процессов радиолиза в контур, как правило, вводят аммиак, в результате разложения которого по реакции:



создается необходимая концентрация водорода в водном теплоносителе. Образовавшийся водород подавляет радиационно-химическую генерацию кислорода.

Известно, что в водных растворах смеси азота и водорода под действием излучения возможен также и обратный процесс — синтез аммиака. Это означает, что в теплоносителе при некоторых условиях может существовать радиационно-химическое стационарное состояние, при котором скорость разложения аммиака оказывается равной скорости его синтеза, и концентрация всех компонентов теплоносителя остается постоянной в течение неопределенно долгого времени. В таком режиме аммиак в контур нужно добавлять только для компенсации его потерь с протечками теплоносителя [2].

На АЭС с РБМК-1000 принят нейтральный бескоррекционный ВХР без подавления радиолиза воды. Водород и кислород, образовавшиеся в процессе радиолиза воды, уносятся с насыщенным паром и способствуют обескислороживанию реакторной воды. Содержание кислорода в реакторной воде не превышает 0,1 мг/кг. При такой концентрации в воде высокой чистоты кислород тормозит коррозионные процессы. Кроме того, при радиолизе воды образуется перекись водорода, которая в результате термического и радиационного разложения вызывает равномерное образование на поверхности стали магнетита или магемита ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), что снижает скорость коррозии [3].

В настоящее время можно утверждать, что общий механизм радиолиза воды и растворов кислорода, водорода и пероксида водорода установлен. Экспериментально доказана возможность протекания в различных условиях около 150 элементарных реакций. Примерно для 100 из них определены константы скорости при комнатной температуре и только не более чем у 30 найдена энергия активации. Общий механизм описывается радикально-диффузионной моделью, которая в гомогенном приближении сводится к системе обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений.

Общий механизм широко используется в практических целях для прогнозирования радиационно-химических превращений в воде в конкретных условиях. Известны два подхода к прогнозу радиационно-химических превращений в конкретных условиях. Наиболее употребительным является численное моделирование. Этот подход состоит в том, что общий механизм сокращается до минимального числа реакций, которые необходимы для качественного описания процесса в конкретном случае. Далее составляется частная система дифференциальных уравнений:

$$\frac{dc_i}{dt} = G_i I + \sum_{i=1}^m \pm k_i c_1^{v_1} c_2^{v_2} \dots c_n^{v_n}, \quad (3)$$

где  $I$  – мощность дозы, выраженная в единицах  $100N_A$  эВ/(дм<sup>3</sup>с);  $k_i$  – константы скоростей реакций;  $c_1, c_2, \dots$  – концентрации продуктов частиц;  $m$  – число реакций в принятой модели;  $n$  – число частиц;  $G_i$  – радиационно-химические трековые выходы частиц [4].

$I, k_i$  и  $G_i$  – параметры данной модели. Часть из них известны, недостающие служат степенями свободы, позволяющими подогнать решение системы дифференциальных уравнений под экспериментальные данные, полученные в условиях, похожих на те, для которых составляется прогноз. После подгонки математическая модель считается верифицированной и пригодной для прогноза, который в этом случае представляет собой экстраполяцию экспериментальных данных на требуемую область внешних параметров без анализа допустимости такой экстраполяции.

Подход к исследованию радиолиза водных систем, при котором общий механизм и его описание рассматриваются как единое целое, крайне редок. Объясняется это тем, что кинетика радиолиза воды описывается нелинейной системой дифференциальных уравнений большой размерности, анализ которой представляет значительную трудность.

Таким образом, в данной статье был рассмотрен механизм радиолиза воды, изучено его влияние на работу атомных станций, проведено сравнение методов воздействия на данный процесс между реакторами ВВЭР-1000 и РБМК-1000. Данная информация будет полезна как студентам, так и специалистам, связавшим свою профессиональную деятельность с эксплуатацией реакторной установки, для более основательного понимания процессов, протекающих в активной среде реактора, и методов регулирования.

#### Литература

1. Пикаев, А. К. Первичные продукты радиолиза воды и их реакционная способность / А. К. Пикаев, Б. Г. Ершов // Успехи химии. – 1967. – № 8.
2. Тевлин, С. А. Атомные электрические станции с реакторами ВВЭР-1000 / С. А. Тевлин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
3. Рошкетев, Б. М. Водно-химический режим АЭС с реакторами ВВЭР-1000 и РБМК-1000: учебное пособие / Б. М. Рошкетев. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 132 с.

4. Кеба, В. В. Математическая модель радиолитиза воды и водных растворов / В. В. Кеба, Н. А. Семиколенова // Математические структуры и моделирование. – 2000. – № 6. – С. 72-77.

УДК 621.22.01

### **Моделирование гидравлической системы**

Батищев Иван Юрьевич, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация, инжиниринг»;

Мефедова Юлия Александровна, кандидат технических наук

доцент кафедры «Атомная энергетика»

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

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

*В статье рассматривается поэтапный процесс построения и исследования математической модели гидравлической системы. Приведены математические уравнения и формулы, используемые при построении модели, а также подробные объяснения о влиянии различных параметров на работу системы. Основная мысль статьи заключается в разработке и исследовании математической модели гидравлической системы с использованием Mathcad и среды SimInTech, а также в оценке и анализе ее статических и динамических свойств.*

Моделирование играет важную роль в процессе обучения и проектирования технических систем. Оно позволяет получить полное представление о функциональности и эффективности системы до её физической реализации. Существует множество программ, в которых можно моделировать гидравлику: Autodesk Flow Design – мощное программное обеспечение (ПО), позволяющее моделировать гидравлические системы в 3D-пространстве; ANSYS Fluent – ПО, позволяющее проводить различные расчеты и оптимизировать процессы, связанные с гидравликой; SimInTech – инновационное отечественное ПО, специализирующееся на разработке и внедрении передовых технологий в сфере симуляции и виртуальной реальности, в котором далее будет проведено моделирование гидросистемы.

В работе рассмотрен поэтапный процесс построения и исследования математической модели гидравлической системы с применением математического редактора Mathcad, а также решение той же задачи путем построения модели в среде SimInTech на базе теплогидравлического кода программы.

Постановка задачи: требуется разработать модель гидравлической системы (рис. 1а), состоящей из насоса 5, передающим рабочую среду четырем потребителям, которая позволит оценивать статические и динамические свойства.

Разработка математической модели.

При разработке математических моделей технических систем (ТС) наиболее часто используют метод функционально-законченных элементов. В этом случае ТС разбивают на отдельные устройства и, зная структуру системы и уравнения каждого из устройств, составляют полную модель. В работе рассмотрен нетривиальный подход с использованием метода сосредоточенных масс, в котором из сплошной среды выделяются материальные субстанции – сосредоточенные массы (инерционные элементы), эквивалентные массам соответствующих частей технического объекта и элементы (упругие и диссипативные), лишенные массы, отображающие характер взаимодействия сосредоточенных масс [1].

На основании исходной схемы гидросистемы (рис. 1а) разработана динамическая модель (рис. 1б) и ориентированный граф (рис. 2) – модели гидросистемы в графической форме. В динамической модели (рис. 1а) каждый участок трубопровода представлен как последовательное соединение инерционного (параметр  $m_i$ ) и диссипативного (параметр  $\mu_i$ ) элементов, в точке разветвления установлен упругий элемент (параметр  $c$ ), учитывающий свойства сжимаемости рабочей среды и деформируемость стенок трубопровода. Внешними воздействиями являются давление потребителей ( $p_i$ ) и давление насоса  $p_H$ . В ходе моделирования подлежат определению расходы в участках трубопроводов ( $Q_i$ ) и давление в точке разветвления  $p_u$ .

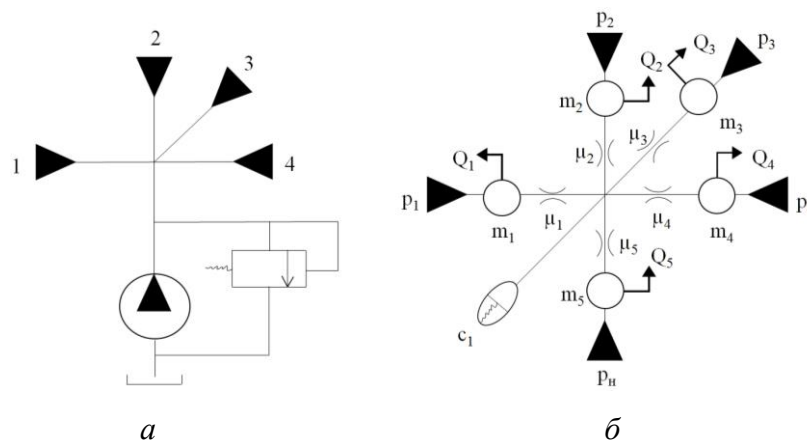


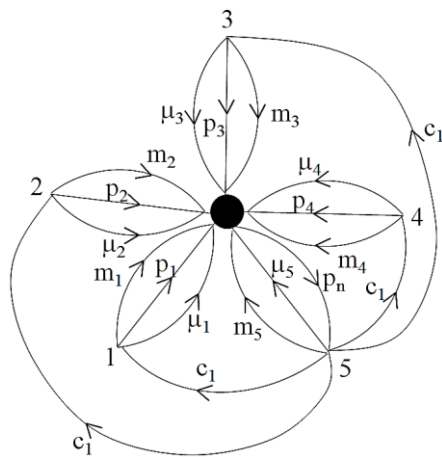
Рис. 1. Схема – а) и динамическая модель гидравлической системы – б)

Следующей графической формой модели является ориентированный граф (рис. 2а), в котором каждый узел соответствует инерционному элементу, а ветви



представляют собой диссипативные и упругие элементы, а также внешние воздействия (источники потенциалов).

С помощью орграфа составляется матрица инциденций (рис. 2б), в которой вся топология гидросистемы учитывается в цифрах: «1» – ветвь входит в узел, «-1» – ветвь выходит из узла, «0» – ветвь и узел не взаимодействуют.



а

Узлы	Ветви										
	Источники потенциалов					Упр.	Дис./Инерционные				
	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_n$		$c_1$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_4$
1	-1	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
2	0	-1	0	0	0	1	0	-1	0	0	0
3	0	0	-1	0	0	1	0	0	-1	0	0
4	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	-1	0
5	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	-1
-	$A_B$					$A_Y$	$A_D=A_{II}$				

б

Рис. 2.: а) – ориентированный граф; б) – матрица инциденций

На основании узлового метода [2] с использованием подматриц ( $A_B, A_Y, A_{II}, A_D$ ) разработана динамическая математическая модель гидросистемы в виде нелинейной системы дифференциальных уравнений (1):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dQ_1}{dt} = -\frac{P_1}{m_1} - \frac{\mu_{n1} \cdot Q_1 + \mu_{n1} \cdot Q_1^2 \cdot \text{sign}(Q_1)}{m_1} + \frac{P_{y1}}{m_1}; \\ \frac{dQ_2}{dt} = -\frac{P_2}{m_2} - \frac{\mu_{n2} \cdot Q_2 + \mu_{n2} \cdot Q_2^2 \cdot \text{sign}(Q_2)}{m_2} + \frac{P_{y1}}{m_2}; \\ \frac{dQ_3}{dt} = -\frac{P_3}{m_3} - \frac{\mu_{n3} \cdot Q_3 + \mu_{n3} \cdot Q_3^2 \cdot \text{sign}(Q_3)}{m_3} + \frac{P_{y1}}{m_3}; \\ \frac{dQ_4}{dt} = -\frac{P_4}{m_4} - \frac{\mu_{n4} \cdot Q_1 + \mu_{n4} \cdot Q_4^2 \cdot \text{sign}(Q_4)}{m_4} + \frac{P_{y1}}{m_4}; \\ \frac{dQ_5}{dt} = -\frac{P_5}{m_5} - \frac{\mu_{n5} \cdot Q_5 + \mu_{n5} \cdot Q_5^2 \cdot \text{sign}(Q_5)}{m_5} + \frac{P_{y1}}{m_5}; \\ \frac{dp_{y1}}{dt} = c_1(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 - Q_5). \end{array} \right. \quad (1)$$

Параметры элементов ( $m_i$ ,  $\mu_i$ ,  $c$ ) рассчитываются из геометрических и физических свойств системы с учетом типа рабочей среды и материала трубопровода.

Статическая модель получена путем обнуления производных и сокращения параметров. Она имеет вид системы алгебраических уравнений (2):

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 = -P_1 - (\mu_{n1} \cdot Q_1 + \mu_{n1} \cdot Q_1^2 \cdot \text{sign}(Q_1)) + P_{y1}; \\ 0 = -P_2 - (\mu_{n2} \cdot Q_2 + \mu_{n2} \cdot Q_2^2 \cdot \text{sign}(Q_2)) + P_{y1}; \\ 0 = -P_3 - (\mu_{n3} \cdot Q_3 + \mu_{n3} \cdot Q_3^2 \cdot \text{sign}(Q_3)) + P_{y1}; \\ 0 = -P_4 - (\mu_{n4} \cdot Q_1 + \mu_{n4} \cdot Q_4^2 \cdot \text{sign}(Q_4)) + P_{y1}; \\ 0 = -P_5 - (\mu_{n5} \cdot Q_5 + \mu_{n5} \cdot Q_5^2 \cdot \text{sign}(Q_5)) + P_{y1}; \\ 0 = c_1(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 - Q_5). \end{array} \right. \quad (2)$$

#### Исследование математической модели в Mathcad

Решение статической модели осуществлено с помощью численного метода Ньютона, включающего поиск вектора фазовых координат  $v$  – расходов и давления упругого элемента (рис. 3а), а решение динамической модели – с помощью неявного метода Эйлера (рис. 3б).

```

v1 := | v ← v0
      | for i ∈ 10
      |   J ← 
$$\begin{bmatrix} -[\mu L_0 + (2 \cdot \mu H_0) \cdot (v_0)] & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -[\mu L_1 + 2 \cdot \mu H_1 \cdot (v_1)] & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -[\mu L_2 + 2 \cdot \mu H_2 \cdot (v_2)] & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -[\mu L_3 + 2 \cdot \mu H_3 \cdot (v_3)] & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -[\mu L_4 + 2 \cdot \mu H_4 \cdot (v_4)] & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

      |   F ← 
$$\begin{bmatrix} -0.15 \cdot 10^6 - \mu L_0 v_0 - \mu H_0 (v_0)^2 \cdot \text{sign}(v_0) + v_5 \\ -0.14 \cdot 10^6 - \mu L_1 v_1 - \mu H_1 (v_1)^2 \cdot \text{sign}(v_1) + v_5 \\ -0.2 \cdot 10^6 - \mu L_2 v_2 - \mu H_2 (v_2)^2 \cdot \text{sign}(v_2) + v_5 \\ -0.11 \cdot 10^6 - \mu L_3 v_3 - \mu H_3 (v_3)^2 \cdot \text{sign}(v_3) + v_5 \\ [0.5 \cdot 10^6 - \mu L_4 v_4 - \mu H_4 (v_4)^2 \cdot \text{sign}(v_4)] - v_5 \\ v_0 + v_1 + v_2 + v_3 - v_4 \end{bmatrix}$$

      |   Δv ← -J-1 · F
      |   v ← v + Δv

```

a

```

H(n) := | v ← vнач
        | B ← B
        | h ← 0.22
        | for i ∈ 1..n
        |   v ← v if i = 1
        |   otherwise
        |     Я ← 
$$\begin{bmatrix} \frac{-[\mu L_0 + (2 \cdot \mu H_0) \cdot (v_0)]}{n_0} - \frac{1}{h} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{n_0} \\ 0 & \frac{-[\mu L_1 + (2 \cdot \mu H_1) \cdot (v_1)]}{n_1} - \frac{1}{h} & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{n_1} \\ 0 & 0 & \frac{-[\mu L_2 + (2 \cdot \mu H_2) \cdot (v_2)]}{n_2} - \frac{1}{h} & 0 & 0 & \frac{1}{n_2} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-[\mu L_3 + (2 \cdot \mu H_3) \cdot (v_3)]}{n_3} - \frac{1}{h} & 0 & \frac{1}{n_3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-[\mu L_4 + (2 \cdot \mu H_4) \cdot (v_4)]}{n_4} - \frac{1}{h} & \frac{-1}{n_4} \\ -c_1 & -c_1 & -c_1 & -c_1 & c_1 & \frac{-1}{h} \end{bmatrix}$$

        |     B ← 
$$\begin{bmatrix} -\left[ B_0 + \frac{v_0}{h} \right] \\ -\left[ B_1 + \frac{v_1}{h} \right] \\ -\left[ B_2 + \frac{v_2}{h} \right] \\ -\left[ B_3 + \frac{v_3}{h} \right] \\ -\left[ B_4 + \frac{v_4}{h} \right] \\ -\left[ B_5 + \frac{v_5}{h} \right] \end{bmatrix}$$

        |     v ← solve(B, B)
        |     i ← i + 1

```

б

Рис. 3. Программа расчета статической – а) и динамической – б) модели в Mathcad

Варьируя параметры гидросистемы, с помощью данных программ можно исследовать систему в статическом и динамическом режиме, получая численные значения искомых параметров и строить временные графики.

Моделирование в SimInTech.

Проведем моделирование исходной системы с помощью теплогидравлического кода в среде SimInTech (рис. 4). Для этого использованы элементы библиотек Теплогидравлика [3]:

- граничный узел (потребители);
- внутренний узел;
- труба;
- заданный напор насоса.

В свойствах каждого блока указываются геометрические и физические параметры. Для отображения на модели искомым величин использованы элементы библиотеки «Просмотр параметров»: контроль массового  $g$  (или объемного  $q$ ) расхода в канале, контроль давления в узле.

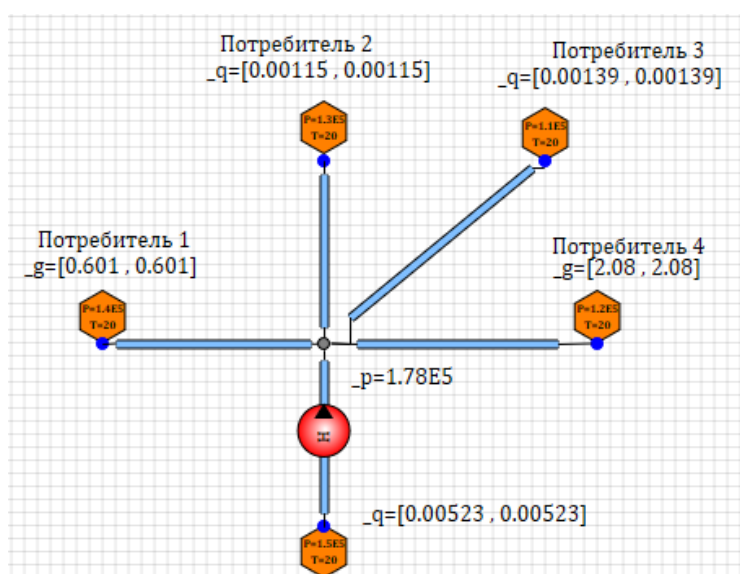


Рис. 4. Гидравлическая модель в SimInTech

При запуске модели в динамическом режиме осуществляется выход системы на установившиеся значения расходов. Любой из контролируемых параметров можно наглядно представить в виде графиков.

Таким образом, стоит отметить, что трудоёмкость разработки и исследования модели в SimInTech намного меньше по сравнению с выводом аналитической математической модели и последующим ее исследованием с помощью численных методов, несмотря на автоматизацию расчетов в редакторе Mathcad. Поэтому представляется перспективным дальнейшее использование SimInTech для моделирования электрических и теплогидравлических систем.

#### Литература

1. Тарасик, В. П. Математическое моделирование технических систем: учебник для вузов / В. П.Тарасик. – М.: ДизайнПРО, 2004. – 640 с.

2. Мефедова, Ю. А. Разработка и исследование модели гидросистемы энергетических установок / Ю. А. Мефедова, Т. А. Ефремова // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2016. – Т. 16. – № 9. – С. 52-55.

3. Щекатуров, А. М. Методика моделирования динамики паротурбинной установки ТК-35/38-3,4 на базе кода HS / А. М. Щекатуров, А. Р. Корсаков. – М.: ДМК Пресс, 2022. – 242 с.

УДК 004.421

### **Приложение для построения оптимального пути эвакуации при пожаре**

Батищев Иван Юрьевич, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация, инжиниринг»;

Щеголев Сергей Сергеевич, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Атомная энергетика»

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

*В данной научной статье рассмотрена система обеспечения пожарной безопасности объекта. Изучена работа пожарных извещателей задымления ИП212-45, возможные причины возникновения пожаров и возможности по улучшению пожарной безопасности зданий. Рассмотрено спроектированное автоматизированное приложение для построения оптимального пути эвакуации при пожаре. Описан алгоритм работы и описание программы, которая помогает людям при эвакуации найти кратчайший и менее загруженный путь выхода.*

Пожары являются всегда актуальной проблемой и серьезной угрозой для безопасности на предприятиях и в учебных заведениях. Они способны причинить значительные материальные убытки, но главное – угрожают жизням и здоровью людей. Одной из главных причин возникновения пожаров является недостаточная осведомленность, отсутствие должной противопожарной подготовки или неправильное пользование электроприборами и электроустановками [1].

Один из основных компонентов системы обеспечения пожарной безопасности объекта защиты – это система автоматической пожарной сигнализации, которая обнаруживает появление пожара и мгновенно передает сигнал о возгорании на пульт контроля и пожарную часть. Также включены пожарные датчики и извещатели, которые реагируют на изменение условий окружающей среды, такие как уровень дыма,

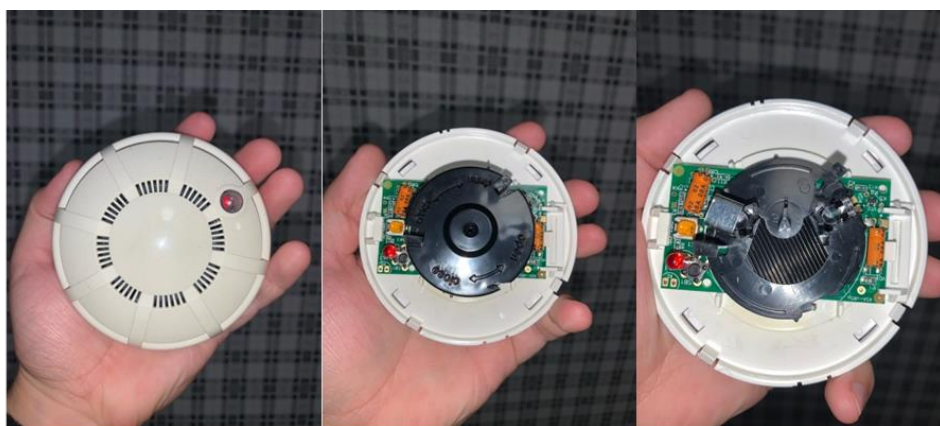
температура и продукты горения. Для эвакуации людей из здания предусмотрены системы оповещения и управления эвакуацией [2].

Требования к системам автоматической противопожарной защиты определяются Нормами пожарной безопасности НПБ 110-03 [3].

Пожарный извещатель задымления ИП212-45 (рис. 1) предназначен для обнаружения задымления в помещении и генерации сигнала о возгорании, принцип его работы основан на фотоэлектрическом детектировании задымления.

Схема работы устройства включает в себя:

1. Оптический датчик задымления, состоящий из фотодиода и светодиода. Датчик осуществляет постоянную проверку наличия задымления в помещении. Фотодиод получает свет, отраженный от светодиода, и измеряет его интенсивность. Если задымление присутствует в помещении, то интенсивность света, падающего на фотодиод, снижается.



*Рис. 1. Пожарный извещатель задымления ИП212-45*

2. Оптическая система, направляющая световые лучи на датчик задымления и регистрирующая отраженные световые сигналы.

3. Аналоговый фильтр и усилитель. Сигнал с датчика задымления обрабатывается аналоговым фильтром и усиливается для последующей обработки.

4. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Усиленный сигнал преобразуется в цифровой формат для дальнейшей обработки.

5. Микроконтроллер, который обрабатывает цифровой сигнал, анализирует данные и принимает решение о возгорании.

6. Сигнализация. В случае обнаружения пожара, микроконтроллер генерирует сигнал тревоги, который может быть передан на пульт пожарной охраны или автономную сигнализацию помещения.

В точечных дымовых оптических пожарных извещателях используется эффект диффузного рассеивания излучения светодиода на частицах дыма. Светодиод

располагается таким образом, чтобы исключить прямое попадание его излучения на фотодиод. При появлении частиц дыма часть излучения отражается от них и попадает на фотодиод.

Дымовая камера помещается в специальный корпус, который защищает ее от внешних воздействий и обеспечивает ее надежную работу в любых условиях. Дымовая камера имеет отверстия, через которые воздух и дым попадают внутрь. Перед отверстиями камеры располагается фильтр, который предотвращает попадание пыли и посторонних частиц внутрь. Это позволяет избежать ложных срабатываний извещателя.

Данные, полученные от оптических элементов, обрабатываются электроникой внутри извещателя. В случае обнаружения дыма, извещатель отправляет сигнал на пульт контроля и управления пожарной сигнализации автоматической системы пожаротушения.

Для усиления пожарной безопасности в учебных заведениях (предприятиях) разработано приложение для построения оптимального маршрута эвакуации людей при возникновении пожара. Данная программа находится в открытом доступе сети Ethernet и может быть совместима с операционными системами: Linux, Windows, Android и IOS. Каждому пользователю приложение предлагает индивидуальный кратчайший путь выхода из здания, учитывающий загруженность проходов и помещений.

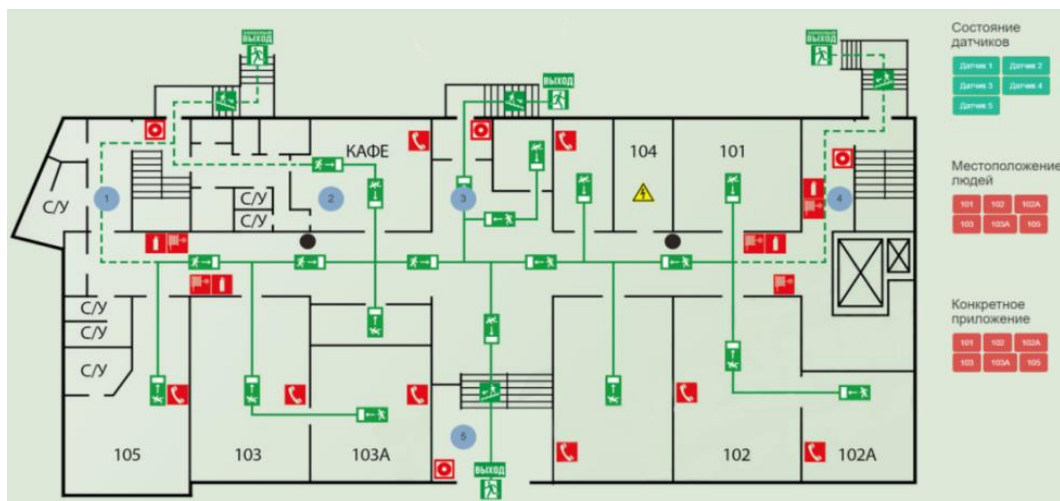


Рис. 2. Внешний вид программы

На рис. 2 изображен план эвакуации. Условные обозначения, которые использовались при разработке схемы, приведены в табл. 1.

Условные обозначения, применяемые при разработке плана эвакуации

Обозначение	Описание элемента
	Направление к эвакуационному выходу по лестнице вниз
	Запасный выход из центрального корпуса БИТИ НИЯУ МИФИ
	Направление к эвакуационному выходу
	Санузел
	Номер аудиторий 1 этажа центрального корпуса БИТИ НИЯУ МИФИ
	Пожарный извещатель задымления ИП212-45
	Кнопка срабатывания автоматического пожаротушения
	Телефон для использования при возникновении пожара
	Огнетушитель
	Пожарный кран

Веб-приложение разработано на языке PHP. Это мощный язык программирования, широко используемый для разработки веб-приложений и динамических веб-сайтов. Одной из основных особенностей PHP является его интеграция в HTML, что позволяет создавать динамические веб-страницы, где результаты выполнения PHP-скрипта могут быть встроены в HTML-код. PHP позволяет разработчикам создавать модульные, легко поддерживаемые и масштабируемые приложения. Это достигается за счет использования объектно-ориентированного программирования и архитектурного шаблона MVC [4].



PHP также поддерживает широкий спектр встроенных функций и библиотек, позволяющих упростить разработку и решить множество типичных задач. От обработки строк и файлов до взаимодействия с веб-сервером и работой с изображениями, PHP предоставляет разнообразные инструменты для реализации функциональности веб-приложений [5].

Первоначально для разработки приложения для построения оптимального пути эвакуации при пожаре задается внешний вид программы, загружается схема плана эвакуации.

Следующим шагом необходимо добавить 5 извещателей задымления ИП212-45, учитывая особенность их размещения на плане.

Задаются активные кнопки программы, отвечающие за нахождение людей в аудиториях, работе датчиков, положение пользователя на карте и эвакуацию из здания. Необходимо указать условия взаимосвязи элементов схемы с активными кнопками приложения. При нажатии на кнопку должен осуществляться программный алгоритм проложения маршрута. Для внешнего представления пути эвакуации необходимо графически обозначить маршрут от аудитории до запасного выхода.

При проведении эксперимента были заданы следующие условия:

- сработаны датчики 2, 3, 4 (зафиксировано задымление);
- люди находятся в 101 и 105 аудиториях;
- пользователь находится в 103 аудитории.

По начальным условиям приложение построило оптимальный путь выхода из здания для пользователя (рис. 3).

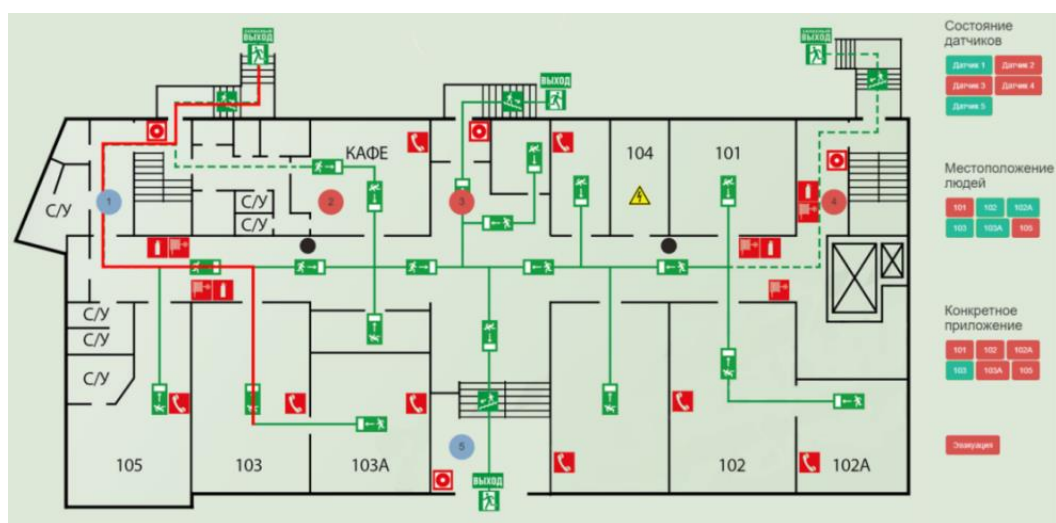


Рис. 3. Маршрут эвакуации при заданных условиях

Приложение рассчитывает все возможные оптимальные пути для выхода пользователя из помещения. Алгоритм разрабатывает маршрут [6] так, чтобы на одном

пути не было большего скопления людей. На данном изображении показано, что датчики 2, 3 и 4 сработаны, значит, проход через эти маршруты невозможен. Алгоритм рассчитал наиболее благоприятный путь через датчик 1, который не находится в сработанном состоянии. Маршрут, проходящий через датчик 5, длиннее. Также к этому выходу будет осуществлено движение из аудитории 101.

В современном мире безопасность – основная проблема и разработка приложения для построения оптимального пути эвакуации при пожаре становится значимым в обеспечении безопасности людей [7].

В контексте практической значимости разработка такого приложения предоставляет возможность максимально эффективно организовать эвакуационные мероприятия и обеспечить оперативность действий. Поиск и выбор оптимального пути эвакуации может быть трудоемким и непредсказуемым процессом, особенно в больших зданиях или общественных местах. Данное приложение позволяет значительно упростить этот процесс, оптимизировать время эвакуации и увеличить шансы на спасение жизней [8].

Теоретическая значимость работы заключается в предоставлении доступа к актуальной информации о путях эвакуации.

В заключение, разработка приложения для построения актуального пути эвакуации при пожаре является актуальной, практически значимой и теоретически значимой работой. Ее реализация поможет повысить безопасность людей в случае пожара и внести существенный вклад в сферу обеспечения безопасности и защиты жизней.

#### Литература

1. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», ст. 8. – Москва, 2008.
2. ГОСТ 12.3.046-91 Установки пожаротушения автоматические. – Москва, 1991.
3. НПБ 110-03 Нормы пожарной безопасности. – Москва, 2003.
4. Вандшнайдер, М. Основы разработки веб-приложений с помощью PHP и MySQL: пер. с англ. / М. Вандшнайдер. – М.: ЭКОМ Паблицерз, 2008. – 832 с.
5. Веллинг, Л. Разработка веб-приложений с помощью PHP и MySQL / Л. Веллинг, Л. Томсон. – М.: Вильямс, 2012. – 848 с.
6. Синилов, В.Г. Системы охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации: учебник для нач. проф. образования / В. Г. Синилов. – М.: Издательский центр «Академия», 2010.

7. Сობурь, С.В. Установки пожаротушения автоматические: учебно-справочное пособие. – 7-е изд., перераб. – Москва: ПожКнига, 2012. – 336 с.

8. Теревнев, В. В. Противопожарная защита и тушение пожаров. Книга 2. Промышленные здания и сооружения / В. В. Теревнев. – М.: Пожнаука, 2006.

УДК 519.876.5

### **Моделирование систем электронной техники**

Белопахова Алиса Алексеевна, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

Грицюк Светлана Николаевна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Атомная энергетика»

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

*В статье дано понятие моделирования, рассмотрены методы моделирования, используемые при автоматизированном проектировании, представлены виды моделирования на разных стадиях проектирования систем электронной техники.*

Моделирование – это процесс построения моделей, созданных для изучения и объяснения с их помощью свойств реально существующих объектов, процессов или явлений.

Математическая модель технического объекта представляет собой набор математических элементов, таких как числа, переменные, матрицы и другие, а также связи между ними, выраженные математическими схемами. Эти элементы и связи должны адекватно отражать характеристики и свойства технического объекта [1].

Методы моделирования являются эффективным инструментом для решения широкого спектра технических задач. Они основаны на использовании математических моделей, которые позволяют анализировать и оптимизировать процесс проектирования электронных устройств. Этот процесс может быть достаточно сложным и включать несколько этапов.

Первый этап – постановка задачи. Здесь требуется определить, какую конкретную проблему необходимо решить с помощью методов моделирования. Второй этап – определение критерия эффективности. Необходимо установить метрики или показатели, по которым будет оцениваться эффективность принятого решения. Третий этап – анализ и количественное измерение факторов, влияющих на процесс

проектирования. Четвертый этап – построение математической модели. На основе полученных данных создается математическая модель, которая отражает исследуемый объект. Это может быть модель, основанная на линейном программировании, теории очередей или других методах. Пятый этап – количественное решение модели и нахождение оптимального решения с помощью математических методов и алгоритмов. Шестой этап – проверка адекватности модели и найденного решения, включает сравнение модельных результатов с фактическими данными или проведение симуляций. Седьмой этап – корректировка и обновление модели. В случае несоответствия модели необходимым требованиям, необходимо внести корректировки и обновить модель. Это позволит улучшить точность и надежность решения [1].

Системы автоматизированного проектирования (САПР) являются неотъемлемой частью различных отраслей, включая машиностроение, электротехнику, архитектуру и другие. Они предоставляют множество инструментов для создания, редактирования и анализа моделей, что значительно упрощает и ускоряет процесс проектирования. Кроме того, САПР используют различные методы моделирования, которые помогают достичь этих целей [2].

Техническое обеспечение САПР базируется на использовании компьютерных сетей и телекоммуникационных технологий, при этом в САПР используются персональные компьютеры и рабочие станции. Математическое обеспечение САПР включает вычислительную математику, статистику, математическое программирование. Программные системы САПР характеризуются богатством и разнообразием используемых методов, включая операционные системы Linux, Unix и Windows NT, языки программирования C, C++, Java и другие современные CASE-технологии, объектно-ориентированные системы управления базами данных, открытые системы.

В настоящее время для проектирования сложных технологических процессов или систем применяют различные методы моделирования. Основные из них: аналитические, численные, имитационные, натуральные и полунатуральные методы. Рассмотрим каждый из них более подробно. Аналитические методы включают преобразование символьной информации с использованием математического анализа. Они используются для разработки математических моделей объектов, описывающих их физические свойства через дифференциальные или интегральные уравнения. Эти методы широко применяются в разработке систем автоматизированного проектирования (САПР) [3].

Численные методы основаны на последовательности действий над числами, которые приводят к получению необходимых результатов. Если есть математическая модель исследуемого объекта, можно заменить математические операции и отношения операциями над числами. Например, можно заменить интегралы суммами и производные разностными отношениями. Путем этой замены разрабатывается алгоритм, который позволяет вычислять значения требуемых величин на компьютере с высокой точностью или с допустимой погрешностью.

В отличие от аналитических методов, численные методы позволяют решать более широкий круг задач. Однако полученные решения обычно имеют частный характер, поскольку основаны на конкретных численных значениях [1].

Еще один подход к моделированию объектов – это использование имитационного моделирования. Этот метод находит широкое применение в создании моделей, которые представляют собой содержательное описание исследуемых объектов в виде алгоритмов. В этих описаниях отражается как структура системы, путем отождествления элементов системы с элементами алгоритмов, так и процессы функционирования системы во времени, представленные в логико-математической форме. Такие описания объектов исследования имеют алгоритмический характер, а сами модели являются программами для компьютера. Эти модели называются имитационными или алгоритмическими моделями.

Натурное моделирование – это метод исследования, который основывается на проведении экспериментов на реальных объектах и последующей обработке полученных данных с использованием теории подобия. Целью такого моделирования является выявление закономерностей в реальных процессах. Этот метод обладает высокой достоверностью, поскольку основан на измерении характеристик процессов, происходящих в реальных системах, и анализе полученных результатов [1].

Помимо натурного моделирования, существует также полунатурное проектирование, которое основано на использовании комбинированных моделей. В этих моделях включены математические соотношения, описывающие функционирование различных подсистем, а также реальные элементы, которые являются их составной частью. При исследовании комбинированных моделей может быть достигнуто оптимальное взаимодействие между натурными и вычислительными экспериментами. Такой подход к моделированию эффективно применяется при проектировании автоматизированных и автоматических управляющих систем, которые часто включают элементы различной физической природы. Использование комбинированных моделей позволяет сочетать преимущества математического и

натурного моделирования, что способствует более точному и полному анализу процессов в системах. Применение натурного моделирования и полунатурного проектирования имеет широкий спектр применения. Они используются в различных областях, включая инженерию, физику, химию, биологию и многие другие.

Однако, несмотря на все преимущества натурного моделирования, существуют и ограничения. Проведение экспериментов на реальных объектах может быть затратным и трудоемким процессом. Кроме того, в некоторых случаях невозможно провести такие эксперименты из-за ограничений безопасности или недоступности объекта исследования. В таких ситуациях полезным может оказаться вычислительное моделирование, которое позволяет проводить виртуальные эксперименты и анализировать результаты на основе математических моделей.

Системы автоматизированного проектирования электронных устройств (ЭУ) предлагают специализированные модели, методы и алгоритмы моделирования для каждого этапа проектирования. На этапе разработки структурной схемы и проектирования компонентов, используется структурно-параметрическое моделирование, основанное на статических моделях элементов. Это позволяет провести расчеты и оптимизацию структурной схемы, а также разработать компоненты, учитывая их взаимодействие [2].

На этапе разработки функциональной схемы применяется функциональное моделирование, основанное на функциональных моделях. Здесь уделяется внимание функциональным требованиям устройства и его возможностям. Это позволяет определить, какие функции должно выполнять устройство, и какие компоненты необходимы для их реализации.

На этапе разработки принципиальной схемы применяется схмотехническое моделирование, основанное на компонентных динамических моделях. Здесь уделяется внимание взаимодействию компонентов, их временным характеристикам и электрическим параметрам. Это позволяет проверить правильность соединений между компонентами и оценить их работу в динамике. Кроме того, в системах автоматизированного проектирования ЭУ также широко применяются алгоритмы оптимизации, которые позволяют найти наилучшие значения параметров устройства или компонентов, учитывая заданные ограничения и целевые функции. Математические модели электронных элементов и устройств можно разделить на следующие группы: линейные и нелинейные; статические и динамические; с сосредоточенными и распределенными параметрами; аналоговые, цифровые и аналого-цифровые.

При исследовании и моделировании линейных элементов и устройств, применяются системы линейных алгебраических или дифференциальных уравнений. При описании нелинейных моделей используются нелинейные алгебраические или дифференциальные уравнения, которые учитывают нелинейные зависимости между входными и выходными величинами. Статические модели широко применяются для расчета и моделирования режимов постоянного тока или напряжения. Они позволяют анализировать стационарные состояния системы. Динамические модели, в свою очередь, используются для изучения переходных процессов и частотных характеристик электронных устройств. Они позволяют оценить поведение системы при изменении входных сигналов или при воздействии на нее внешних возмущений. В зависимости от типа модели и используемых параметров, могут применяться различные уравнения. В моделях с сосредоточенными параметрами, которые предполагают, что параметры системы сосредоточены в определенных точках, используются обыкновенные дифференциальные уравнения. Эти уравнения описывают изменение величин во времени. Например, они могут описывать заряд и разряд конденсатора или ток через катушку. В моделях с распределенными параметрами, которые предполагают, что параметры системы распределены по всей ее длине или площади, используются уравнения в частных производных. Такие модели позволяют учесть распределение величин в пространстве. Они применяются, например, для описания распространения сигналов по проводам или волноводам [2].

Важным аспектом моделирования систем электронной техники является использование моделей элементов и узлов. Микромоделли представляют собой модели отдельных элементов, таких как операционные усилители, компараторы, схемы выборки и хранения, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи. Они позволяют анализировать поведение отдельных компонентов системы. Макромодели, в свою очередь, включают в себя ограниченное количество элементов и позволяют моделировать поведение более крупных узлов или подсистем. При проектировании устройств, работающих на сверхвысоких частотах, особое внимание уделяется учету распределенных параметров элементов и их выводов. Это связано с тем, что на высоких частотах распределенные эффекты становятся существенными и могут существенно влиять на работу системы. Поэтому при моделировании таких устройств необходимо учитывать не только параметры отдельных элементов, но и их взаимодействие с окружающей средой [3].

При работе с электронными устройствами на печатных платах могут возникать паразитные индуктивности и емкости, которые могут влиять на передачу сигналов и

работу системы в целом. Существуют специальные программы, которые позволяют учесть эти эффекты и провести более точное моделирование работы устройства. Библиотека моделей электронных элементов постоянно расширяется и совершенствуется. Крупные кампании как в России, так и за рубежом активно занимаются разработкой моделей новых элементов электроники. Например, разрабатываются модели мощных полевых транзисторов с изолированным затвором, мощных биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT) и других компонентов. Это позволяет инженерам и проектировщикам более точно оценить работу системы и оптимизировать ее параметры для достижения требуемых характеристик и функциональности.

Важным преимуществом моделирования является возможность исследования сложных систем и процессов. В этом случае создается упрощенная модель системы, что делает исследование и анализ более удобными и эффективными. Таким образом, моделирование – это мощный инструмент, позволяющий изучать и анализировать свойства и поведение различных систем и процессов.

#### Литература

1. Моделирование систем и процессов: учебник для вузов / В. Н. Волкова, Г. В. Горелова, В. Н. Козлов [и др.]. – М.: Изд-во Юрайт, 2023. – 450 с.
2. Алексеев, М. В. Проектирование автоматизированных систем: учебное пособие / М. В. Алексеев, А. П. Попов. – Воронеж: ВГУИТ, 2020. – 156 с.
3. Овечкин, Г. В. Компьютерное моделирование / Г. В. Овечкин. – М.: Академия, 2020. – 224 с.

УДК 677.494.745.32

#### **Постановка задачи оценки неконтролируемых возмущающих воздействий в производстве углеродного волокна на основе полиакрилонитрильных волокон**

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

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

*В работе рассмотрена задача оценки влияния неконтролируемых возмущающих воздействий, поступающих с исходным ПАН-волокном (нестабильность состава, дефектность структуры, наличие примесей и др.), на термическую обработку ПАН-*



*волокна по изменению кинетических кривых и оценкам параметров моделей кинетики потери массы ПАН-волокна при термогравиметрическом анализе.*

Одной из причин нестабильности механических характеристик углеродных волокон на основе полиакрилонитрильных волокон является наличие достаточно большого уровня неконтролируемых возмущающих воздействий, приходящих с исходным ПАН-волокном, таких как случайные колебания состава, дефектности структуры, содержания неорганических примесей и др., приводящих к изменению процессов при термической обработке ПАН-волокна, в том числе, процесса преобразования структуры исходного ПАН-волокна в структуру окисленного ПАН-волокна [1-5].

Процесс термической обработки полиакрилонитрильного волокна (ПАН-волокон) на стадии термостабилизации в производстве углеродного волокна является гетерогенным процессом «газ-твёрдое тело» [6-8]. Для таких процессов характерно протекание реакций с локализацией процесса на границе раздела фаз, образованием и ростом зародышей и получением зернистой наноструктуры окисленного ПАН-волокна [3, 4].

Процесс образования зародышей новой структуры в процессах «газ-твёрдое тело», с одной стороны, наиболее чувствителен к влиянию неконтролируемых возмущающих воздействий, т. к. зародыши в большей степени образуются в местах нарушения структуры твёрдого тела, наличия примесей, в результате которых ослабляются межатомные и межмолекулярные связи и для образования зародышей требуется меньшее количество свободной энергии [7, 8], а, с другой стороны, играет важную роль в формировании механических характеристик углеродного волокна, т. к. определяет размеры зерен наноструктуры окисленного ПАН-волокна, и, соответственно, уровень дефектности окисленного ПАН-волокна и прочность получаемого углеродного волокна [9]. Для уменьшения влияния неконтролируемых возмущающих воздействий необходимо их сделать контролируемыми (частично) и выявить направления и механизмы их действия. Это может позволить выявить причины их появления и пути уменьшения их влияния.

В работе рассмотрена задача оценки состояния ПАН-волокна по неконтролируемым возмущающим воздействиям (нестабильность состава, дефектность структуры, содержание примесей и др.) и определения направления их влияния на процесс термической обработки ПАН-волокна на термостабилизации.

Исследовать зависимость процесса зародышеобразования и величины зерен наноструктуры окисленного ПАН-волокна непосредственно от содержания примесей в

исходном ПАН-волокне и дефектности его структуры сложно. В работе проведен анализ возможности использования для оценки уровня неконтролируемых возмущающих воздействий термогравиметрического анализа. Для этого получена статистическая выборка образцов ПАН-волокна из разных партий (отличающихся влиянием неконтролируемых возмущающих воздействий), методом термогравиметрического анализа получены кинетические кривые потери массы, проведен анализ изменений их особенностей, являющихся результатом влияния неконтролируемых возмущающих воздействий.

На рис. 1а приведено семейство экспериментальных кинетических кривых потери массы образцов ПАН-волокна из разных партий, отображающих влияние неконтролируемых возмущающих воздействий на процесс потери массы. На рис. 1б представлены отобранные для анализа восемь кривых, охватывающих все характерные особенности полученных кинетических кривых.

Факторы, характерные для всех кинетических кривых:

1. Все кинетические кривые после начальных переходных процессов показывают постоянный рост потери массы, что обусловлено линейным ростом температуры при термогравиметрическом анализе.

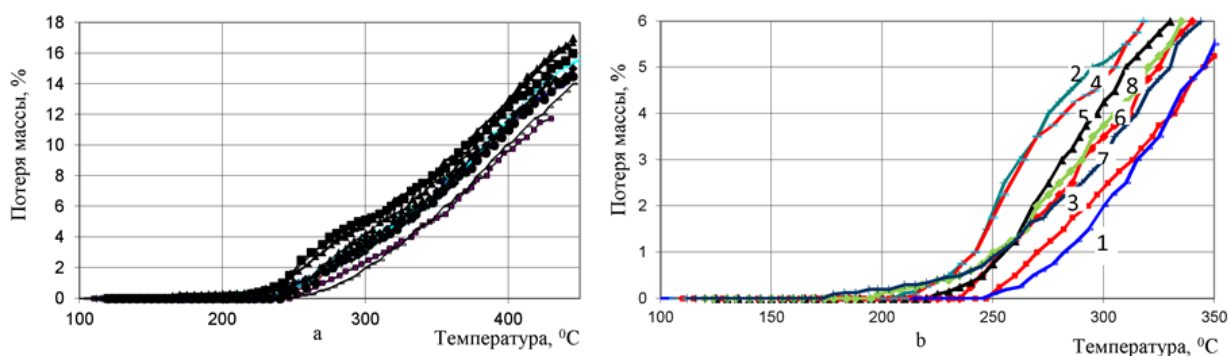


Рис. 1. Термогравиметрические кривые потери массы ПАН-волокна:

*a* – потери массы ПАН-волокна из различных партий;

*b* – характерные отобранные для анализа кривые потери массы ПАН-волокна

2. Некоторая изогнутость кинетических кривых может быть как результатом сигмоидности процесса, характерной для рассматриваемого гетерогенного процесса с положительной обратной связью в результате начального увеличения реакционной зоны, так и видом начального участка реакции первого порядка при линейном повышении температуры.

Факторы нестабильности кинетических кривых.

1. Образцы имеют разные температуры начала химических процессов потери

массы. Следовательно, образцы отличаются структурой и термостойкостью. В основном, химические процессы с потерей массы начинаются при температурах 210 - 230 °С, для образцов 2, 7, 8 температура начала потери массы 170 - 190 °С, для образцов 1, 3 – 240 - 250 °С.

2. Все кинетические кривые в момент окончания времени активации имеют положительное значение тангенса угла наклона касательной к кинетической кривой, т. е. имеют ненулевую начальную скорость реакции [8]. Это говорит о наличии порога зародышеобразования. Если зародившиеся при существующих условиях зародыши меньше какой-то, характерной для данного состояния полимера и текущей температуры, величины, называемой порогом зародышеобразования, то они являются неустойчивыми и распадаются. Зародыши, достигшие порога зародышеобразования являются устойчивыми и переходят в фазу роста [7]. Фактически с этого момента начинается химический процесс.

3. Смещение вправо по шкале температуры точки начала химического процесса означает увеличение энергии образования зародышей и, соответственно, увеличение порога их образования, увеличение размеров зародышей и зерен получаемой наноструктуры. Подтверждением этого является повышение тангенса наклона касательной к кинетической кривой в точках начала химических реакций при смещении этих точек вправо по температуре.

Для получения большей информации по экспериментальным кинетическим кривым для восьми образцов построены математические модели кинетики [10, 11]. Аппроксимация кинетических кривых одной моделью кинетики первого порядка (рис. 2а) показала наличие систематических ошибок на начальном участке потери массы и показала необходимость разделения экспериментальных кинетических кривых по виду начального участка на два вида: с плавным увеличением скорости потери массы (рис. 2b), с плавным увеличением скорости потери массы и с наложенным на него локальным сигмоидным процессом (рис. 2c).

Для описания процессов первого вида в работе используется модель кинетики первого порядка с зародышеобразованием (линия 3 на рис 2d). Для описания процессов второго вида используются две модели первого порядка, дающие при соответствующем выборе параметров реакции по линиям 2, 3 на рис. 2d, которые в сумме дают процесс по линии 5, достаточно адекватно описывающий экспериментальную кинетическую кривую 1.

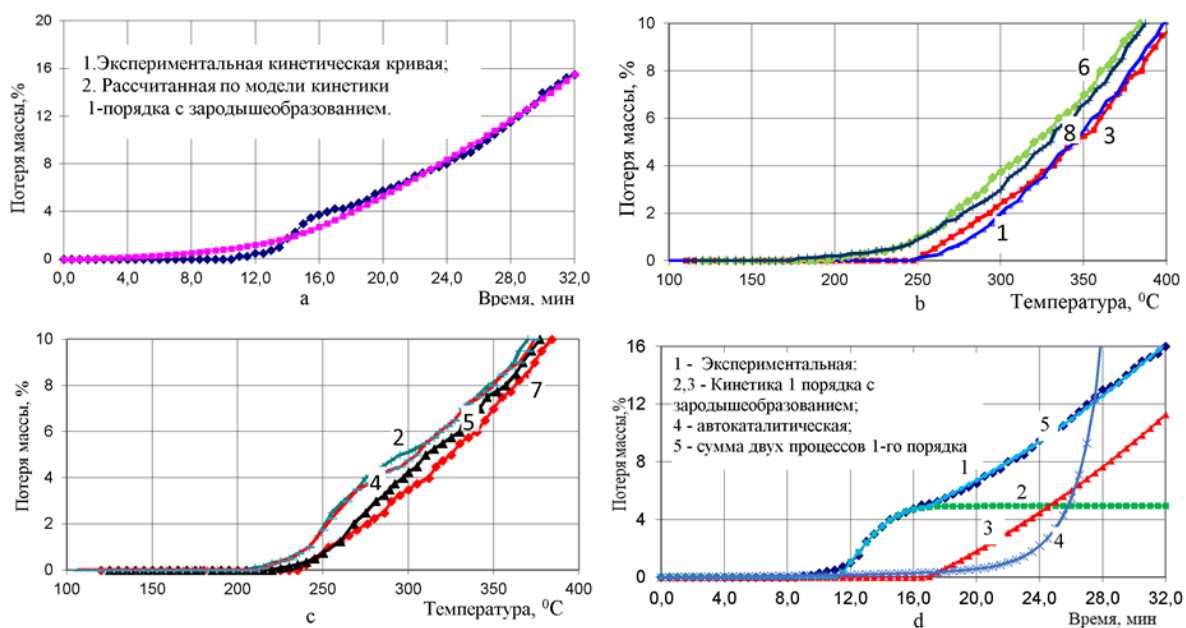


Рис. 2. Обзор кинетических кривых и моделей кинетики:

- a* – описание кинетической кривой моделью кинетики первого порядка;
- b* – экспериментальные кинетические кривые с одним химическим процессом;
- c* – экспериментальные кинетические кривые с двумя химическими процессами;
- d* – варианты описания процессов с одним и двумя химическими процессами

Следует отметить, что использование автокаталитической модели [7, 11] с механизмом зародышеобразования (линия 4 на рис. 2d) дает меньшую точность описания экспериментальных кинетических кривых. Причинами, с одной стороны, является ограниченность параметров данной модели для обеспечения ее приближения к экспериментальной кинетической кривой, с другой стороны наличие достаточной диффузии кислорода внутрь и продуктов реакций процесса окисления наружу приводит к образованию зародышей по всему сечению зерен наноструктуры ПАН-волокна [12]. Увеличение количества зародышей означает увеличение количества и уменьшение размеров реакционных зон по сечению ПАН-волокна [7]. Прохождение процесса по большому количеству параллельных реакционных зон меньшего размера сокращает время реакций, их сигмоидные участки, что приводит к сглаживанию эффекта сигмоидности и смещению процесса в сторону квазигомогенности.

Математическая модель первого порядка с механизмом зародышеобразования включает следующие уравнения [7, 10, 11].

Уравнение кинетики первого порядка:

$$\frac{dm}{dt} = k(T) \cdot m, \quad (1)$$

где  $m$  – потеря массы образца, % ;  $k(T)$  – константа кинетики, сек<sup>-1</sup>.

Уравнение Аррениуса:

$$k(T) = k_0 e^{-\frac{E}{RT}}, \quad (2)$$

где  $k_0$  – предэкспоненциальный множитель, сек<sup>-1</sup>;  $E$  – энергия активации, кДж/моль;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – температура процесса, °К.

Механизм зародышеобразования:

$$m_{k+1} = 0, \quad \text{если } m_k + \frac{dm}{dt} \cdot \Delta t < g_0$$

$$m_k + \frac{dm}{dt} \cdot \Delta t - g_0, \quad \text{если } m_k + \frac{dm}{dt} \cdot \Delta t \geq g_0;$$

где  $g_0$  – порог зародышеобразования, %; зародыши с условной массой, меньшей  $g_0$  распадаются, с массой равной или большей  $g_0$  стремятся к росту [7].

Параметрическая идентификация модели проводилась методом нелинейного программирования в Excel по квадратичному критерию

$$I_B = SS_{\text{ост}} = \sum_{t=0}^{t_3} (m(t) - m^M(t))^2 \rightarrow \min,$$

где  $m, m^M$  – экспериментальные и расчетные значения потери массы;  $t$  – текущее время;  $t_3$  – продолжительность эксперимента;  $B$  – вектор параметров математической модели.

Применение уравнения кинетики первого порядка при линейном входном сигнале позволило аппроксимировать экспериментальные кинетические кривые. Механизм зародышеобразования позволил учесть изменения экспериментальных времен активации и описать моменты начала процесса с ненулевой начальной скоростью, получить оценки значения порога зародышеобразования.

В табл. 1 приведены полученные оценки параметров и квадратичные критерии построенных моделей кинетики.

На рис. 3 приведены примеры аппроксимации кинетических кривых для двух образцов, показывающие достаточное для практики совпадение экспериментальных и рассчитанных по построенным моделям значений потери массы ПАН-волокна, что подтверждает возможность применения для описания процесса модели кинетики первого порядка с механизмом зародышеобразования.

## Оценки параметров моделей кинетики

Вид модели	Параметры	Образец ПАН-волокна							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ММ1	k1	0,49	0,18	0,25	0,135	0,94	0,163	2,88	0,23
	E1	21301	16690	18930	17020	24562	15460	30760	17350
	g10	2,4	4,7	2,5	5,4	3,7	2,64	2,1	1,86
ММ2	k2	-	18810	-	16680	18270	-	18600	-
	E2	-	46450	-	54250	48940	-	47170	-
	m2	-	4,9	-	4,48	4,33	-	4,6	-
	g20	-	5,1	-	0,63	3,5	-	2,1	-
Критерий МНК		2,10	1,75	0,47	3,67	3,19	1,58	1,82	2,44

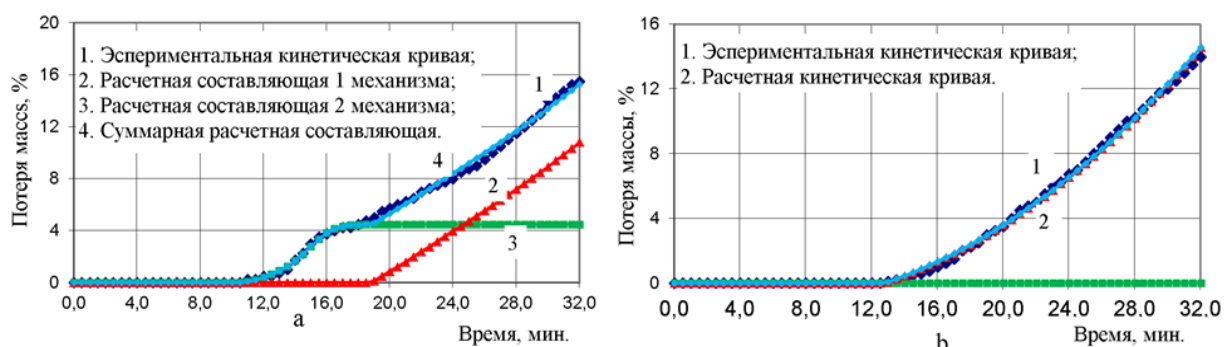


Рис. 3. Примеры описания кинетических кривых:  
*a* – химический процесс с двумя механизмами;  
*b* – химический процесс с одним механизмом

Анализ оценок параметров математических моделей кинетики для различных образцов (табл.1) показал, что оценки энергии активации, предэкспоненциальных множителей имеют небольшой разброс, что показывает воспроизводимость процесса, но имеется большая нестабильность порогов зародышеобразования обоих процессов. Тенденция к расположению порога зародышеобразования в областях от 0,5 до 3 и от 4,5 до 5,5 позволяет предположить наличие доминирующих 1 - 2 факторов, приводящих к увеличению порога зародышеобразования, что позволяет предположить возможность сведения работы по повышению качества ПАН-волокна к выявлению и устранению данного фактора.

Выводы.

1. Предложен способ оценки влияния неконтролируемых возмущающих воздействий, поступающих с исходным ПАН-волокном (нестабильность состава, дефектность структуры, наличие примесей и др.), на термическую обработку ПАН-

волокна по изменению кинетических кривых и оценкам параметров моделей кинетики потери массы ПАН-волокна при термогравиметрическом анализе.

2. Полученные оценки параметров моделей кинетики позволяют количественно оценивать состояние реакционной способности исходного ПАН-волокна как прекурсора для термической обработки непосредственно по результатам анализа ПАН-волокна, выделить допустимый диапазон изменения этих показателей для обеспечения получения углеродных волокон с требуемыми характеристиками, поставить задачу выявления источников возмущений на величину порога зародышеобразования и на другие параметры для снижения дефектности окисленного ПАН-волокна и повышения механических характеристик получаемого углеродного волокна.

3. Полученную информацию можно использовать для прямого канала управления на стадии термостабилизации, примером может быть рассмотренная в [4] система экстремального управления температурным режимом на стадии термостабилизации, направленная на получение максимально возможного количества зародышей и минимального размера зерен наноструктуры окисленного ПАН-волокна.

Примечание. Следует отметить, что анализ влияния неконтролируемых возмущающих воздействий проведен для ранее выпускаемых ПАН-волокон, имеющих большой уровень колебания состава, дефектности структуры, содержания примесей, что, возможно, и позволило выявить полученные результаты. Но применение данного подхода на основе математического моделирования может быть также актуально при исследовании современных более стабильных ПАН-волокон на более высоком уровне механических характеристик получаемых углеродных волокон.

#### Литература

1. Конкин, А. А. Углеродные и другие жаростойкие волокнистые материалы / А.А. Конкин. – М.: Химия, 1974. – 376 с.
2. Варшавский, В. Я. Углеродные волокна / В. Я. Варшавский. – М.: Варшавский, 2007. – 500 с.
3. Бирюков, В. П. Оптимизация процесса термостабилизации при получении углеродного волокна на основе ПАН; специальность 05.16.06 «Порошковая металлургия и композиционные материалы»; диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Бирюков Владимир Петрович; ФГУП «НИИГрафит». – Москва, 2002. – 298 с.
4. Бирюков, В. П. Уменьшение влияния неорганических примесей на наноструктуру окисленного полиакрилонитрильного волокна в производстве

углеродных волокон методами управления / В. П. Бирюков // Российские нанотехнологии. – 2022. – № 4. – Т. 17. – С. 569-576.

5. Рыскина, И. И. Влияние солей на термоокислительную стабилизацию и карбонизацию сополимера на основе акрилонитрила / И. И. Рыскина, В. П. Бирюков [и др.] // Химические волокна. – 1993. – № 3. – С.14-16.

6. Левеншпиль, О. Инженерное оформление химических процессов / О. Левеншпиль. – М.: Химия, 1969. – 624 с.

7. Дельмон, Б. Кинетика гетерогенных реакций / Б. Дельмон. – М.: Мир, 1972. – 556 с.

8. Барре, П. Кинетика гетерогенных процессов / П. Барре.– М.: Мир, 1976. – 400 с.

9. Карташов, Э. М. Структурно-статистическая кинетика разрушения полимеров / Э. М.Карташов, Б. Цой, В. В. Шевелев. – М: Химия, 2002. – 736 с.

10. Еремин, Е. Н. Основы химической кинетики / Е. Н. Еремин. – М.: Высшая школа, 1976. – 375 с.

11. Эммануэль, Н. М. Курс химической кинетики / Н. М. Эммануэль, Д. Г. Кнорре. М.: ВШ,1988. –391 с.

12. Денисов, Е. Т. Окисление и деструкция карбоцепных полимеров / Е. Т. Денисов. – Л.: Химия, 1990. – 288 с.

УДК 620.92

### **Перспективы и проблемы применения водорода в качестве топлива**

Галаган Дмитрий Александрович, студент направления

«Электроэнергетика и электротехника»;

Краснолудский Николай Викторович, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Атомная энергетика»

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

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

*Статья посвящена перспективам и проблемам применения водорода в качестве горючего топлива. Выявлена актуальность применения водорода в качестве горючего топлива. Рассмотрены основные понятия, физические и химические свойства, методы промышленного производства водорода и гремучего газа. Подробно рассмотрен метод получения водорода посредством электролиза воды и возможность замыкания топливного цикла. Определены достоинства и недостатки водорода в качестве*



*горючего топлива, а также проблемы его применения, хранения и транспортировки, и способы их решения.*

Водород ( $H_2$ ) – абсолютно экологически чистое, крайне энергоёмкое, практически неисчерпаемое, весьма доступное и самое лёгкое горючее топливо из всех известных. Пока ископаемое горючее топливо постепенно иссякает, природных запасов которого осталось на пару десятков лет, водород легко получить даже из обычной воды. Поскольку продуктом сгорания водорода в кислороде является только чистая вода ( $H_2O$ ), которую также можно ввести в оборот водородной энергетики, выделяя из неё водород ( $H_2$ ) и кислород ( $O$ ) посредством электролиза, при определенных условиях имеется возможность замкнуть топливный цикл.

Водородная энергетика – отрасль энергетики, основанная на использовании водорода в качестве средства для зарядки, транспортировки, производства и потребления энергии. Водород ( $H$ , от лат. hydrogenium) – первый и самый лёгкий химический элемент (первого периода) периодической таблицы химических элементов Д.И. Менделеева, с атомным номером 1. Водород ( $H_2$ ) – бесцветный, не имеющий запаха и вкуса, нетоксичный двухатомный инертный газ (при стандартной температуре и давлении), который в смеси с воздухом или кислородом ( $O$ ) горюч, крайне пожаро- и взрывоопасен. При нормальных условиях водород ( $H_2$ ) находится в агрегатном состоянии газа, а температуры кристаллизации ( $-259,14$  °С) и кипения ( $-252,87$  °С) водорода криогенны [ $-153$  °С;  $-272$  °С] и близки к абсолютному нулю температуры ( $-273,15$  °С). Жидкий водород – очень лёгкая и текучая бесцветная жидкость, существующая в очень узком диапазоне температур от  $-252,76$  °С до  $-259,2$  °С. Водород малорастворим в воде, но хорошо растворим во многих металлах, что связано с его способностью диффундировать через них, он особенно растворим в палладии, и практически не растворим в серебре. Диффузия водорода через углеродистые сплавы (например, стали и чугуны) иногда сопровождается разрушением сплава вследствие взаимодействия водорода с углеродом (декарбонизацией) [1].

Гремучим газом называется горючая, пожароопасная и взрывоопасная, склонная к самовоспламенению и детонации смесь водорода ( $H_2$ ) и кислорода ( $O_2$ ) или воздуха. При зажигании смесь водорода с воздухом небольшого объёма сгорает чрезвычайно быстро, с громким хлопком, что субъективно воспринимается как взрыв. Наиболее взрывоопасны смеси водорода и кислорода в соотношении 2:1 или объёмном процентном соотношении водорода к воздуху  $\approx 42$  %, учитывая, что в воздухе  $\approx 21$  % кислорода, однако гремучий газ способен гореть и детонировать в широком диапазоне концентраций водорода в воздухе. Гремучий газ самовоспламеняется при атмосферном

давлении и температуре 510 °С, и ряде других критических значений давления и температуры, образуя характерную Z-образную кривую зависимости, традиционно называемую полуостровом самовоспламенения (смеси  $H_2 + O_2$ ). При горении гремучего газа выделяется большое количество теплоты, и температура пламени достигает 2800 °С [1].

Удельная теплота сгорания водорода составляет примерно 140 МДж/кг (верхняя) или 120 МДж/кг (нижняя), что в несколько раз превышает удельную теплоту сгорания остальных топлив. Например, при полном сгорании 1 кг водорода выделится 140 МДж тепловой энергии, которые нагреют 444 литра воды с комнатной температуры (25 °С) до температуры кипения (100 °С), а полное сгорание 1 кг нефти при данных условиях нагреют 134 литра воды. На рис. 1 изображена диаграмма массы горючего топлива, при полном сгорании которого выделится то же количество теплоты, что при полном сгорании 1 кг водорода.

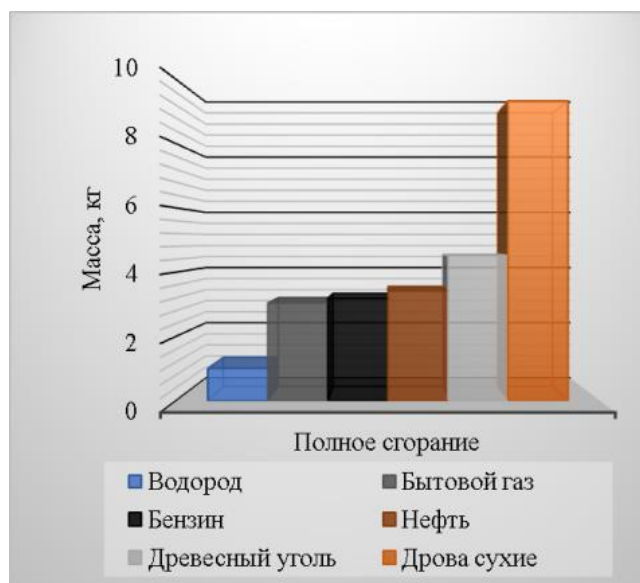


Рис. 1. Диаграмма массы топлива эквивалентной водороду по теплоте сгорания

Продуктом сгорания водорода ( $H_2$ ) в кислороде ( $O_2$ ) является только чистая вода ( $H_2O$ ) (водяной пар), без выделения опасных, токсичных и ядовитых углекислого, сернистого, угарного газа, пепла и золы, а также прочих газов и веществ. Из воды ( $H_2O$ ), образующейся в результате сгорания водорода ( $H_2$ ) в кислороде ( $O_2$ ) можно вновь извлекать водород и кислород посредством электролиза. С точки зрения экологии не существует более экологически чистого горючего вида топлива. Переход на водород в качестве горючего источника энергии позволит снизить темпы развития или полностью остановить такие глобальные экологические проблемы человечества, как загрязнение окружающей среды, глобальное потепление, загрязнение атмосферы и

гидросферы, разрушение озонового слоя, кислотные дожди, захоронение токсичных отходов и продуктов горения [2].

Производство водорода достаточно развито, в мире ежегодно производится более 75 млн тонн водорода, и существует несколько методов его получения в промышленных масштабах, к которым относятся паровая конверсия метана и природного газа, газификация угля, электролиз воды, пиролиз, частичное окисление, биотехнологии. Разнообразие способов получения водорода является одним из главных преимуществ водородной энергетики, так как повышает энергетическую безопасность и снижает зависимость от отдельных видов сырья. В настоящее время наиболее экономически выгодным считается производство водорода из ископаемого сырья и в данный момент наиболее доступным и дешёвым процессом является паровая конверсия. Себестоимость производства водорода начинается с 2 долларов за килограмм. Издержки на весьма сложное хранение и транспортировку довольно велики [2].

Наиболее перспективным, доступным, простым и экологически чистым, но экономически нецелесообразным методом получения водорода является электролиз воды. Электролиз воды представляет собой использование электричества для расщепления воды ( $H_2O$ ) на водород ( $H_2$ ) и кислород ( $O_2$ ). Источник питания постоянного тока подключается к двум электродам, помещённым в воду, и в процессе электрохимического разложения воды на катоде появляется водород, а на аноде – кислород. При смешивании выделившихся в результате электролиза воды, водорода и кислорода, которые выделяются в соотношении 2:1, получается чрезвычайно взрывоопасный гремучий газ. Общее уравнение электролиза воды выглядит следующим образом [3]:



где  $H_2O$  – чистая вода;  $H_2$  – водород;  $O_2$  – кислород.

Поскольку горение водорода в кислороде практически представляет собой обратный электролизу воды (1) процесс, имеется возможность расщеплять воду, сжигать водород в кислороде, вновь расщеплять образовавшуюся воду, и сжигать получившиеся продукты электролиза, зациклив эти процессы. Основная проблема замыкания топливного цикла состоит в низкой эффективности электролиза воды.

При определении коэффициента полезного действия (КПД) электролиза воды, равняющегося отношению энергии, выделившейся в результате полного сгорания его продуктов на затраченную для электролиза электрическую энергию, выясняется, что КПД обратно пропорционален электрическому сопротивлению воды. Чистая пресная

вода, используемая в электролизе (и образующаяся при сгорании водорода в кислороде), имеет очень высокое удельное электрическое сопротивление, а соответственно и крайне низкий КПД её электролиза, в связи с чем необходимо использовать методы для повышения эффективности электролиза воды, а именно уменьшения её электрического сопротивления. Эффективность электролиза воды повышается за счёт добавления электролитов (например, соли, кислоты или основания) и электрокатализаторов. Кроме того, электрическое сопротивление воды уменьшается при увеличении площади и уменьшении расстояния между электродами, а также их чередовании между собой. При уменьшении расстояния между электродами и их чередовании затрудняется разделение потоков водорода и кислорода, чтобы они не смешались во взрывоопасный гремучий газ. Активно используются перспективные технологии разделения электродов полимерной электролитной мембраной и электрохимическими ячейками с нанозазором. До сих пор ведутся исследования в области повышения КПД электролизёров воды, который на данный момент достигает 70 %, но предпочитают более дешёвые методы получения водорода, а электролизом вырабатывается всего около 0,1 % мирового водорода [1].

Хранение и транспортировка водорода сопровождается некоторыми проблемами. Во-первых, гремучий газ взрывоопасен и пожароопасен, склонен к самовоспламенению и детонации, но при комнатной температуре в отсутствие источников зажигания (искры, открытого пламени, электрической дуги) он может храниться неограниченно долго. Во-вторых, водород посредством диффузии способен проникать через стенки сосудов, в которых он хранится, а также разрушать углеродистые сплавы декарбонизацией. При утечке водорода, отсутствие у него запаха усложняет её обнаружение. В-третьих, сжижение водорода физически относительно затруднено [1].

Водород в качестве топлива обладает абсолютной экологической чистотой, крайне высокой энергоёмкостью, практической неисчерпаемостью и доступностью. Среди проблем применения стоит выделить пожаро- и взрывоопасность, активную диффузионную способность, возможность разрушения углеродистых сталей, затруднение сжижения, низкую эффективность замыкания топливного цикла, которая была бы отличной перспективой, но в любом случае отсутствует в прочих горючих топливах. Затраты на производство, хранение и транспортировку водорода пока слишком высоки, в чём водород уступает ископаемым топливам. Но водородная энергетика активно развивается, производятся транспортные средства с использованием водорода в качестве топлива, проектируются электростанции на

водородных топливных элементах, разрабатываются методы внедрения и удешевления водорода в качестве топлива.

#### Литература

1. Радченко, Р. В. Общая энергетика: водород в энергетике: учебное пособие для вузов / Р. В. Радченко, А. С. Мокрушин, В. В. Тюльпа. – М: Изд-во Юрайт, 2018. – 230 с.
2. Радченко, Р. В. Водород в энергетике: учебное пособие / Р. В. Радченко, А. С. Мокрушин, В. В. Тюльпа. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 229 с.
3. Липин, В. А. Физическая химия. Электрохимия: учебное пособие / В. А. Липин, А. И. Смирнова, Т. А. Суставова. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2020. – 94 с.

УДК 621.039.526

#### **Реакторы на быстрых нейтронах**

Галаган Дмитрий Александрович, студент направления

«Электроэнергетика и электротехника»;

Краснолудский Николай Викторович, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Атомная энергетика»

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

*Статья посвящена реакторам на быстрых нейтронах. Выявлена актуальность реакторов на быстрых нейтронах в современном мире. Приведены основные понятия и определения. Рассмотрен принцип действия и устройство реакторов на быстрых нейтронах. Рассмотрены основные достоинства и недостатки реакторов на быстрых нейтронах. Предоставлена информация по действующим и перспективным проектам реакторов на быстрых нейтронах.*

Реакторы на быстрых нейтронах (РНБН) представляют собой установки, для осуществления и эксплуатации выгоднейшего процесса в ядерной энергетике, известного человечеству. РНБН способны более безопасно для человека и его деятельности, а также окружающей среды и климатических условий, выделять в 1,5 раза больше тепловой энергии, по сравнению с «традиционными» атомными реакторами на тепловых (медленных) нейтронах. Кроме того РНБН, в процессе выделения энергии, нарабатывают новое топливо, которое может использоваться для

атомных электростанций (АЭС) на тепловых нейтронах и на самих РНБН, причём нового топлива нарабатывается в 1,5 раза больше, чем изначально закладывалось в реактор. А наработка топлива производится из накопившегося, ещё со времён развития ядерной энергетики, радиоактивного отработанно ядерного топлива (ОЯТ), требующего для своего захоронения больших территорий и финансирования. Это позволит относительно безопасно избавиться от самых активных и долгоживущих изотопов в отработанном ядерном топливе, значительно сократив срок их биологической опасности. Тем более, пока горючее (нефть, газ, уголь, торф и др.) и энергоёмкое (уран  $^{235}_{92}\text{U}$ ) топливо постепенно иссекает, запасов которого осталось на пару десятков лет, реакторы на быстрых нейтронах позволят замкнуть цикл ядерного топлива и обеспечить ядерную энергетику топливом на тысячелетия.

Реактор на быстрых нейтронах – ядерный реактор, в активной зоне которого отсутствуют эффективные замедлители нейтронов. Принципиальными отличиями реакторов на быстрых нейтронах от реакторов на тепловых нейтронах являются отсутствие существенных замедлителей нейтронов, более высокая степень обогащения начального топлива, а также конструкторские и технические решения вовлечения прочих делящихся элементов в топливный цикл, для его замыкания. Благодаря этим отличиям, реакторы на быстрых нейтронах вырабатывают больше тепловой энергии и позволяют нарабатывать новое ядерное топливо, а также способны нейтрализовать накопившиеся опасные радиоактивные ядерные отходы [1].

Для протекания управляемой самоподдерживающейся цепной ядерной реакции деления именно на быстрых нейтронах необходимо, чтобы они обладали высокой энергией. Добиться этого естественно поможет отсутствие технических средств и элементов, постоянно замедляющих и поглощающих нейтроны, которые в «традиционных» реакторах существенно снижают их кинетическую энергию до энергии тепловых нейтронов. Однако, кроме технических замедлителей, им так же является вода, играющая огромную роль в конструкции реакторов АЭС, поскольку она используется одновременно в качестве теплоносителя, охлаждающей жидкости и замедлителя нейтронов. Заменителем воды в РНБН служат некоторые легкоплавкие металлы, поскольку они практически не замедляют нейтроны и подходят в качестве теплоносителя, причём более целесообразны с точки зрения безопасности, из-за работы при низком (около-атмосферном) давлении, отсутствии риска потери теплоносителя по причине выкипания, и отсутствии риска пароциркониевой реакции, а также в большинстве случаев обладают низкой коррозионной активностью. Теплоносителем и охладителем большинства существующих РНБН выступает легкоплавкий металл –

натрий, зарекомендовавший себя в этой роли, благодаря выдающимся теплофизическими свойствами и низкой коррозионной активностью. Очевидным минусом использования натрия в качестве теплоносителя является усложнение любой аварии с его утечкой, в связи с химической активностью натрия, особенно склонностью к самовоспламенению на воздухе и взрывоопасностью при контакте с водой (и её парами), с образованием опасных веществ. Перспективными теплоносителями, используемыми в разрабатываемых РНБН, являются свинец и висмут, но если реактор охладится ниже температуры их кристаллизации, то расплавить и разогреть их до рабочих температур реактора довольно долго и сложно [2].

Для запуска реактора на быстрых нейтронах, по сравнению с реакторами на тепловых нейтронах, требуется гораздо более высокое обогащение урана – до 17-26 %. Концентрацию делящегося в активной зоне вещества необходимо превышать в несколько раз в связи с тем, что вероятность захвата ядром топлива быстрого нейтрона значительно ниже, чем тепловым. Поэтому в РНБН применяются особые конструктивные решения такие, как отражатели нейтронов и высокоплотное топливо [3].

В топливный цикл РНБН добавляются такие элементы, как абсолютно бесполезный «отвальный» уран-238 ( $^{238}_{92}U$ ), или слаборадиоактивный торий-232 ( $^{232}_{90}Th$ ), запасы которого в природе практически не ограничены (он в больших количествах находится в горных породах), которые способны превращаться в полноценное топливо для ядерных установок, в частности плутоний-239 ( $^{239}_{94}Pu$ ) или уран-233 ( $^{233}_{92}U$ ) соответственно, причём в 1,5 раза больше, чем изначально закладывалось первоначального топлива. Условия для этого создаёт устройство реактора на быстрых нейтронах, состоящего из активной зоны, в которой протекает цепная ядерная реакция (первоначального топлива) на быстрых нейтронах, а также его оболочки – зоны воспроизводства (бланкета), состоящего из конструкции для бомбардировки первичных элементов быстрыми нейтронами, вырывающимися с активной зоны. Это позволяет замкнуть топливный цикл и пользоваться нарабатываемым реакторами на быстрых нейтронах топливом тысячелетиями. Упрощённое схематическое изображение закрытого ядерного топливного цикла представлено на рис. 1 (ОГФУ – обеднённый гексафторид урана – побочный продукт переработки гексафторида урана в обогащённый уран) [2].

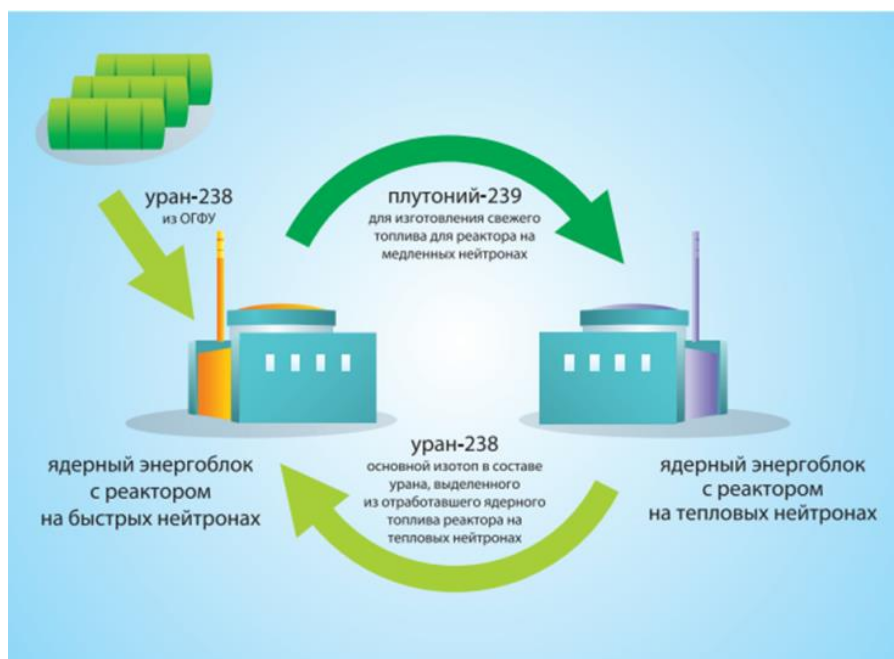


Рис. 1. Схема закрытого ядерного топливного цикла

Самым технически совершенным и мощным из действующих реакторов на быстрых нейтронах является русский БН-800 (аббревиатура «быстрые нейтроны», номинальной электрической мощностью 800 МВт). Проект данного энергоблока был разработан ещё в 1983 году как типовой и предполагал реализацию сразу на нескольких атомных станциях (Белоярской и Южноуральской). Первая и единственная установка данного типа находится на энергоблоке № 4 Белоярской АЭС в Свердловской области. Запуск реактора состоялся 10 декабря 2015 года, а промышленная эксплуатация производится с 1 ноября 2016 года. Его энергетическая мощность составляет 880 МВт, а коэффициент полезного действия 39,4 %. Кроме своего основного (производственного) назначения, первый действующий реактор БН-800 имеет большое экспериментальное значение – на нем производится окончательная отработка опыта и технических решений по реализации перспектив технологии замыкания ядерного топливного цикла. К основным задачам БН-800 можно отнести отработку в реальных условиях эксплуатации новых видов оборудования и усовершенствованных технических решений, введённых для повышения показателей экономичности, надёжности и безопасности РНБН, а также разработку инновационных технологий для будущих реакторов на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем. Несмотря на рентабельность БН-800, он имеет ряд недостатков, состоящих из более высокой удельной стоимости производимой энергии. Не менее важным недостатком является относительно низкий срок службы реактора [3].

Самым технически совершенным и мощным из разрабатываемых реакторов на быстрых нейтронах на данный момент является русский БН-1200. В 2014 году была



завершена разработка материалов проекта энергоблока. В рамках этого проекта были разработаны основные схемно-технологические решения, основные здания, системы, коммуникации, а также выполнены технико-экономические оценки. Пуск реактора планируется провести в 2030 году. Местом строительства выбрана Белоярская АЭС в Свердловской области, где уже работают реакторы подобного типа (БН-600 и БН-800). Электрическая мощность этой установки оценивается в 1220 МВт, а коэффициент полезного действия в 39 %. Этот проект уникален, но и он не лишён недостатков, по крайней мере, не настолько весомых, как в БН-800. Одна из слабых сторон проекта, по мнению экспертов, состоит в том, что пока нет комплексного видения замкнутого топливного цикла. То есть отсутствует промышленное производство МОКС (ядерное топливо, содержащее несколько видов оксидов делящихся материалов) топлива, и нет готовых технологий производства и обновления топлива [3].

В заключение хочется сказать, что после того, как иссякнет горючее и энергоёмкое топливо, реакторы на быстрых нейтронах помогут избежать энергетического кризиса. С экономической точки зрения, сооружение, эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт, а также топливо РНБН хоть и дороже обычных тепловых ядерных реакторов, но не на порядок. Массового строительства РНБН преждевременно просто не начинают, так как типичного топлива пока хватает, оно ещё достаточно дешёвое и доступное, и есть время отрабатывать технологию, чем сейчас и занимается человечество.

#### Литература

1. Акатов, А. А. Будущее ядерной энергетики. Реакторы на быстрых нейтронах / А. А. Акатов, Ю. С. Коряковский. – М.: АНО «ИЦАО», 2012. – 36 с.
2. Селезнев, Е. Ф. Кинетика реакторов на быстрых нейтронах / Е. Ф. Селезнев; под ред. акад. РАН А.А. Саркисова; Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. – М: Наука, 2013. – 239 с.
3. Балашин, Ю. А. Физические основы ядерной энергетики: учебное пособие / Ю. А. Балашин, Ю. П. Заричняк, М. В. Успенская. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – Ч. II. – 88 с.

## **Системы слежения за Солнцем в солнечной энергетике**

Галаган Дмитрий Александрович, студент направления

«Электроэнергетика и электротехника»;

Краснолудский Николай Викторович, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Атомная энергетика»

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

*Статья посвящена системам слежения за Солнцем в солнечной энергетике. Выявлена актуальность солнечной энергетике и применения солнечных систем слежения. Рассмотрены основные понятия. Определены достоинства и недостатки солнечной энергетике на солнечных батареях, а также проблемы её применения и способы их решения. Рассмотрены основные углы, характеризующие расположение Солнца на небосводе и приведена методика их определения. Рассмотрена классификация и основные компоненты систем слежения за Солнцем согласно ГОСТ.*

В современном мире в энергетике стремительно набирают перспективы возобновляемые источники энергии, такие как: солнечное излучение, энергия приливов и отливов, и многие другие. Дело в том, что в связи с постоянным ростом спроса и цен на электроэнергию, пока горючее (нефть, газ, уголь, торф) и энергоёмкое (уран, плутоний) топливо постепенно иссякает, природных запасов которого осталось на пару десятков лет, возобновляемые источники энергии по определению практически неисчерпаемы и, как правило, экономически более рентабельны. Более того, подавляющая их часть абсолютно безопасна для человека и его деятельности, а также окружающей среды и климатических условий. Среди экологически чистых возобновляемых источников энергии, как одну из наиболее перспективных, выделяют солнечную энергетике, поскольку она считается наиболее доступной и простой в эксплуатации при низкой себестоимости производства энергии.

Солнечная энергетике – направление альтернативной энергетике, основанное на непосредственном использовании солнечного излучения для получения энергии в каком-либо виде. Для прямого преобразования энергии солнечного излучения в электрическую энергию используются так называемые солнечные фотоэлектрические панели или солнечные батареи, представляющие собой объединение фотоэлектрических преобразователей (фотоэлементов) – полупроводниковых устройств, прямо преобразующих солнечную энергию в постоянный электрический

ток, в отличие от солнечных коллекторов, производящих нагрев материала-теплоносителя.

Преимущества солнечной энергетики на солнечных батареях очевидны: перспективность, доступность, простота эксплуатации, неисчерпаемость источника, экологичность. Среди основных недостатков следует выделить сильную зависимость производимой энергии от погодных условий, времени суток и времени года, относительно низкий коэффициент полезного действия (КПД) солнечных панелей (5,15 - 32 %) [1], высокую стоимость оборудования, необходимость периодической очистки панелей от загрязнений.

Поскольку солнечные батареи производят постоянный электрический ток, в солнечной энергетике необходимо использовать инверторы – устройства для преобразования постоянного тока в переменный с изменением величины напряжения. Для компенсации зависимости производимой солнечной энергии используются электрические аккумуляторы. Для повышения КПД солнечных батарей ведутся разработки прогрессивных технологий их изготовления, а низкий КПД можно компенсировать количеством используемых панелей, для чего потребуются большие площади для их размещения. Необходимость периодической очистки панелей от загрязнения во избежание уменьшения эффективности отпадает при хорошей полировке поверхности и специальных технологиях, либо, при использовании автоматических механических очистителей [1].

Системы слежения за Солнцем, часто называемые солнечными трекерами, в солнечной энергетике позволяют решить сразу несколько проблем: значительно повысить общий КПД солнечной электростанции (СЭС), снизить зависимость выработки энергии от времени суток и времени года и, как следствие, улучшить технико-экономические показатели установки.

Солнечный трекер – это устройство, которое автоматически ориентирует солнечные панели по направлению к Солнцу. По законам физики, отражения и преломления света известно, что пик солнечной радиации, а соответственно и энергии, приходится на перпендикулярную солнечным лучам поверхность. Солнце в течении дня и года периодически совершает движение относительно солнечных панелей. При фиксированном расположении панелей параллельно земной поверхности, в утренние и вечерние часы направление падения солнечных лучей практически параллельно плоскости фиксированной панели, в связи с чем она вырабатывает минимальную электроэнергию.

Технология солнечного трекинга позволяет увеличить эффективность энергоустановок, выполненных на базе солнечных элементов, посредством увеличения количества получаемой ими солнечной энергии, путём ориентации солнечных панелей по направлению к Солнцу в течении времени. Мировой опыт эксплуатации систем слежения за Солнцем показал, что их применение обеспечивает повышение производительности солнечных электростанций в среднем от 15 % до 72 % в зависимости от типа трекера, географического положения электростанции, климатических условий и времени года [1].

Движение Солнца по небу относительно солнечных панелей оказывает сильное влияние на получаемое ими количество энергии. Максимальную энергию солнечная батарея получает при равенстве освещённости поверхности и плотности светового потока, что возможно только в том случае, когда излучение падает под прямым углом. Когда солнечные лучи падают параллельно модулю и угол к нормали составляет  $90^\circ$  освещённость, соответственно и энергия падает до нуля. Для других значений углов падения относительная интенсивность излучения равняется  $\cos \theta$ , где  $\theta$  – угол между солнечными лучами и нормалью к панели [1].

К основным углам, характеризующим расположение Солнца на небосводе в горизонтальной системе координат, относительно конкретной точки Земной поверхности, для ориентации солнечных панелей в пространстве относятся: полярный угол (азимут) и угол возвышения (высота) или зенитный угол Солнца (рис. 1). Полярный угол (азимут,  $Az$ ) – горизонтальный угол между заранее выбранным направлением (например, на юг) и направлением на Солнце, как правило отсчитываемый по часовой стрелке. Склонение Солнца ( $\delta$ ) – это угол между экватором и воображаемой линией, соединяющий центры Земли и Солнца, который, перетерпевая сезонные изменения, принимает значения в диапазоне от  $-23,45^\circ$  до  $23,45^\circ$ , из-за вращения Земли по эллиптической орбите вокруг Солнца и наклона её собственной оси вращения на  $23,45^\circ$ . Угол склонения становится равным нулю в дни равноденствий, положительным, когда в северном полушарии лето, и отрицательным, когда там зима, максимальным в день летнего, и минимальным в день зимнего солнцестояний в северном полушарии. Для упрощения расчётов угла склонения обычно переходят в систему координат, в которой Солнце вращается вокруг Земли. Угол возвышения (угол высоты,  $\alpha$ ) – это высота Солнца на небе, измеренная в градусах от горизонтального положения, принимает значения от  $0^\circ$  (на восходе) до  $90^\circ$  (максимальная высота). Зенитный угол аналогичен углу возвышения за тем исключением, что он отсчитывается не от горизонтальной, а от вертикальной оси, и

находится вычитанием  $90^\circ$  от угла возвышения. Солнце достигает максимальной высоты в полдень по солнечному времени, и эта высота зависит от угла склонения и широты [1, 2].

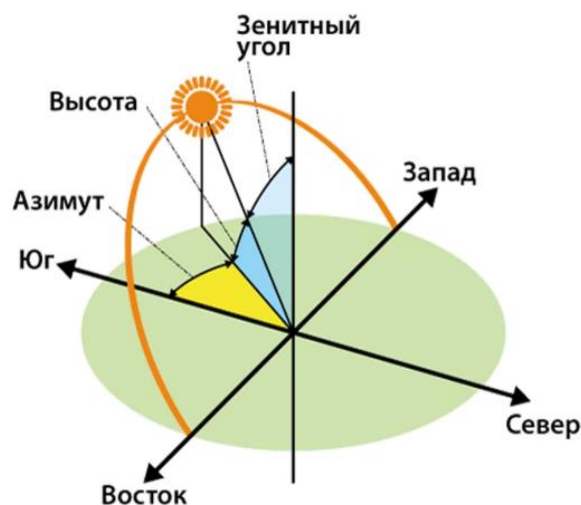


Рис. 1. Горизонтальная система координат

Для нахождения требуемых углов необходимы исходные данные, такие как географическая широта и долгота местности, порядковый номер текущего дня с начала года, местное время, разница между местным временем и средним временем по Гринвичу. Далее требуется вычислить местный стандартный временной меридиан, уравнение времени, временной поправочный коэффициент, местное солнечное время, часовой угол, угол склонения, угол возвышения и зенитный угол, время восхода и захода Солнца, а также полярный угол. Эти зависимости тригонометрически взаимосвязаны между собой и позволяют проводить расчёт для определенного момента времени, но усложняют процесс определения эффективности, анализа и оптимизации параметров на всем временном диапазоне [1].

Современные системы слежения за Солнцем весьма разнообразны и могут значительно различаться по стоимости, конструктивным исполнениям и используемым принципам управления. Основные требования к устройствам слежения за Солнцем определяет подготовленный на основе международного стандарта ГОСТ Р 57229-2016 [3], в котором описаны основные характеристики солнечных систем слежения, их классификационные признаки и методы испытаний [3].

По количеству осей вращения системы слежения за Солнцем классифицируются на одноосевые (SAT) и двухосевые (DAT). В связи с более простой конструкцией, а соответственно и низкой себестоимостью наибольшее распространение получили одноосевые трекеры. Однако, максимальную эффективность использования солнечной энергии обеспечивают двухосевые трекеры [3].

Основными компонентами устройств слежения за Солнцем являются: блок управления, установочная конструкция или опорная рама, привод и трансмиссия. Установочная конструкция предназначена для крепления солнечных панелей и должна обеспечивать необходимую надёжность при внешних воздействиях. Привод солнечного трекера обеспечивает осевое вращение системы слежения. По типу привода различают системы с электроприводом, гидроприводом и пассивным приводом. В солнечных трекерах наиболее распространены электроприводы, в которых в качестве исполнительных устройств применяются электродвигатели различного типа: сервоприводы, шаговые, линейные и др. Трансмиссия передаёт механическое движение от приводных двигателей к подвижным элементам осей следящей системы. Блок управления обеспечивает позиционирование солнечной батареи на Солнце в соответствии с принятым алгоритмом слежения [3].

Практическое применение обрели два основных алгоритма слежения за положением Солнца – астрономический и по датчикам света. Вследствие простоты технической реализации чаще используется алгоритм слежения по световым датчикам, принцип действия которого заключается в позировании солнечной батареи на максимальную интенсивность солнечного излучения, определяемую по текущим показаниям фотоприёмников. В качестве фотодатчиков как правило используются фоторезисторы или фототранзисторы. Серьезными недостатками трекерных систем с датчиками света являются их неработоспособность при загрязнении фотоприёмников, в пасмурную погоду, при интенсивных осадках, а также более высокая аппаратная нагрузка на блок управления и реагирование на иные источники света [1].

Наибольшую надёжность и эффективность обеспечивают астрономические алгоритмы солнечной позиции (SPA), принцип действия которых основан на программном расчёте оптимальных углов позиционирования солнечной батареи на Солнце по заданным параметрам: географическая широта и долгота местоположения трекера, точные дата и время, в некоторых случаях также высота над уровнем моря [1].

Системы слежения за Солнцем в современном мире стремительно набирают популярность и уже активно используются в разных странах мира в самых разнообразных установках таких, как солнечные трекеры, гелиостаты, солнечные коллекторы, системы зеркал и линз для фокусировки солнечных лучей. Это порождает весьма обширное разнообразие солнечных систем слежения как по конструктивным исполнениям и используемым принципам управления, так и по техническим характеристикам, условиям эксплуатации, местности размещения, погодным условиям. Это связано с тем, что система слежения за Солнцем значительно увеличивает

эффективность установки и улучшает ее технико-экономические показатели, а также снижает зависимость получения установкой солнечной энергии от времени и погодных условий.

#### Литература

1. Солнечная энергетика: учебное пособие для вузов / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 320 с.
2. Сурдин, В.Г. Астрономия. Популярные лекции / В. Г. Сурдин. – М.: Ли-тео, 2017. – 288 с.
3. ГОСТ Р 57229–2016. Системы фотоэлектрические. Устройства слежения за Солнцем. Технические условия. – М.: Стандарт-информ, 2016. – 64 с.

УДК 621.311.25

#### **Разработка автономного солнечного трекера**

Галаган Дмитрий Александрович, студент направления

«Электроэнергетика и электротехника»;

Краснолудский Николай Викторович, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Атомная энергетика»

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

*Статья посвящена разработке макета универсального автономного двухосевого солнечного трекера. Выявлена актуальность темы, рассмотрены основные понятия. Определены основные недостатки современных солнечных трекеров. Разработан, собран и запрограммирован макет универсального автономного двухосевого солнечного трекера. Разработан сайт для дистанционного отслеживания параметров и управления макетом универсального автономного двухосевого солнечного трекера по локальной сети Wi-Fi. Дано описание, исследована эффективность, приведена характеристика и обоснована практическая значимость разработанного солнечного трекера.*

Системы слежения за Солнцем, называемые солнечными трекерами, в солнечной энергетике позволяют значительно повысить общий коэффициент полезного действия (КПД) солнечной электростанции и снизить зависимость выработки ею

энергии от времени суток и времени года, тем самым улучшив технико-экономические показатели энергоустановки [1].

Солнечный трекер – устройство, которое автоматически ориентирует солнечные панели по направлению на Солнце, тем самым увеличивая количество получаемой ими солнечной энергии. Солнечные трекеры обеспечивают прирост производительности солнечных электростанций вплоть до 72 %. Основные требования и характеристики систем слежения за Солнцем определяет ГОСТ Р 57229-2016 [2].

Солнечные трекеры разрабатываются преимущественно зарубежными компаниями, а в связи с антироссийскими санкциями все чаще встаёт вопрос импортозамещения. Производители намеренно ограничивают углы поворотов осей, в связи с чем падает их эффективность при использовании в различной местности и встаёт необходимость их правильной установки и настройки специалистами. Редко встречаются в продаже готовые солнечные трекеры для частного использования. Современные солнечные трекеры имеют явно завышенную стоимость.

В связи с вышеперечисленным и для практического определения эффективности использования солнечного трекера при различных его конфигурациях было принято решение разработать макет универсального автономного двухосевого солнечного трекера. Под универсальностью подразумевается использование двух осей (горизонтальной и вертикальной) с отсутствием ограничений в углах поворота и высокой позиционной точностью, использование различных алгоритмов слежения за Солнцем с возможностью их комбинирования и переключения, а также возможность дистанционного отслеживания параметров и управления установкой через сайт. Солнечный трекер будет обеспечивать максимально возможную интенсивность солнечного излучения на солнечные панели, посредством их ориентации в пространстве двумя осями строго по направлению на Солнце. Горизонтальная ось поворачивает панели по полярному углу (азимуту), а вертикальная – по углу возвышения (высоты) или зенитному углу Солнца [3].

Отсутствие явных ограничений в углах поворота и высокую позиционную точность обеспечивает использование шагового двигателя в качестве поворотного привода горизонтальной оси и сервопривода по вертикальной. В качестве привода азимутальной оси выбран шаговый двигатель 28BYJ-48, а вертикальной оси – сервопривод SG90, которые относительно недорогие, легкодоступные и популярные.

Выбраны оба основных алгоритма слежения за Солнцем, как по фотодатчикам (делителям напряжения на фоторезисторах), в котором максимальная интенсивность светового излучения определяется по текущим показаниям фотоприёмников, так и



наиболее надёжный и эффективный астрономический алгоритм солнечной позиции (SPA), принцип действия которого основан в программном расчёте оптимальных углов позиционирования солнечных батарей по заданным параметрам географической широты и долготы расположения трекера, точной даты и времени, а также предусмотрена возможность ручного управления углами поворота осевых приводов.

В качестве блока управления выбран модуль микроконтроллера Wemos D1 mini pro (на esp8266), который имеет встроенный Wi-Fi модуль (для передачи данных), 16 Мб Flash памяти, 11 цифровых портов ввода/вывода, поддерживаемых интерфейсы передачи данных I2C, One-Wire, InterRupt и широтно-импульсную модуляцию (ШИМ), а также 1 аналоговый вход ( $\leq 3,2$  В). Поскольку в выбранном микроконтроллере недостаточно аналоговых входов (для аналоговых датчиков света, напряжения и тока), необходимо использовать аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), в качестве которого выбран модуль 16-битного АЦП ADS1115 с 4 несимметричными (или 2 дифференциальными) входами и типом интерфейса I2C (4 адреса). Для реализации алгоритма определения ближайших погодных условий (преимущественно по резким перепадам давления), для ориентации солнечных панелей по направлению сильных ветров и интенсивных осадков, во избежание ущерба конструкции, так же было принято решение добавить в проект довольно точный метео-датчик MBE280, который измеряет атмосферное давление, температуру и влажность.

На рис. 1 изображена наглядная монтажная электрическая схема солнечного трекера, составленная в программе Fritzing. Все компоненты подключаются к питанию напряжением 5 В параллельно («+»-красный, «-»-чёрный). Аналогово-цифровые преобразователи ADS1115 (3-х осевой магнитный компас HMC5883L) и метео-датчик MBE280 подключены к микроконтроллеру Wemos D1 mini pro по двухсторонней двухпроводной шине связи I2C аппаратно (SCL-D1(5) и SDA-D2(4), белые провода). К входам одного из АЦП подключены фотодатчики, представляющие собой делители напряжения на фоторезисторе и резисторе (жёлтые провода), а к другому – аналоговые датчики тока (ACS712, до 5А, на эффекте Холла) и напряжения (резистивный делитель напряжения 30кОм и 7,5кОм) (синие провода). Шаговый двигатель горизонтальной оси 28BYJ-48 подключен к микроконтроллеру через усиливающий сигнал драйвер ULN2003 (фиолетовые провода). Сервопривод вертикальной оси SG90 подключен к микроконтроллеру одним проводом аналоговой двухсторонней связи (оранжевый провод). Солнечные панели соединены между собой последовательно, к которым, через электромагнитное реле (на схеме не обозначено), датчики тока и напряжения присоединена нагрузка в виде синего светодиода.

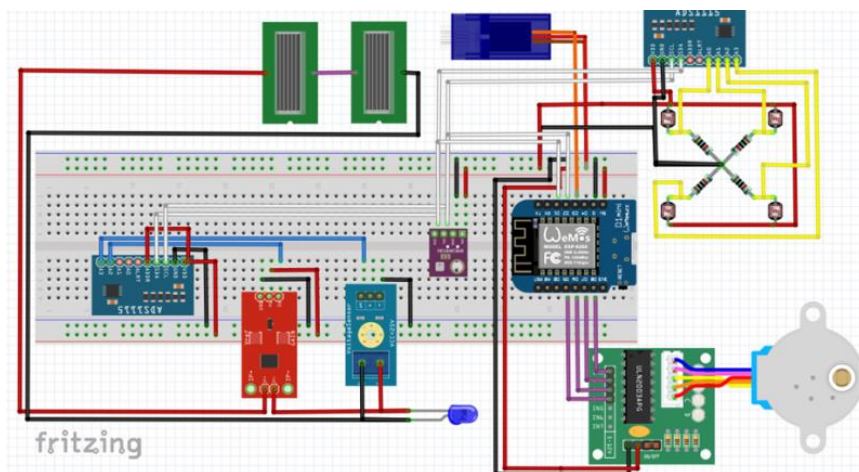


Рис. 1. Монтажная электрическая схема солнечного трекера

На рис. 2 представлен собранный солнечный трекер. Каркас трекера собран из доступного металлического конструктора, что обеспечило простоту сборки и монтажа, и обеспечивает необходимую прочность и жёсткость в случае внешних механических воздействий. Внизу расположен шаговый двигатель, осуществляющий поворот по горизонтальной оси на  $360^\circ$  в любую сторону. Сбоку конструкции расположен сервопривод, осуществляющий поворот панелей по вертикальной оси на  $180^\circ$ . Фоторезисторы вклеены в отверстия корпуса и разделены между собой крестообразной перегородкой. Основная часть схемы собрана на макетной плате, с соединениями перемычками и проводами типа Dupont «папа-папа» и «папа-мама», а солнечные батареи, фотодатчики и их АЦП пайкой навесным монтажом.

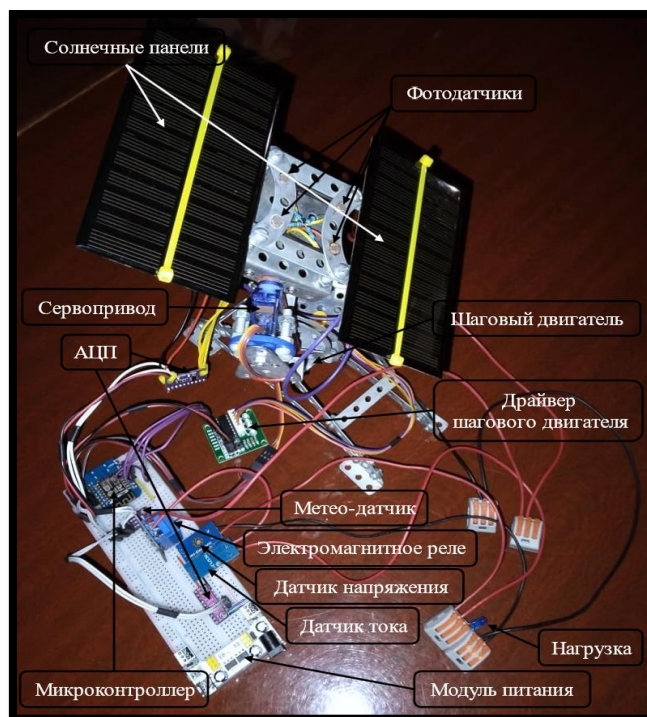


Рис. 2. Собранный солнечный трекер

Данный трекер запрограммирован на языке C++ в интегрированной среде разработки Arduino IDE. В целях упрощения программирования микроконтроллера используются специализированные библиотеки. В программном коде микроконтроллера (скетче) в первую очередь подключаются сторонние библиотеки для настройки микроконтроллера Wemos как WEB-сервера, работы с АЦП ADS1115, работы с цифровым компасом HMC5883, управления шаговым двигателем, управления сервоприводом, и работы с метео-датчиком MBE280. Затем происходит инициализация библиотек и компонентов, задание и присвоение значений переменным и константам, задание номера сетевого порта (80). Далее, в обязательном блоке кода `setup()`, который выполняется один раз при запуске микроконтроллера происходит настройка микроконтроллера и модулей, а именно задание имени и пароля Wi-Fi, IP и MAC адреса устройства для выхода в сеть, назначение обработчиков событий сетевым запросам, запуск сервера, а также задаются адреса I2C устройств, назначаются порты (ввод или вывод, состояние). После чего, в обязательном блоке кода `loop()`, который выполняется постоянно как бесконечный цикл, вызывается функция обработки входящих запросов серверу и один из блоков кода алгоритма слежения за Солнцем.

Для дистанционного отслеживания параметров и управления установкой, с возможностью выбора алгоритма слежения за Солнцем и управления нагрузкой, а также для экономии на элементах ввода-вывода информации и ресурсах микроконтроллера был создан сайт. Сайт написан на стандартных для веб-разработки современных языке разметки гипертекста HTML5, каскадных таблицах стилей CSS3, и языке программирования JavaScript (JS). Передача данных между сайтом и микроконтроллером (сервером) настроена по локальной сети посредством JS современными, мощными и безопасными сетевыми запросами Fetch API метода POST в формате JSON и динамической фоновой асинхронной подгрузкой контента без необходимости полной перезагрузки страницы AJAX.

На рис. 3 изображён разработанный сайт со связью с микроконтроллером, который отображает параметры установки в реальном времени, обновляя информацию по локальной сети Wi-Fi каждую секунду. При просмотре элементов слева направо и сверху вниз, в верхнем колонтитуле сайта («шапке», `<header>`) располагается логотип, название страницы, иконка, символизирующая поиск/подключение/ошибку сервера (микроконтроллера), кнопку смены темы оформления (тёмная/светлая) и кнопку смены алгоритма слежения за Солнцем. Ниже расположен блок погодных условий, получаемых с метео-датчика, левее находится таблица механических параметров, а именно углов по горизонтали (полярный (азимутальный) угол) и вертикали (угол

возвышения) механизма в целом, двигателей и Солнца (при алгоритме по фотодатчикам значения не отображается). Далее следует блок, который в полярной системе координат наглядно демонстрирует расположение солнечных панелей относительно направления на север  $[0^\circ, -359^\circ]$  и горизонтального положения  $[+45^\circ; -45^\circ]$ , а также имеется возможность перевести управление приводами в ручной режим, кликнув левой кнопкой мыши на координаты этого блока, после чего приводы расположат панели на углы, по которым был произведён клик мыши. Далее располагается таблица электрических параметров установки, которая показывает состояние (включено/выключено/ошибка/перегрузка/замыкание), напряжения, силы тока, мощности солнечных панелей и резервного питания (не подключен). После таблицы следует график зависимости напряжения от времени.

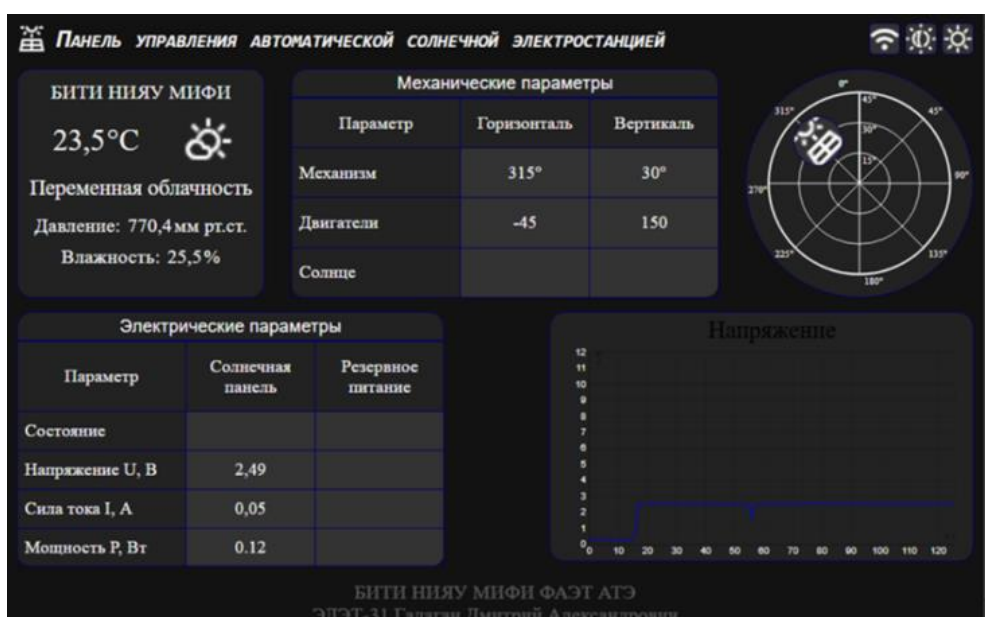


Рис. 3. Разработанный сайт со связью с трекером

В процессе проведения испытаний в домашних условиях, через пару итераций отладки и калибровки датчиков удалось добиться требуемой работы разработанного солнечного трекера. Он, как и предполагается по алгоритму слежения за Солнцем по фотодатчикам ориентирует солнечные панели перпендикулярно лучам настольной лампы (имитирующей Солнце) при изменении её местоположения. По астрономическому алгоритму солнечной позиции разработанный трекер ориентирует солнечные панели по углам расположения Солнца на небосводе (азимуту и возвышению), которые визуально совпадают с практическими.

Испытания разработанного макета двухосевого солнечного трекера в реальных условиях показали прирост производительности на 30 – 70 % относительно фиксированного расположения солнечных панелей, с учётом энергопотребления самого трекера при различных алгоритмах слежения за Солнцем.

Разработанный макет универсального автономного двухосевого солнечного трекера не имеет явных ограничений по углам поворотов осей, имеет высокую позиционную точность, осуществляет поворот достаточно быстро, а также адаптируется к суровым погодным условиям (ориентирует солнечные панели по направлению сильных ветров и интенсивных осадков в избежание ущерба конструкции), что позволяет использовать его в различной местности и климатических условиях. Данный трекер уже оснащён дополнительными функциями, такими как автоматическое резервирование источников питания нагрузки и самого трекера (переключение нагрузки и трекера на солнечные панели/резервное питание/аккумуляторы при недостаточной мощности и качестве его электроснабжения) и релейная защита от перегрузок и коротких замыканий (определяемые по датчикам напряжения и тока). Разработанный сайт позволяет дистанционно отслеживать параметры и управлять установкой, выбирая алгоритм слежения за Солнцем, в ручном режиме управлять углами поворота осевых приводов и управлять питанием нагрузки.

Более того, разработанный универсальный автономный двухосевой солнечный трекер гораздо дешевле коммерческих функциональных аналогов, и может быть ещё более удешевлённым при исключении некоторого функционала (алгоритма слежения по фотодатчикам, метеодатчика, резервирования питания нагрузки, датчика тока или напряжения). Тем не менее, при внесении некоторых изменений в конструкцию и замене солнечных панелей и проводов на более мощные, разработанный макет можно использовать как полноценную солнечную электростанцию большой мощности, которая также окажется существенно дешевле и зачастую лучше коммерческих аналогов.

#### Литература

1. Солнечная энергетика: учебное пособие для вузов / В.И. Виссарионов, Г. В. Дерюгина, В. А. Кузнецова, Н. К. Малинин. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2008. – 320 с.
2. ГОСТ Р 57229-2016. Системы фотоэлектрические. Устройства слежения за Солнцем. Технические условия. – М.: Стандарт-информ, 2016. – 64 с.
3. Сурдин, В. Г. Астрономия. Популярные лекции. / В. Г. Сурдин. – М.: Ли-тео, 2017. – 288 с.

### **Широтно-импульсная модуляция**

Галаган Дмитрий Александрович, студент направления

«Электроэнергетика и электротехника»;

Краснолудский Николай Викторович, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Атомная энергетика»

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

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

*Статья посвящена широтно-импульсной модуляции. Выявлена актуальность широтно-импульсной модуляции в современных технических устройствах. Перечислено применение широтно-импульсных модуляторов в современных технических устройствах. Рассмотрены основные понятия, принцип действия и устройство современных широтно-импульсных модуляторов, а также их дополнительные функции. Обосновано повышение КПД устройств на широтно-импульсной модуляции. Приведены технические характеристики современных широтно-импульсных модуляторов.*

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) позволяет эффективно и надёжно управлять электрической мощностью, напряжением или током, стабилизировать выходные электрические параметры, повысить эффективность работы электроприборов и коэффициент полезного действия (КПД) электрических преобразователей, снизить потери электроэнергии и уменьшив нагрев силовых электронных компонентов. ШИМ применяется в силовой импульсной электронике и электротехнике практически повсеместно, включая, но не ограничиваясь импульсными источниками питания, источниками бесперебойного питания (ИБП), компьютерными блоками питания, зарядными устройствами, сетевыми адаптерами, повышающими и понижающими преобразователями напряжения, инверторами, частотными преобразователями, драйверами для подсветки дисплеев и светодиодных лент, регуляторами скорости оборотов двигателей. В блоках питания и преобразователях напряжения ШИМ контроллеры позволяют стабилизировать выходные параметры напряжения или тока, существенно повысить КПД, значительно снизить массогабаритные показатели, осуществить защиту от перегрузок и коротких замыканий во вторичной цепи, а также повысить их надёжность и снизить зависимость выходных параметров от входных. Даже некоторые порты многих микроконтроллеров и процессоров снабжают ШИМ аппаратно или программно.

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ, англ. pulse-width modulation (PWM)) – это способ управления подачей мощности к нагрузке, изменением длительности практически прямоугольных импульсов при постоянной их частоте и амплитуде. Среднее значение напряжения, а соответственно тока и мощности увеличивается с увеличением длительности импульса (выражение которой в процентах относительно периода называется скважностью) при постоянном периоде и амплитуде импульсов (рис. 1). ШИМ как правило осуществляется на высокой частоте, но при необходимости пульсации напряжения можно сгладить электронными фильтрами. Основное преимущество ШИМ заключается в очень низких потерях мощности на коммутационных устройствах [1].

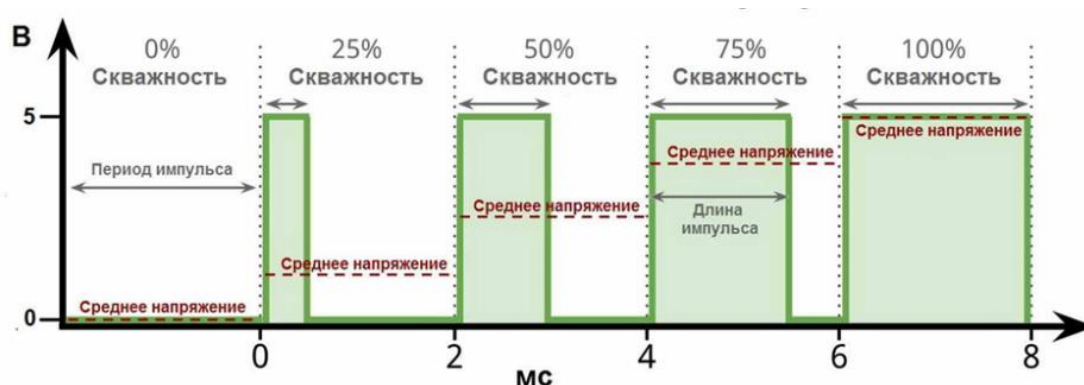


Рис. 1. График широтно-импульсной модуляции с возрастающей скважностью

Значительное повышение КПД управления подачей мощности к нагрузке происходит благодаря тому, что ШИМ контроллеры управляют коммутационными элементами, в качестве которых, как правило, применяются полевые или биполярные транзисторы, работающие в ключевом режиме. Поскольку в этом случае одну часть периода импульса транзистор полностью открыт, а другую – полностью закрыт, в переходных состояниях, длительность которых крайне мала (десятки наносекунд), средняя мощность потерь, выделяемая на ключе в виде тепла, оказывается незначительной по сравнению с коммутируемой им мощностью. Дело в том, что при полностью разомкнутом (закрытом) транзисторе его сопротивление крайне велико, следовательно, ток в силовой цепи, как и рассеиваемая мощность близка к нулю, а при полностью замкнутом (открытом) транзисторе его сопротивление крайне мало, следовательно, падение напряжения на транзисторе, как и рассеиваемая мощность близка к нулю. В переходных состояниях, когда транзистор открывается или закрывается, его сопротивление уменьшается или возрастает соответственно, следовательно, мгновенные и средние значения падения напряжения на транзисторе и тока в силовой цепи не близки к нулю, а значит и мощность, выделяемая на ключе в

виде тепла уже не минимальна, но переходный процесс длится очень быстро, благодаря чему средняя рассеиваемая мощность все же сравнительно мала. Следует подбирать силовой транзистор и ШИМ контроллер по характеристикам управляющего электрода (напряжения затвора полевого или тока базы биполярного) транзистора и выхода ШИМ контроллера таким образом, чтобы сигнал с ШИМ полностью открывал транзистор, либо использовать усиливающую сигнал обвязку, это позволит минимизировать потери мощности в виде тепла на силовом ключе. Современные ШИМ контроллеры обладают низким энергопотреблением, что также положительно сказывается на КПД управления нагрузкой. Линейный метод управления подачей мощности к потребителю посредством её регулирования переменной нагрузкой в виде резистора (потенциометра) или автотрансформатора, имеет очень низкий КПД (на регулируемой нагрузке теряется значительная часть мощности), существенные массогабаритные показатели, затруднение автоматизации процесса, реализации защит и стабилизации электрических параметров потребителя, а также требует принудительного охлаждения управляемой нагрузки.

Современные широтно-импульсные модуляторы разнообразны, работают в полностью автоматическом или автоматизированном режиме, позволяют реализовать регулирование и стабилизацию выходных электрических параметров напряжения, тока, мощности при изменении входных электрических параметров или сопротивления нагрузки, а также защиту нагрузки и силового ключа от перегрузок и коротких замыканий, скачков и бросков напряжения и тока (при реактивной нагрузке). Это реализуется встроенными или внешними источниками опорного напряжения (ИОН) или компараторами, сравнивающим выходные параметры с требуемыми, и в зависимости от результата сравнения, ШИМ контроллер увеличивает или уменьшает продолжительность импульсов, либо вообще отключает сигнал для защиты нагрузки или силового ключа. Типовой схемой управления или защиты служит резистивный делитель напряжения, который понижает выходное напряжение до требуемого, которое подается на ИОН или компаратор и сравнивается им с эталонным (опорным, требуемым). В этом случае, при простейшей реализации стабилизации напряжения, если выходное напряжение меньше или равно требуемому, ШИМ контроллер будет постепенно увеличивать продолжительность импульсов и соответственно повышать выходное напряжение, а когда выходное напряжение станет выше требуемого, ИОН или компаратор пошлёт сигнал ШИМ контроллеру (перейдёт на логическую единицу, откроется), который начнёт уменьшать продолжительность импульсов и соответственно уменьшать выходное напряжение, пока оно не станет меньше или



равно эталонному, после чего этот процесс будет очень быстро циклично повторяться, благодаря чему на выходе будет поддерживаться стабильное среднее напряжение. Для простейшей реализации стабилизации по току процесс аналогичен, только поддерживаться будет не выходное напряжение, а падение напряжения на подключенном последовательно нагрузке резисторе малого сопротивления, причем требуемое падение напряжения вычисляется по закону Ома для требуемого тока. Для защиты от перегрузки и короткого замыкания процесс аналогичен стабилизации по току, за тем исключением, что ШИМ контроллер реагирует только на превышение падения напряжения, и закрывает силовые ключи. Для ручной регулировки выходного напряжения (яркости подсветки светодиодов, оборотов двигателя постоянного тока) за требуемое берётся напряжение с резистивного делителя напряжения на потенциометре. Некоторые современные ШИМ контроллеры снабжены такими полезными особенностями управления, как плавный пуск, тактовая синхронизация, синхронное выпрямление, самозащита и другими [2].

Широтно-импульсная модуляция осуществляется в широком диапазоне частот, от нескольких до десятков и сотен тысяч колебаний в секунду (Гц). Частоту ШИМ контроллера обычно задаёт пилообразный сигнал частотодающей R-C-цепочки, представляющей собой параллельное соединение конденсатора и резистора, причём частота выходного сигнала зависит от их ёмкости и сопротивления соответственно [2].

К техническим характеристикам современных ШИМ контроллеров относится их тип (режим регулировки напряжения или тока), топологии преобразователей (обратноходовая, прямоходовая, мостовая, полумостовая, повышающая, понижающая, резонансная), количество выходов (однотактный, двухтактный), максимальные выходные напряжение и ток, диапазон частот переключения, рабочий цикл, диапазон напряжений питания, особенности управления (например, плавный пуск, регулировка частоты), возможность синхронного выпрямления и тактовой синхронизации, диапазон рабочих температур, тип корпуса (DIP-16, SO-16, DIP-8, SO-8), вес (пару грамм). Под топологией преобразователя подразумевается общий вид электрической схемы силовой части цепи преобразователя или блока питания, в которой будет использоваться подбираемый ШИМ-контроллер. Довольно широкий диапазон напряжений питания ШИМ контроллера положительно сказывается на надёжности устройства, в котором он применяется, особенно при скачках и нестабильности входного напряжения. Максимальные выходные напряжения и ток ШИМ играют роль при подборе коммутационного транзистора или усиливающей сигнал ШИМ обвязки, чтобы силовой ключ полностью открывался от сигнала ШИМ, но в некоторых случаях достаточно

слабая нагрузка может управляться напрямую с выхода ШИМ. Диапазон частот переключения и максимальный рабочий цикл также являются важными параметрами при подборе ШИМ контроллера. Для более подробных характеристик и определения разводки выводов (какой вывод какую функцию выполняет) необходимо обратиться к технической документации (datasheet) конкретного ШИМ контроллера. Наиболее распространёнными, доступными и дешёвыми ШИМ контроллерами являются импортные ШИМ UC3845, TL494, SG3525, а также часто используют как ШИМ популярный универсальный таймер NE555 (в связке с ИОН TL431) [3].

Широтно-импульсная модуляция обрела обширное применение, практически во всех современных электронных устройствах реализована и активно используется широтно-импульсная модуляция, будь то компьютеры, ноутбуки, смартфоны, блоки питания, зарядники, внешние аккумуляторы. Широтно-импульсные модуляторы или ШИМ контроллеры снабжаются всевозможными защитами по току и напряжению, плавным пуском и другими особенностями управления. ШИМ контроллеры управляют коммутационными транзисторами, регулируя подачу напряжения на нагрузку.

#### Литература

1. Полушин, П. А. Импульсные виды модуляции: учебное пособие / П. А. Полушин, А.Г. Самойлов, С. А. Самойлов. – Владимир: Владимирский государственный университет, 2004. – 91 с.
2. Бочаров, М. И. Формирование радиосигналов. Часть 1. Аналоговые виды модуляции: учебное пособие / М. И. Бочаров. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2010. – 117 с.
3. Алейник, А. С. Основы схемотехники приемопередающих электронных устройств / А. С. Алейник, Е. В. Востриков, С. А. Волковский [и др.]. – СПб.: Университет ИТМО, 2021. – 149 с.

**Оценка надежности системы подачи воды на форсунки компенсатора давления  
с помощью построения дерева отказов**

Глубокий Виталий Андреевич, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

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

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

*В данной статье проводится оценка надежности технологической системы подачи жидкости на форсунки компенсатора давления путем анализа неисправностей и построения дерева отказов, на основании которого составлена общая формула для расчета вероятности наступления нежелательного события.*

В современном мире, где технологические системы играют ключевую роль в обеспечении жизненно важных функций общества, вопрос об их надежности становится более актуальным и критическим, особенно при проектировании таких сложных объектов, как атомные электростанции, нарушение нормального функционирования которых может привести к опасному воздействию на персонал, окружающую среду и население, а не только к прекращению подачи электричества. Сложность и ответственность, связанные с функционированием атомных станций, подчеркивают необходимость тщательного анализа и оценки вероятности отказов, а также последствий возможных отклонений от нормального режима работы.

При оценке надежности технологических систем применяют различные методы оценки надежности, вероятности безотказной работы за определенный период времени, среднего времени наработки на отказ [2]. В данной статье будет рассмотрен метод построения дерева отказов для технологической системы подачи жидкости на форсунки компенсатора давления атомной станции с реактором ВВЭР-1000.

Система компенсации давления (КД), предназначенная для поддержания давления 160 атм. в первом контуре реакторной установки при работе на номинальной мощности. В процессе кампании происходят различные переходные процессы: маневрирование мощностью, пуск, останов, в результате которых происходит изменение температуры теплоносителя и, как следствие, изменение его плотности. При «охлаждении» происходит уменьшение давления, для предотвращения этого и

возвращения к требуемому значению в КД, есть несколько групп трубчатых электронагревателей, которые своим нагревом испаряют воду, тем самым увеличивая давление паровой подушки и давление в первом контуре. Для противоположного процесса, когда необходимо уменьшить давление, предусмотрена подача жидкости над паровой подушкой. Через специальные форсунки вода из холодной нитки 1 петли или от насосов системы продувки-подпитки разбрызгивается в надводное пространство КД, пар конденсируется, давление падает.

Так как система является сложной, для рассмотрения была выбрана подсистема подачи воды на форсунки КД (рис. 1).

В состав рассматриваемой системы входят [1]:

- 1) Компенсатор давления.
- 2) Часть общего трубопровода после клапанов подачи и регулирования (Z).
- 3) Главный циркуляционный насос 1 (ГЦН-1) (X).
- 4) Насосы системы продувки-подпитки (N).
- 5) Клапана подачи и регулирования на напоре насосов (A, B, C, D, F, G, O, M (обратный клапан, работает только по направлению от X к D)).

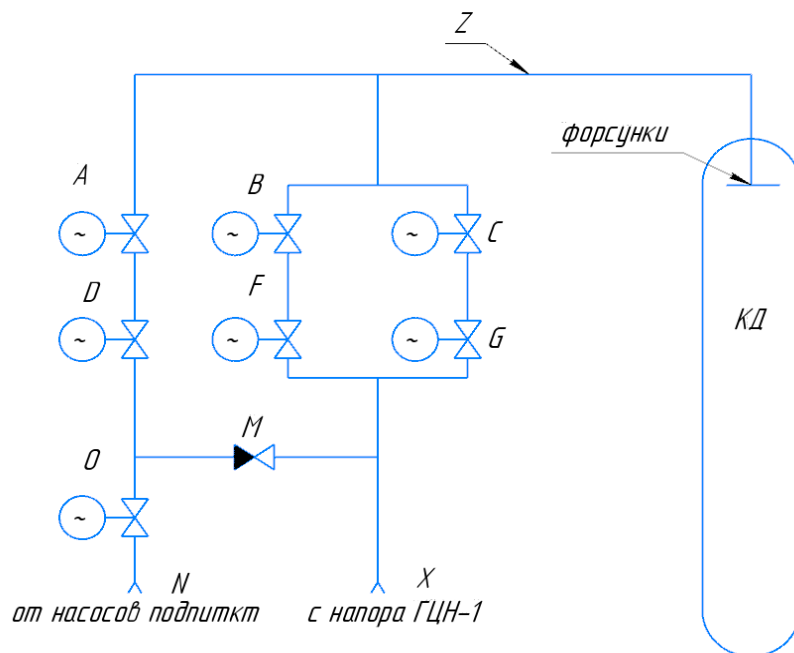


Рис. 1. Схема подачи воды на форсунки

По схеме подачи воды на форсунке был составлен список состояний, представленный в табл. 1, когда система будет находиться в неработоспособном состоянии при выходе из строя какой-то части системы или совокупности оборудования, такое сочетание называется минимально аварийным (МАС)[3].

Минимальные аварийные сочетания, приводящие к отказу системы

Z	X, N	N, F, G, M	N, B, G, M
	X, O	N, F, C, M	N, B, C, M
	X, D	N, F, G, D	N, B, G, D
	X, A	N, F, G, A	N, B, G, A
		N, F, C, D	N, B, C, D
		N, F, C, A	N, B, C, A

По табл. 1 было составлено дерево отказов (рис. 2), в котором корнем является событие – нарушения подачи воды на форсунки КД. Событие «Z» – разрыв трубопровода, «X» – отсутствие напора с ГЦН-1, «N» – отсутствие напора с насосов подпитки, «A», «B», «C», «D», «F», «G», «M», «O» – открытие соответствующего клапана невозможно.

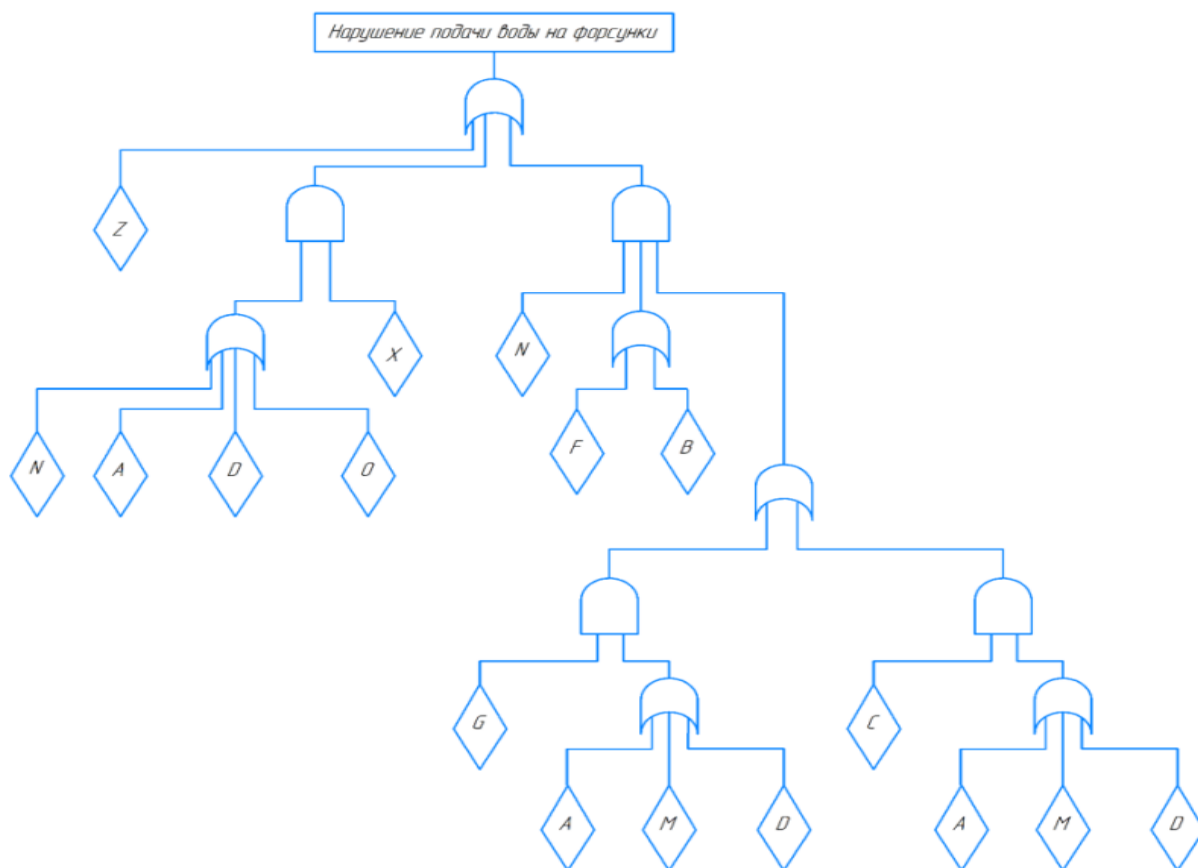


Рис. 2. Дерево отказов системы подачи воды на форсунки

На основании дерева событий выражение условия реализации данного несчастного случая примет вид:

$$\begin{aligned}
 P = & P(Z) + P(X)[P(A) + P(D) + P(O) + P(N)] + \\
 & + P(N)[P(F) + P(B)][P(G)[P(A) + P(M) + P(D)] + P(C)[P(A) + P(M) + P(D)]] \quad (1)
 \end{aligned}$$

где  $P(i)$  – вероятность наступления соответствующего события.

В результате анализа системы подачи воды на форсунки в компенсатор давления, составлено дерево отказов, которое дает визуальное представление последовательности и сочетания отказов оборудования, которое может привести к отказу системы, а также составили общую формулу для нахождения вероятности реализации данного нежелательного события. По формуле (1) можно провести проектировочный расчет и анализ риска возникновения отказа оборудования в системе.

#### Литература

1. Министерство Российской Федерации по атомной энергии. Концерн «Росэнергоатом». Балаковская Атомная Электростанция. Центр подготовки персонала. Технологические системы реакторного отделения, 2000 – 348с.
2. Острейковский, В. А. Теория надежности: учебник для вузов / В. А. Острейковский. – М.: Высш. школа, 2008. – 463 с.
3. Шишмарев, В. Ю. Надежность технических систем: учебник для вузов / В. Ю. Шишмарев. – М.: Академия, 2010. – 303 с.

УДК 681.53

#### **Модель системы автоматического регулирования перепада давления конденсата на уплотнениях турбопитательного насоса**

Глубокий Виталий Андреевич, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

Кудашева Ирина Олеговна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Атомная энергетика»;

Тарасова Алена Ивановна, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

Костин Дмитрий Александрович, 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

*Авторами статьи рассматривается процесс построения и исследования имитационной модели системы автоматического регулирования перепада давления*

*конденсата на уплотнениях турбопитательного насоса на АЭС с реактором ВВЭР-1000. Описывается необходимость регулирования перепада давления, принципиальная схема и модели системы, разработанные в программной среде SimInTech. Также представлена реализация алгоритма автоматического поиска коэффициентов пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора (ПИД-регулятора) перепада давления конденсата при помощи блока «Оптимизатор».*

На всех тепловых и электрических станциях ТЭС, АЭС применяется различное насосное оборудование, работающее под давлением. Для предотвращения протечек через вращающиеся элементы, для насосов – это вал, необходимо применять различные способы герметизации, одним из таких способов является уплотнение с подачей запирающей жидкости. Так как оборудование работает в различных переходных режимах, величину перепада давления необходимо рассчитывать. Наиболее удобным способом осуществления расчета является построение математических моделей. SimInTech является развивающейся и набирающей популярность программой для моделирования, как раз подходящей для задачи рассматриваемой в данной статье.

Турбопитательный насос (ТПН) предназначен для подачи питательной воды из деаэраторов-7-ата через систему трубопроводов питательной воды в парогенераторы в режиме нормальной эксплуатации энергоблока. Два ТПН обеспечивают номинальную нагрузку энергоблока. ТПН состоит из конденсационной приводной турбины К-12-10ПА, главного питательного насоса ПТА 3750-75 и предвключенного (бустерного) питательного насоса ПТА 3800-20 с понижающим редуктором Р-2М. Оба насоса образуют единый агрегат и приводятся в действие одной турбиной: бустерный – с одного конца вала через понижающий редуктор, питательный – с другого конца вала напрямую. Так как давление перекачиваемой жидкости в насосах ТПН велико, а крутящий момент на лопасти насоса передается через вал, его необходимо уплотнить, для этого существует специальная система.

Система водяного уплотнения валов питательного и бустерного насосов служит для исключения попадания питательной воды в корпуса подшипников насосов и далее в маслосистему, а также выхода питательной воды в помещение машинного зала. Для этого в конструкции насосов предусмотрены концевые уплотнения, в камеры которых подается запирающая вода [3].

Уплотняющая вода может поступать от одной из двух систем:

- 1) основного конденсата RM – с напора конденсатных насосов второй ступени;
- 2) химически обессоленной воды UA – с напора насоса подпитки деаэратора.

Химически обессоленная вода используется в качестве уплотняющей, только в случае, когда линия основного конденсата неработоспособна.

Для поддержания заданных значений перепада давления на уплотнении ТПН-1,2 используется система автоматического регулирования (САР). Регулирование осуществляется посредством воздействия на регулирующие клапаны (РК) 3,4RF21(22)S02.

Уставка регулятора 3,4RF21(22)C02 формируется в момент включения в режим автоматического управления присвоением текущего значения перепада давления на уплотнениях ТПН-1,2 и ограничивается диапазоном 0,35...0,5 кгс/см<sup>2</sup>.

В состав САР перепада давления на уплотнениях ТПН-1,2 входят:

- 1) регулятор 3,4RF21(22)C02;
- 2) регулирующий клапан 3,4RF21(22)S02.

Принципиальная схема САР перепада давления на уплотнениях ТПН1(2) приведена на рис. 1[3].

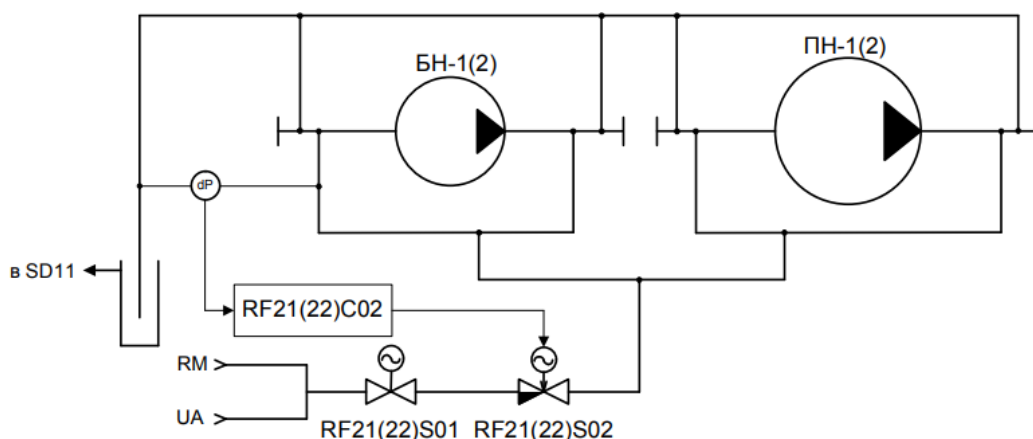


Рис. 1. Функциональная схема САР перепада давления на уплотнениях ТПН-1(2)

Регулятор поддерживает равным нулю рассогласование:

$$\varepsilon = \alpha_1 \Delta P_{зад} - \alpha_1 \Delta P_{тек},$$

где  $\varepsilon$  – рассогласование регулятора 3,4RF21(22)C02;  $P_{тек}$  – текущий перепад давления между давлением уплотняющей воды и давлением воды в линии слива с уплотнений, определяемое по показаниям датчика;  $P_{зад}$  – заданное значение регулятора 3,4RF21(22)C02;  $\alpha_1$  – коэффициент масштабирования.

Принципиальная схема САР на основе функциональной для одного из уплотнений ПН представлена на рис. 2.



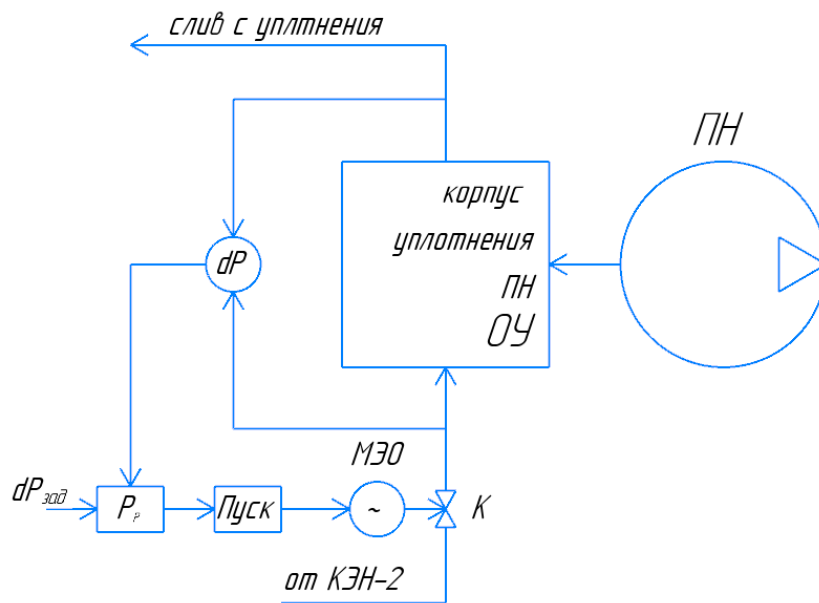


Рис. 2. Принципиальная схема САР перепада давления конденсата на одном из уплотнений подкачивающего насоса (ПН):

$dP$  – датчик перепада давления;  $P_p$  – регулятор перепада давления; Пуск – реверсивный пускатель; МЭО – механизм электрический однооборотный; К – клапан; ОУ – объект управления; ПН – питательный насос

Основной задачей, ставящейся при синтезе САР, является выбор закона регулирования для регулятора (Р). Он подбирается в зависимости от известных передаточных функций остальных элементов системы. Этот закон регулирования обеспечит необходимые статические и динамические свойства замкнутой системы [1]. Процесс подбора закона регулирования может быть осуществлен путем применения типовых инженерных методик или же использованием возможности программных сред имитационного моделирования. В данном случае была использована среда моделирования SimInTech [2]. На основе принципиальной схемы был разработан вариант имитационной модели САР перепада давления (рис. 3). При проведении исследований были приняты следующие условия:  $dP_{зад} = 0,5 \text{ кгс/см}^2$ ,  $dP_{нач} = 0,35 \text{ кгс/см}^2$ . Для регулятора использован ПИД закон регулирования.

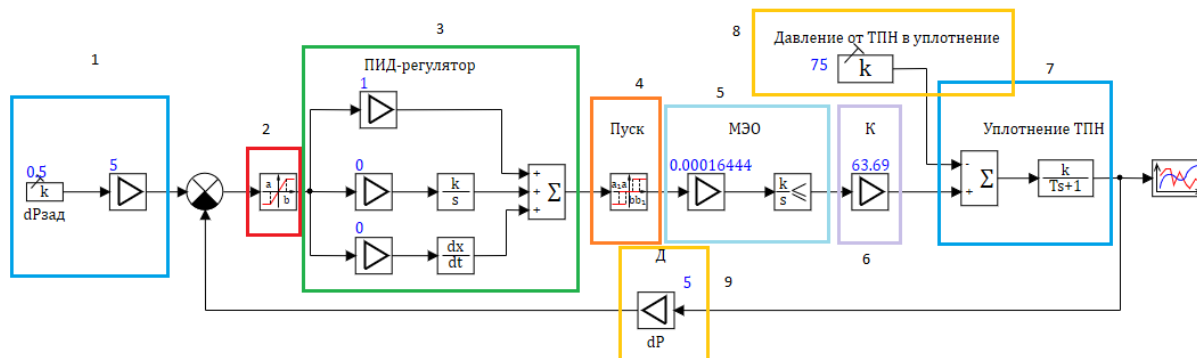


Рис. 3. Структурная схема САР перепада давления на уплотнении ТПН в среде моделирования SimInTech: 1 – задание нужного перепада давления на уплотнении; 2 – уставка допустимого отклонения  $0,1 \text{ кгс/см}^2$ ; 3 – ПИД-регулятор; 4 – пускатель; 5 – МЭО; 6 – клапан; 7 – уплотнение ТПН(ОУ); 8 – внешнее воздействие в виде давления питательной воды от ТПН в уплотнение; 9 – датчик перепада давления

На рис. 4 представлены графики переходных процессов данной системы, полученные при различных значениях ПИД-регулятора в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Параметры ПИД-регулятора

Тип регулятора	Коэффициенты ПИД-регулятора		
	$k_p$	$k_i$	$k_d$
Без регулятора(а)	1	0	0
Методом подбора(б)	1	0.1	5
Методом подбора с $k_i$ (в)	1	0	5
Автоматический оптимизатор ПИД-регулятора(г)	10	0	49

Исходная система без регулятора приходит к установившемуся значению через 100с, при этом есть погрешность регулирования от заданной величины. Величина отклонения составляет  $0,5 - 0,47 = 0,03$ . Так же в системе есть перерегулирование 0,23. Для нормальной работы системы необходимо устранить перерегулирование, скорректировать быстродействие в соответствии с работой реальной системы. Используя инженерную методику Циглера-Никольса, получили параметры ПИД-регулятора, с которым переходный процесс (рис. 4б) является неустойчивым-расходящимся, что является не допустимым для системы. Путем перебора, установили, что параметр  $k_i$  вносит сильное воздействие на отклонение системы, поэтому значение приняли равным нулю  $k_i = 0$ .

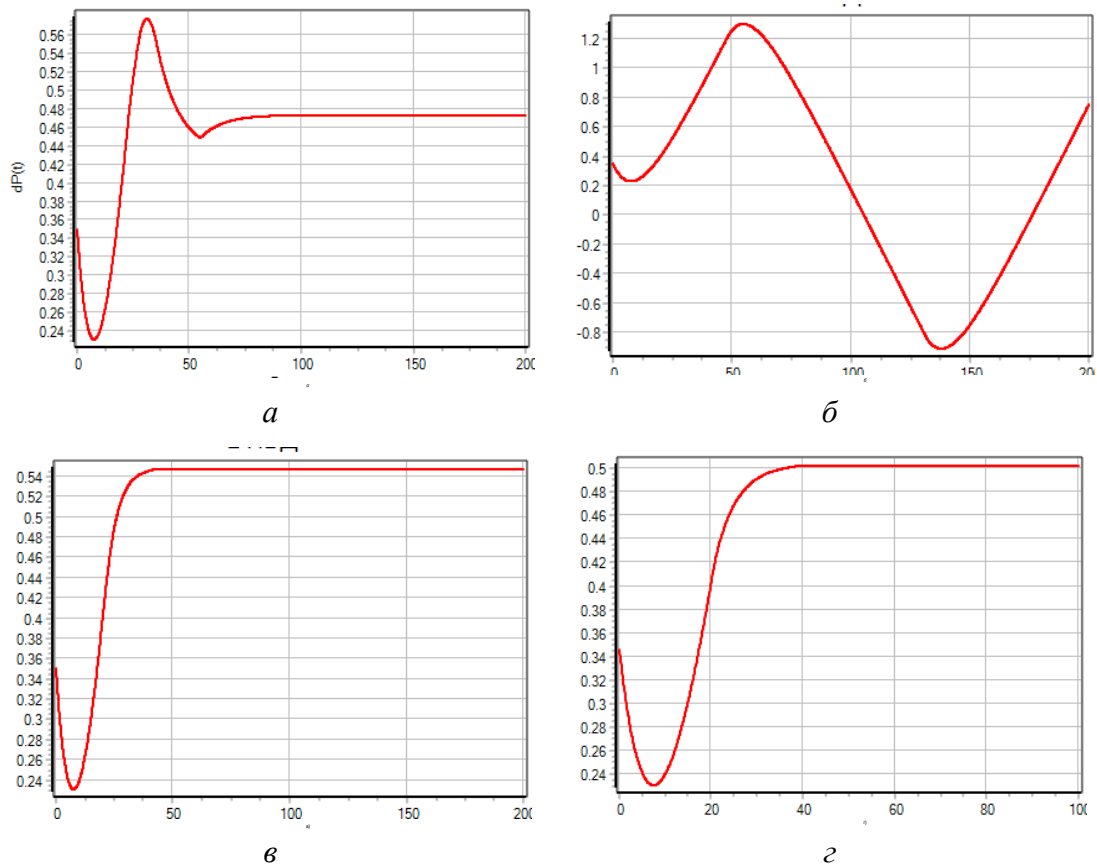


Рис. 4. Графики переходного процесса САР уровня:  
 а – без регулятора; б – с регулятором, методом Циглера-Никольса;  
 в – методом (б) без  $k_i$ ; г – подбор коэффициентов оптимизатором

Для осуществления автоматического подбора коэффициентов ПИД-регулятора при помощи встроенного блока «Оптимизатора» была добавлена субмодель, предназначенная для определения критериев оптимизации (время регулирования и максимальное значение уровня) (рис. 5) [2].

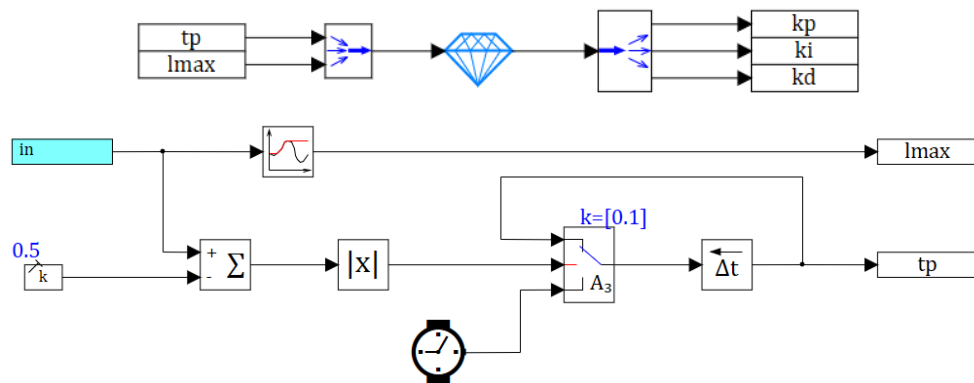


Рис. 5. Модели блока «Оптимизатор» и субмодель критериев оптимизации

Определенные таким способом параметры ПИД-регулятора представлены в табл. 1, а соответствующий график – на рис. 4в. Переходный процесс с коэффициентами, подобранными с помощью оптимизатора, позволяет убрать перерегулирование и снизить время регулирования, в сравнении с исходной системой с

100 с до 40 с, так же увеличена точность регулирования. Из-за особенностей системы переходные процессы на рис. 4 (в, г) не сильно отличаются.

Таким образом, показано, что различные методы определения параметров регулятора приводят к разным результатам в каждом конкретном случае, но стоит отметить, что использование имитационных программных моделей ускоряет процесс синтеза САР во всех способах, а применение среды моделирования SimInTech позволяет ускорить процесс построения модели, графически представить переходные процессы, ускорить процесс расчета и автоматизировать подбор оптимальных коэффициентов в зависимости от задачи.

#### Литература

1. Атрошенко, Ю. К. Автоматизированные системы управления АЭС: учебное пособие / Ю. К. Атрошенко, Е. В. Иванова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 81 с.
2. Герман-Галкин, С. Г. Модельное проектирование электромеханических мехатронных модулей движения в среде SimInTech / С. Г. Герман-Галкин, Б. А. Карташов, С. Н. Литвинов. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 494 с.
3. Сборник пособий для персонала турбинных цехов Балаковской АЭС. Книга 7. Турбопитательный насосный агрегат. Пособие 36 «Вспомогательные системы ТПН»: учебно-методический материал, 2017. – 261 с.

УДК 004.896

#### **Сравнение ПИД- и нейронного регулирования в технологических системах**

Глубокий Виталий Андреевич, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

Кудашева Ирина Олеговна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Атомная энергетика»;

Шалаев Владимир Дмитриевич, 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 данной статье описывается метод концептуального модельного управления объекта регулирования с помощью ПИД-регулятора и регулятора нейронной сети. В*

ходе работы были получены зависимости, которые позволяют оценить качество процесса и сравнить переходные характеристики модели с ПИД-регулятором и регулятором, основанным на применении нейронной сети.

В теории автоматического управления рассматриваются различные динамические системы автоматизации переходных процессов, которые представляют собой совокупность методов управления. Существуют два метода управления: широко распространённый метод с ПИД законом регулирования и метод, основанный на применении нейронных сетей. Традиционные системы управления технологическими процессами используют как линейные динамические модели. Для систем с высокой степенью нелинейности можно ожидать, что методы управления, непосредственно основанные на нелинейных моделях, обеспечат лучшую производительность.

Типовой ПИД-закон регулирования представлен в виде функции:

$$W_{\text{пид}}(p) = k_p + \frac{k_{\text{и}}}{p} + k_{\text{д}} \cdot p, \quad (1)$$

где  $k_p$ ,  $k_{\text{и}}$ ,  $k_{\text{д}}$  – коэффициенты пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющей соответственно, которые подбираются для установления требуемых параметров переходного процесса. Элемент ПИД-регулятора входит в систему с глубокой обратной связью и посредством моделирования, система, изображённая на рис. 1, регулируется за несколько итераций [3].

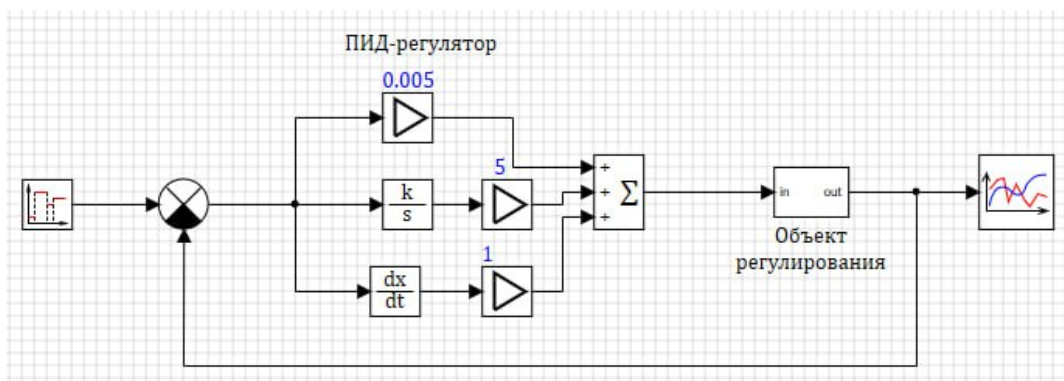


Рис. 1. Система автоматического регулирования с ПИД-регулятором

Нейросетевая модель прогнозирующего управления (НМПУ) является методом применения нейронных сетей для нелинейного управления. Когда нейронная сеть сочетается с подходом МПУ, она используется в качестве модели прямого процесса для прогнозирования выходных данных процесса. Нейронная сеть используется для смягчения трудностей моделирования, возникающих при работе с объектом регулирования, и для прогнозирования его поведения. Параметры предсказательного алгоритма определяются с помощью алгоритма оптимизации. Прогнозирующее управление нейронными сетями — это прямое применение нейронных сетей для

нелинейного управления. Она представляет собой комбинацию основных функций нейронной сети (НС) с модельным прогнозирующим управлением (МПУ).

В нашем случае используется прогнозирующая нейросетевая модель на основе данных. Нейронные сети все чаще используются в химической промышленности, особенно для моделирования и управления некоторыми сложными нелинейными процессами, где понимание процессов ограничено [4].

На рис. 2 представлена нейронная сеть (НС) в виде аппроксимируемой функции. Данная модель успешно применяется в идентификации и управлении динамическими системами. Неизвестная функция соответствует управляемому объекту, а нейронная сеть – идентифицированной модели объекта.

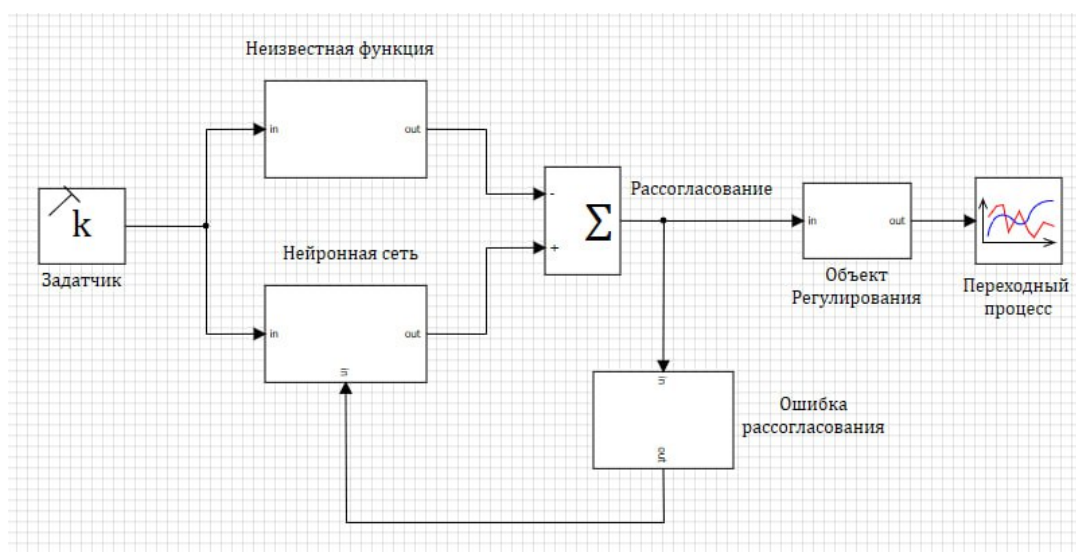


Рис. 2. Модель нейронной сети

Разница между выходными данными станции и нейронной сетью представляет собой ошибку рассогласования, которая используется в качестве обучающего сигнала НС. НС использует предыдущие входы/выходы для прогнозирования будущих значений.

Опираясь на алгоритм Левенберга-Марквардта [1], находим минимум функции, который выражается как сумма квадратов нелинейных функций. НС можно обучать в автономном режиме в пакетном режиме, используя данные, собранные в процессе работы.

В качестве объекта регулирования в этой статье был выбран бак с перемешиванием реагентов, в котором регулируется показатель кислотности рН. Сложность управления процессами рН заключается в нелинейной динамике и неопределенности параметров таких процессов.

Бак имеет два входных непрерывно проточных потока (основной и кислотный), и эта непрерывность процесса придает титрованию особую тему, в которой

задействована динамика титруемых потоков. Исходя из литературных источников по моделированию и динамике [2], выводится следующее уравнение:

$$pH = \log_{10} \left[ \frac{\left[ -\left( kQ_a C_a / (Q_a + Q_b) - Q_b C_b / (Q_a + Q_b) \right) + \sqrt{\left( kQ_a C_a / (Q_a + Q_b) - Q_b C_b / (Q_a + Q_b) \right)^2 - 4 \cdot 10^{-14} \cdot (-1)} \right]}{2 \cdot 10^{-14}} \right] \quad (2)$$

где  $C_a$  – значения концентрации для кислотного и  $C_b$  – основного потоков соответственно;  $Q_a$  и – их объемные скорости потока, соответственно, и  $Q_b$  – константа, зависящая от прочности кислоты, поступающей в реактор ( $k = 1$ , для системы сильная кислота – сильное основание).

На рис. 3 представлена кривая титрования, которая наглядно показывает зависимость между значением pH на выходе процесса и расходом основания на выходе управления  $Q_b$ .

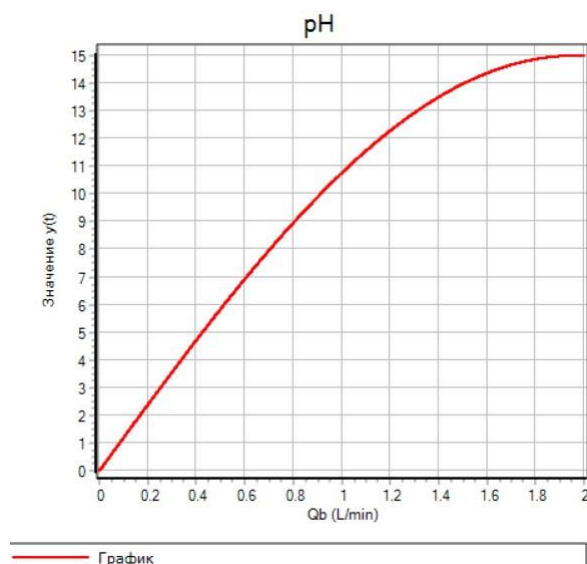


Рис. 3. Кривая титрования

В ходе процесса моделирования системы с использованием технологии нейросетевого прогнозирования получен выходной сигнал системы, который демонстрирует практически точное соответствие с выходом регулируемого объекта, изображенные на рис. 4. Как видно с каждой итерацией настройки нейросети, рассогласование уменьшается практически до 0.

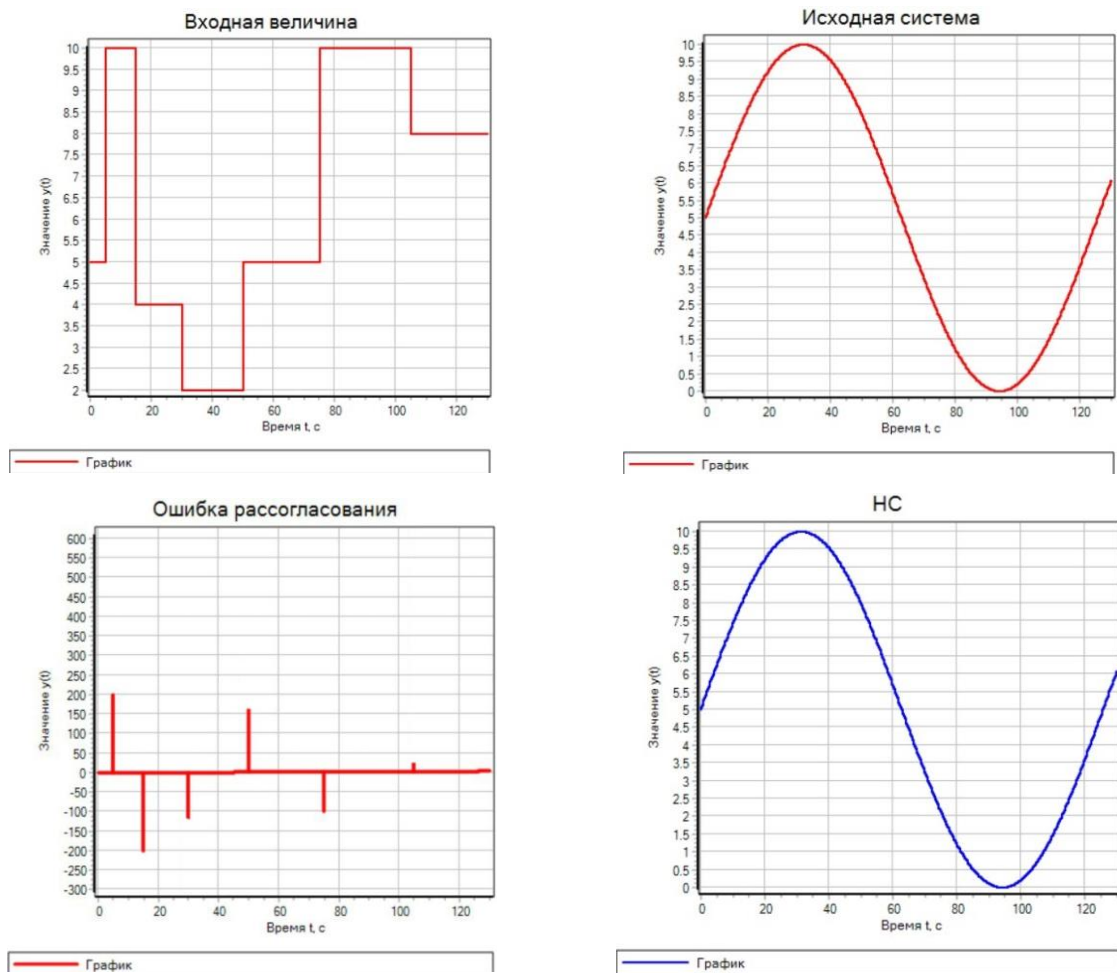


Рис. 4. Переходные процессы нейронной сети

В дальнейшем проведено сравнение переходного процесса системы нейросетевым методом с ПИД-регулятором, представленный на рис. 5.

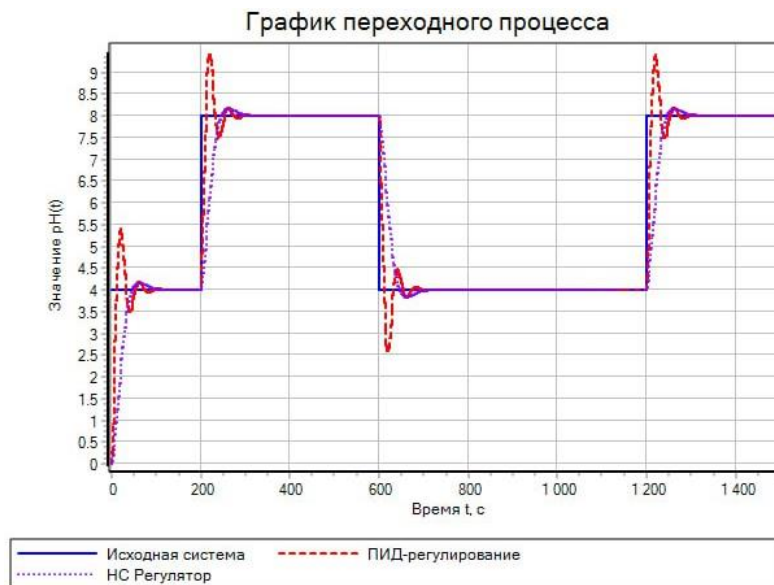


Рис. 5. Сравнение ПИД- и НС – регуляторов

В результате проведённой работы было установлено, что с использованием регулятора нейронной сети точность регулирования приближена к методу с ПИД-



регулируемым, но качественный процесс является оптимальным. Таким образом, данный метод может быть внедрен в промышленности для обеспечения более точного управления процессами.

#### Литература

1. Гилл, Ф. Практическая оптимизация / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт. – М.: Мир, 1985. – 509 с.
2. Разработка адаптивной системы управления на основе нечеткости с использованием генетического алгоритма в процессе титрования pH / И. Аль-Адван, М. Аль-Хавалда, С. Асад, А. Аль-Равашдех // Международный журнал исследований и обзоров в области прикладных наук. – 2013. – № 2. – Т. 17.
3. Коновалов, Б. И. Теория автоматического управления / Б. И. Коновалов, Ю. М. Лебедев. – М.: Лань, 2010. – 218 с.
4. Елисеев, В. Л. Метод нейросетевого оптимального управления / В. Л. Елисеев, С. Л. Зенкевич // Труды IX Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности». – СПб. – 2016. – Т. 5. – С. 251-256.

УДК: 697.1, 697.3, 697.9

#### **Интегрированный климат-контроль в многоэтажных жилых домах: эффективность и энергосбережение**

Губарева Юлиана Владимировна, студент направления «Строительство»;

Перегудов Николай Евгеньевич, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Транспортные средства и техносферная безопасность»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования «Липецкий государственный технический университет»,

г. Липецк

*Изменение климата и неэффективное использование энергии ставят перед проектировщиками многоэтажных жилых домов в России существенные задачи в области эксплуатации зданий и комфортного проживания в них. Оптимальное решение этих задач требует пересмотра традиционных систем климат-контроля и внедрения инновационных подходов, направленных на интеграцию и оптимизацию всей системы. В статье представлен анализ существующих систем с указанием их*

*ограничений и описана концепция единой системы управления, способной обеспечить более эффективное и устойчивое функционирование жилых комплексов.*

Современные вызовы, диктуемые изменением климата, требуют пересмотра подходов к управлению энергопотреблением на различных объектах техносферы. Жилые многоэтажные дома в данном контексте вызывают особый интерес, представляя собой «пункты» значительного потребления энергии и подходящую территорию для внедрения инновационных технологий. Существующие системы климат-контроля (отопление, вентиляция, кондиционирование) имеют свои ограничения, которые приводят к нерациональному использованию ресурсов.

Современные здания оснащены различными типами устройств жизнеобеспечения, в зависимости от климатических условий и доступности ресурсов, но проблема неэффективного использования систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха в многоэтажных домах России остается актуальной.

В отопительных системах встречаются как центральные котельные, обеспечивающие весь дом, так и индивидуальные отопительные устройства в каждой квартире. Оценка качества предоставляемых услуг населению показывает, что централизованные системы часто являются причиной неравномерности распределения тепла, особенно в крупных зданиях [1].

Вентиляция в многоэтажных домах также имеет свои особенности. Многие здания оснащены естественной вентиляцией, однако этого воздуха не всегда хватает жителям, особенно в холодный период года. Многие системы вентиляции требуют обновления для повышения уровня комфорта в квартирах и обеспечения проживающих необходимым количеством кислорода для нормальной жизнедеятельности.

Базовое применяемое кондиционирование в России также заслуживает внимание. В некоторых регионах, особенно в южных, где лето может быть достаточно жарким, применяются встраиваемые системы кондиционирования воздуха [2]. Однако, их распространение и использование ограничены финансовыми и техническими показателями.

В целом, оценка различных типов систем отопления, вентиляции и кондиционирования в многоэтажных домах России показывает необходимость внедрения современных технологий и инноваций для повышения качества жизни, снижения потребления энергии и создания комфортного внутреннего климата для жильцов.

При анализе среднестатистического дома выделяются стандартные проблемы, среди которых значительное внимание уделяется неравномерному распределению

тепла. Эта проблема особенно заметна при использовании централизованной системы отопления в многоквартирных домах, где часто возникают трудности с обеспечением равномерного теплоснабжения всех помещений.

Избыточное потребление энергии также является серьезным недостатком многоквартирных домов. Недостаточная эффективность систем отопления и теплоизоляции приводит к излишнему расходу энергии, что, в свою очередь, влечет за собой повышенные эксплуатационные расходы и негативное воздействие на окружающую среду.

Нерациональное использование энергии в зданиях также связано с несовершенством технологий и устаревшими инженерными решениями. Системы отопления и вентиляции могут быть улучшены благодаря применению современных технологий и интегрированного управления, которые позволяют более точно регулировать температуру в каждом помещении, что приведет к более эффективной и экологически безопасной эксплуатации жилых комплексов.

Введение единой системы управления микроклиматом многоквартирных домов в России позволит интегрировать управление отоплением, вентиляцией и кондиционированием в единый комплекс, что неизбежно приведет к снижению избыточного потребления энергии и повышению общей эффективности эксплуатации зданий.

Энергоэффективность становится ключевым аспектом с точки зрения уменьшения эксплуатационных затрат для жильцов и общего энергопотребления здания.

Применение единой системы управления системами жизнеобеспечения также обеспечит более равномерное распределение тепла в здании, устраняя проблемы с холодными и горячими зонами. С учетом климатических особенностей России централизованное управление позволит более эффективно реагировать на изменения температуры в разные сезоны.

Рассматриваемые системы определенно содействуют экологической устойчивости, уменьшая воздействие на окружающую среду – обобщенное управление позволяет оптимально использовать ресурсы, что приводит к снижению энергопотребления и, следовательно, к сокращению вредных выбросов. Это имеет важное значение в контексте глобальных усилий по сдерживанию глобального потепления [3].

Кроме того, возможность удаленного мониторинга и управления системой позволяет оперативно реагировать на изменения, устранять неисправности и

поддерживать оптимальные условия без необходимости постоянного вмешательства со стороны жильцов. Это, в свою очередь, снижает затраты на техническое обслуживание и увеличивает надежность работы систем.

Обзор современных технологий для интегрированного климат-контроля открывает широкий спектр технических решений. Одной из ключевых тенденций является использование системы «умный дом», где различные устройства и компоненты связаны в единую сеть с возможностью централизованно управлять всеми аспектами климат-контроля. Использование энергоэффективного оборудования, например, инверторных тепловых насосов и кондиционеров с высоким КПД, также является важной составляющей модернизации систем климат-контроля многоэтажных домов.

При поиске наиболее эффективной для внедрения системы климат-контроля – применение искусственного интеллекта (ИИ) и сенсоров становится ключевым фактором. Искусственный интеллект применяется для анализа данных о потреблении энергии, предсказания погодных условий и оптимизации регулярно выполняемых задач, в том или ином помещении, что позволяет системе адаптироваться и оптимизировать работу в режиме реального времени. Сенсоры (температурные датчики, датчики движения и качества воздуха) обеспечивают точные данные для регулировки параметров климата в каждом помещении.

Примеры успешной реализации интегрированных систем климат-контроля можно наблюдать в различных странах мира. Например, в жилых комплексах японских городов успешно внедрены системы управления энергопотреблением, основанные на технологиях ИИ и применении сенсоров. Европейские страны также активно используют инновационные решения для управления климатом в многоэтажных зданиях, отвечающие вызовам современной городской жизни.

В России вопросы проектирования и реализации систем климат-контроля для многоэтажных домов требуют тщательной проработки, обязательного учета климатических и экологических особенностей страны. Рассмотрим три ключевых аспекта эффективного использования систем климат-контроля в многоэтажных домах:

- 1) Системная интеграция: проектирование должно стремиться к созданию единой системы, объединяющей отопление, вентиляцию и кондиционирование в одну управляемую сущность. Это позволяет снизить избыточное потребление энергии и повысить общую эффективность системы.

2) Адаптивность: проектирование должно предусматривать адаптивность к изменяющимся условиям, таким как изменения в климате и паттернах использования помещений.

3) Энергоэффективность: проектирование должно стремиться к минимизации потребления энергии, включая использование инновационных материалов, оборудования с высокой эффективностью и систем управления энергопотреблением.

Для внедрения интегрированной системы в существующих (вторичный рынок) и новых многоэтажных домах необходимо на основе результатов аудита разработать серию проектов, учитывающих особенности каждого конкретного здания. Проект должен включать в себя выбор оптимальных технологий, расчет энергетической эффективности и разработку схемы управления.

Непосредственно внедрение систем климат-контроля следует осуществлять поэтапно, начиная с пилотных проектов и распространяя опыт на другие схожие по конструкции и местоположению дома. Интегрированная система должна быть включена в конструкцию новых зданий и реализована на стадии строительства жилого комплекса.

Внедрение интегрированных систем климат-контроля предполагает начальные затраты на приобретение и установку необходимого оборудования, включая сенсоры, системы управления и энергоэффективные устройства. Однако, благодаря оптимизации потребления энергии, сокращению затрат на обслуживание и долгосрочной устойчивости подобных систем, на этапе эксплуатации достигается значительный экономический эффект [3]. Анализ затрат и выгод долгосрочного владения свидетельствует о привлекательности интегрированных систем с экономической точки зрения.

Новые технологии в многоэтажных домах соответствуют современным стандартам комфорта и безопасности, что также повышает привлекательность недвижимости на рынке. Спрос на жилье с интегрированными системами управления климатом стимулирует развитие рынка «умных» домов. Это особенно важно в контексте развития «умных» городов, где подобные инновации являются ключевыми в вопросах сокращения общего энергопотребления.

Таким образом, внедрение интегрированных систем климат-контроля не только содействует эффективному использованию энергии и снижению затрат на обслуживание в многоэтажных домах, но и является важным шагом в направлении формирования «умных» и устойчивых городов, способных эффективно адаптироваться

к вызовам будущего и обеспечивать высокий уровень комфорта для жителей нашей страны.

#### Литература

1. Закон Российской Федерации «Федеральный закон «О теплоснабжении»» от 27.07.2010 (ред. от 01.05.2022) № 190-ФЗ [сайт]. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_102975/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_102975/) (дата обращения: 14.12.2023). – Текст: электронный.

2. Коченков, Н. В. Энергоэффективное функционирование систем кондиционирования и отопления для встроенного помещения / Н. В. Коченков, А. А. Мотрев, В. Н. Коченков // Вестник Международной академии холода. – 2016. – № 4. – С. 47-52.

3. Ермолаев, Г. Ю. Особенности современного подхода к автоматизации климата зданий и сооружений / Г. Ю. Ермолаев // «ИСУП». – 2009. – № 4. – С. 24.

УДК 681.5:004.4'22:004.4'242

#### **Анализ программных сред для проектирования и тестирования систем автоматического управления мобильных роботов**

Гуляев Станислав Сергеевич, аспирант;

Петров Дмитрий Юрьевич, кандидат технических наук, доцент

Институт проблем точной механики и управления – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр

Российской академии наук», г. Саратов

*Рассмотрены основные проблемы, с которыми сталкиваются разработчики систем автоматического управления для мобильных роботов. Решение этих проблем будет способствовать развитию робототехники и расширению возможностей мобильных роботов. Рассматриваются различные программные средства для проектирования и тестирования систем автоматического управления мобильными роботами. Описываются такие программные продукты, как Esterel SCADe, SimInTech, IBM Rhapsody, MATLAB/Simulink, LabVIEW, Scilab, и их возможности в области моделирования и симуляции систем автоматического управления.*

В современном мире робототехника является одной из самых быстро развивающихся отраслей науки и техники [1]. Мобильные роботы, способные самостоятельно перемещаться в пространстве и выполнять различные задачи, занимают

особое место среди других видов роботов. Одним из основных компонентов мобильного робота является система автоматического управления (САУ), отвечающая за его движение и выполнение поставленных задач.

Разработка САУ для мобильных роботов сталкивается с рядом проблем, которые необходимо учитывать при проектировании и создании таких систем. Рассмотрим основные проблемы разработки САУ для мобильных роботов:

1. Увеличение числа строк кода. Разработка САУ становится все более сложной задачей из-за увеличения числа строк кода. Это связано с ростом функциональности и сложности современных систем, а также с появлением новых технологий и стандартов.

2. Сложность окружающей среды. Мобильные роботы работают в сложных условиях, где окружающая среда может изменяться и быть непредсказуемой. Это включает в себя различные типы поверхностей, препятствия, изменение освещения и другие факторы. Для успешной работы в таких условиях необходимо разработать САУ, способную адаптироваться к изменениям и определять наиболее оптимальный маршрут движения.

3. Ограниченность ресурсов. Мобильные роботы обычно имеют ограниченные ресурсы, такие как заряд батареи, вычислительные мощности и масса. Это ограничивает возможности использования сложных алгоритмов управления и делает разработку САУ более сложной задачей. Необходимо разрабатывать алгоритмы управления, которые будут максимально эффективными при минимальных затратах ресурсов.

В связи с этим, необходимо использовать эффективные методы и подходы, которые помогут создавать надежные и качественные системы управления. Одним из таких подходов является V-образная модель разработки [2]. V-образная модель является одним из методов проектирования и разработки систем управления, который основан на принципе разделения задач на этапы и итерации. Особенностью V-образной модели является ее гибкость и возможность адаптации к различным требованиям и условиям разработки. Это позволяет учесть различные аспекты, такие как изменение требований, смена команды разработчиков или внедрение новых технологий.

Один из главных недостатков заключается в высокой трудоемкости. На каждом этапе требуется большое количество человеко-часов, что может приводить к увеличению сроков разработки и увеличению стоимости проекта. Кроме того, V-образная модель не всегда обеспечивает гибкость и адаптацию к изменениям требований заказчика, что может вызвать проблемы на поздних этапах разработки.

Для устранения этих недостатков предлагается разрабатывать САУ на основе моделей. Такие системы позволяют автоматизировать процесс разработки, снижая затраты и повышая качество продукта. Они позволяют создавать модели системы, которые точно соответствуют требованиям и задачам проекта, что обеспечивает оптимальное управление и эффективность работы системы.

Важно отметить, что разработка САУ – это непрерывный процесс, который требует постоянного обновления и совершенствования моделей и алгоритмов управления. Это позволяет создавать более эффективные и надежные системы, которые будут отвечать требованиям современного производства. Для разработки моделей САУ используются программные комплексы, которые позволяют создавать модели, анализировать их и синтезировать управляющие алгоритмы. Примеры таких программных комплексов:

SCADE – это программная среда, предназначенная для создания систем реального времени. SCADE поддерживает моделирование на уровне блоков и на уровне сигналов [3].

SimInTech – это программный комплекс для моделирования и проектирования систем автоматического управления. SimInTech использует UML и SysML для моделирования систем. Он также имеет встроенный симулятор для тестирования моделей [4].

IBM Rhapsody – это программное обеспечение для моделирования и оптимизации бизнес-процессов. Оно поддерживает создание моделей на основе UML и SysML. Rhapsody также может использоваться для анализа и оптимизации процессов управления [5].

MATLAB/Simulink – это пакет для моделирования и симуляции систем автоматического управления. Он поддерживает создание моделей на языке UML и SysML. Simulink также имеет встроенные инструменты для тестирования систем [6].

LabVIEW – это программная платформа для разработки систем управления и автоматизации. Она поддерживает создание моделей на языках UML и SysML и имеет встроенные инструменты для симуляции моделей [7].

Scilab – это бесплатный программный пакет для научных вычислений с открытым кодом. Он поддерживает работу с языком UML и может использоваться для моделирования систем управления. Однако, Scilab не имеет встроенных инструментов для симуляции моделей, поэтому для тестирования систем потребуется использовать дополнительные программы [8].



Основные функциональные возможности программных комплексов для проектирования систем управления мобильными роботами включают в себя:

- создание и редактирование моделей;
- моделирование и симуляция;
- средства визуализации и анимации;
- поддержка модульности;
- генерация кода;
- анализ данных;
- оценка качества работы;
- построение отчетов;
- совместимость;
- интегрированная среда разработки;
- открытость и расширяемость.

Таблица 1

Сравнение программных комплексов по функциональным возможностям

	SCADE	SimInTech	IBM Rhapsody	MATLAB/Simulink	LabVIEW	Scilab
Создание и редактирование моделей	1	1	1	1	1	1
Моделирование и симуляция	1	1	1	1	1	1
Средства визуализации и анимации	1	0	0	0	0	0
Поддержка модульности	1	1	1	1	1	0
Генерация кода	1	1	1	1	1	1
Анализ данных	1	1	1	1	1	1
Построение отчетов	1	0	1	1	0	0
Совместимость	1	1	1	1	0	0
Интегрированная среда разработки	1	0	0	1	0	0
Открытость и расширяемость	1	1	0	0	0	1
Итого	10	7	7	8	5	5

Для модельной разработки САУ мобильного робота целесообразно использовать являются SCADE, поскольку она обладает наиболее полным набором инструментов для моделирования, анализа и синтеза систем автоматического управления. Кроме того, она имеет удобный интерфейс и высокую скорость работы, что позволяет быстро создавать и анализировать модели САУ. Также предлагает качественную техническую поддержку и регулярные обновления, что обеспечивает актуальность используемых методов и инструментов.

Работа выполнена в ИПТМУ СЦ РАН по государственному заданию Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FFNM-2022-0010 «Разработка интеллектуальных моделей и методов управления сложными человеко-машинными системами в условиях критических ситуаций»).

#### Литература

1. Рудик, Е. Д. Развитие робототехники и ее будущее: применение, этика и безопасность / Е. Д. Рудик // Вестник науки. – 2023. – № 7(64). – Т. 5 – С. 246-249.
2. Буч, Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения / Г. Буч. – М.: Конкорд, 2010. – 516 с.
3. Бурков, А. Ю. Модельно-ориентированная разработка программного обеспечения для критических по надежности встраиваемых систем с применением программного комплекса SCADE от компании Esterel Technologies / А. Ю. Бурков, М. Б. Насыров // Решетневские чтения. – 2015. – Т. 2. – С. 209-211.
4. Хабаров, С. П. Основы моделирования технических систем. Среда Simintech / С. П. Хабаров, М. Л. Шилкина. – СПб.: Лань, 2021. – 120 с.
5. IBM Engineering Systems Design Rhapsody: [сайт]. – URL: <https://www.ibm.com/products/systemsdesignrhapsody#:~:text=IBM%20Engineering%20systems%20Design%20Rhapsody%20import%20and%20export%20capabilities> (дата обращения: 15.11.2023). – Текст: электронный.
6. Simulink - Simulation and Model-Based Design - MATLAB: [сайт]. – URL: <https://www.mathworks.com/products/simulink.html> (дата обращения: 18.11.2023). – Текст: электронный.
7. What is LabVIEW? Graphical Programming for Test & Measurement - NI: [сайт]. – URL: <https://www.ni.com/en/shop/labview.html#pinned-nav-section2> (дата обращения: 20.11.2023). – Текст: электронный.
8. Open Source | Scilab: сайт / Scilab | Scilab: [сайт]. – URL: <https://www.scilab.org/about/scilab-open-source-software> (дата обращения: 22.11.2023). – Текст: электронный.

## **Моделирование исполнительного механизма регулирующего клапана**

Елисеев Иван Сергеевич, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

Мефедова Юлия Александровна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Атомная физика и технологии»

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

*В статье рассмотрен процесс математического моделирования исполнительного механизма регулирующего клапана. Продемонстрированы возможности программного обеспечения SimInTech. Установлены преимущества дополненной модели исполнительного механизма концевыми выключателями.*

Математическое моделирование технологических процессов во многом упрощает работу в сфере автоматизации и управления. На сегодняшний день, благодаря современному программному обеспечению, студентам ВУЗов доступны широкие возможности моделирования, в ходе которого улучшается восприятие технологических объектов и процессов, протекающих в них.

В статье рассмотрен процесс моделирования исполнительного механизма (ИМ) регулирующего клапана в программной среде моделирования SimInTech. В качестве исполнительных механизмов регулирующих органов чаще всего используются:

- механизмы однооборотные – МЭО;
- механизмы многооборотные – МЭМ;
- механизмы прямоходные – МЭП и МЭПК.

Исполнительные механизмы типа МЭО – это однооборотные механизмы, предназначенные для перемещения регулирующих органов в САР в соответствии с командными сигналами автоматических регулирующих и управляющих устройств. Механизмы МЭО перемещают рабочие органы неполноповоротного принципа действия (шаровые и пробковые краны, поворотные дисковые затворы, заслонки) [1].

Принцип работы механизмов заключается в преобразовании электрического сигнала, поступающего от регулирующего или управляющего устройства во вращательное перемещение выходного вала. Механизмы МЭО устанавливаются вблизи регулирующих устройств и связываются с ними посредством тяг и рычагов.

Механизмы МЭО изготавливаются с датчиком обратной связи (блоком сигнализации положения выходного вала) для работы в САР или без датчиков обратной

связи – с блоком конечных выключателей для режима ручного управления. Виды блоков сигнализации положения – индуктивный БСПИ, реостатный БСПР, токовый БСПТ.

Рассмотрим один из этапов моделирования системы управления любого технологического объекта – математическое представление исполнительного механизма типа МЭО. На рис. 1 представлен вид моделей в программной среде SimInTech.

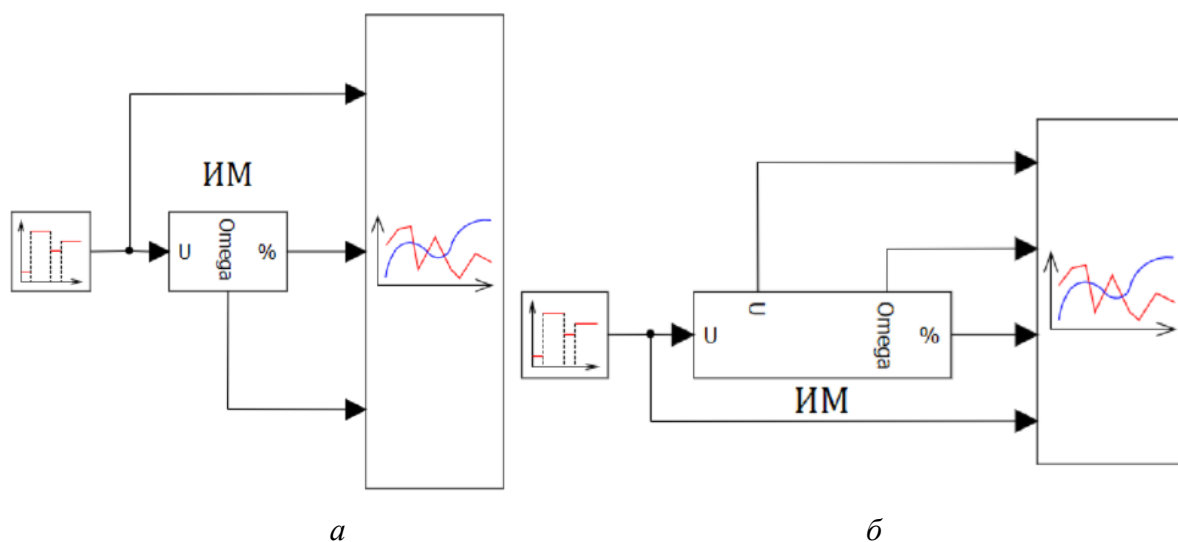


Рис. 1. Модель исполнительного механизма в среде SimInTech:  
а – без конечных выключателей; б – с конечными выключателями

Данная модель включает в себя блок «Кусочно-постоянная», моделирующий работу пускателя с выходным напряжением 380 В, блок «Субмодель», включающий в себя математическую модель электродвигателя, и блок «Временной график», предоставляющий результаты моделирования в виде временных графиков [2]. Содержимое блока «Субмодель» представлено на рис. 2.

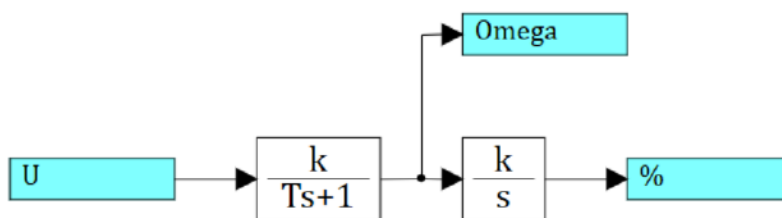


Рис. 2. Блок «Субмодель»

Как видно из модели, математическое преобразование происходит в два этапа: преобразование напряжения в угловую скорость с помощью апериодического звена 1-го порядка и преобразование угловой скорости в степень открытия с помощью интегрального звена.

Параметры аperiodического звена рассчитываются следующим образом:

$$k = \frac{\omega}{U} = \frac{\varphi_{MAX}}{U \tau}, \quad (1)$$

где  $\varphi_{MAX}$  – максимальный угол поворота МЭО, рад;  $\tau$  – время полного хода вала, с;  $U$  – напряжение питания МЭО, В

Постоянная времени  $T$  зависит от используемого типа двигателя.

Параметры интегрирующего звена рассчитываются следующим образом:

$$k = \frac{100\%}{\varphi_{MAX}}, \quad (2)$$

Результаты моделирования исполнительного механизма без конечных выключателей представлены на рис. 3а.

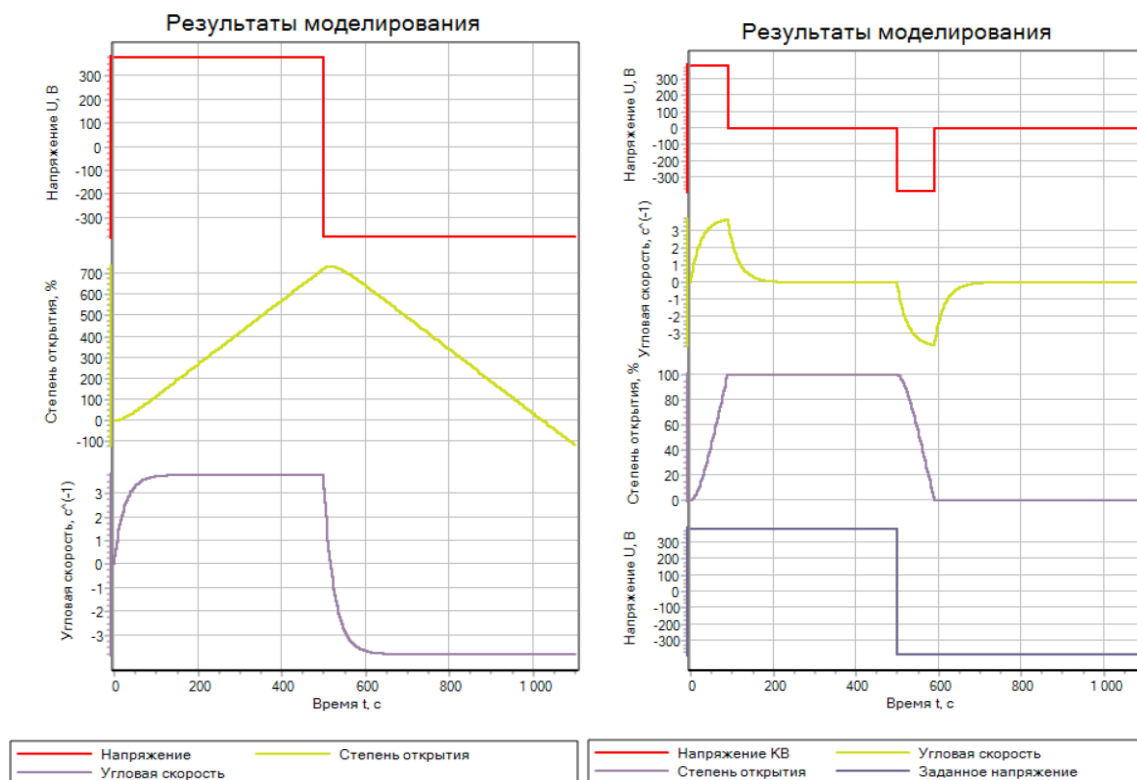


Рис.3. Результаты моделирования исполнительного механизма:  
а – без конечных выключателей; б – с конечными выключателями

Как видно из графиков, в момент достижения механизмом степени открытия 100% воздействие продолжается с той же угловой скоростью. Это негативно отражается на всем процессе моделирования. Во-первых, это неудовлетворительные значения степени открытия, во-вторых, это динамические переменные, которые сохраняют свое значение, когда открытие должно было уже прекратиться. В ходе работы над данной проблемой было получено решение – дополнительное моделирование конечных

выключателей электродвигателя. На рис. 1б и 4 представлены общий вид модели и содержимое блока «Субмодель».

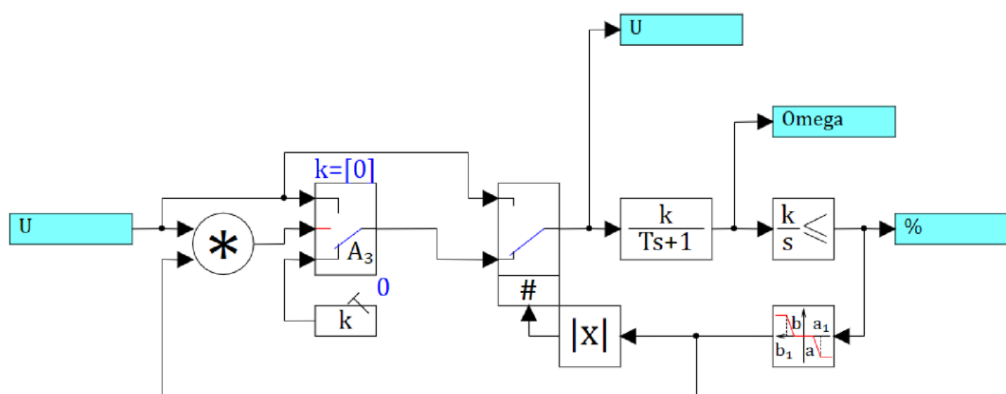


Рис. 4. Блок «Субмодель» с концевыми выключателями

Данная модель функционирует по следующему принципу: в момент достижения исполнительным механизмом концевых значений степени открытия 0/100% срабатывает математическое реле, которое вне зависимости от продолжительности поступающего на него заданного напряжения блокирует дальнейшее закрытие/открытие подачей нулевого напряжения до момента смены полярности. На рисунке 3б представлены результаты моделирования исполнительного механизма с концевыми выключателями.

По результатам моделирования можно сделать следующие выводы:

- благодаря внедрению блока «Интегратор с ограничением» значения степени открытия ограничили интервалом (0...100);
- работа модели концевых выключателей позволила ограничить накопление динамических производных апериодического звена 1-го порядка, когда степень открытия достигает своего граничного значения.

Данная модель представляет более реальное отображение работы исполнительного механизма. Она также открыта для дальнейших доработок и усовершенствований. Материал будет полезен студентам, которые осваивают программы обучения в области автоматизации и управления.

#### Литература

1. Шегал, Г. Л. Электрические исполнительные механизмы в системах управления / Г. Л. Шегал, Г. С. Коротков. – Библиотека по автоматике. Вып. 32. – Москва-Ленинград: Госэнергоиздат, 1961. – 96 с.
2. Справочная система SimInTech: [сайт]. – URL: <https://help.simintech.ru/> (дата обращения: 30.11.2023). – Текст: электронный.

**Возможность использования комбинированного метода математического моделирования для маневрирования мощностью реакторной установки**

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

Иленев Семен Александрович, студент специальности  
«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

Шалаев Владимир Дмитриевич, 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 данной статье рассматривается возможность применения комбинированного способа математического моделирования для решения задачи маневрирования мощностью водо-водяного реактора (ВВЭР), которая в соответствии с теорией оптимального управления формулируется как задача нелинейно-квадратичного слежения. Для решения вышеуказанной задачи исследуется возможность применения комбинированного метода – STMDDP, сочетающего в себе дифференциальное динамическое программирование (DDP) и системный тау-метод (STM).*

На атомных электростанциях станциях (АЭС) выдвигаются высокие требования по надежности. Особое внимание этому уделяется при проведении так называемого маневра мощностью. Для безопасной эксплуатации энергоблока с водо-водяным реактором под давлением (ВВЭР) в режиме маневрирования мощностью требуется, чтобы реактор являлся устойчивым и поддерживалось необходимое пространственное распределение энерговыделений по объёму и высоте активной зоны. Маневрирование мощностью реактора, традиционно осуществляется с использованием известной совокупности средств воздействия на реактивность, а именно органы регулирования системы управления и защиты (ОР СУЗ) и концентрация борной кислоты в теплоносителе первого контура [3].

Для рассмотрения оптимального метода управления маневрами мощности в реакторах ВВЭР, формулируется задача с отслеживанием нагрузки в водяном реакторе под давлением, как нелинейно-квадратичная задача отслеживания в соответствии с теорией оптимального управления, при этом учитывается одномерная модель активной зоны.

На сегодняшний день существует большое множество программных способов математического моделирования для решения сложных задач оптимального управления, например, STM – вычислительный метод для решения задачи линейного оптимального управления. Он не требует итераций и избыточного пространства. По сравнению с наиболее часто используемыми методами, STM требует значительно меньше компьютерного времени для получения решения с такой же точностью.

Для решения задач STM методом предполагается, что решение однородных дифференциальных уравнений (ОДУ) с постоянными коэффициентами для данной задачи является [2]:

$$x_{ij}(t) = \sum_{m=0}^j c_j^m \cdot f_{ij}(t), \quad (1)$$

где  $c_j^m$  – коэффициенты, которые выбираются из полиномиальных табличных значений;  $f_{ij}(t)$  – желаемая форма канонического многочлена.

DDP – вычислительный метод для решения задач нелинейной оптимизации. В окрестности оптимальной траектории DDP может быстро достигать сходимости. Однако при очень большом интервале вычислений для достижения сходимости потребуется относительно большего компьютерного времени, и трудно предположить подходящую номинальную траекторию для сложной задачи оптимизации.

DDP метод используется в тех случаях, когда динамическая система подчиняется векторному дифференциальному уравнению [2]:

$$\frac{dx}{dt} = f(x, t, u); \quad (2)$$

где  $x(0) = a$  и  $x(T) = b$  – граничные условия.

Для решения задачи маневрирования мощностью водо-водяного реактора, исследуется возможность использования комбинированного метода математического моделирования STMDDP, сочетающего в себе дифференциальный динамический метод (DDP) с системным STM методом.

В последние годы теория оптимального управления маневрами была внедрена при изучении методов оптимального исследования нагрузки реакторной установки. В литературном источнике [1] приведён график зависимости типичных циклов, который отображает комбинированный метод оптимального управления маневрированием мощностью реактора ( $P$ ), представленный на рис. 1.



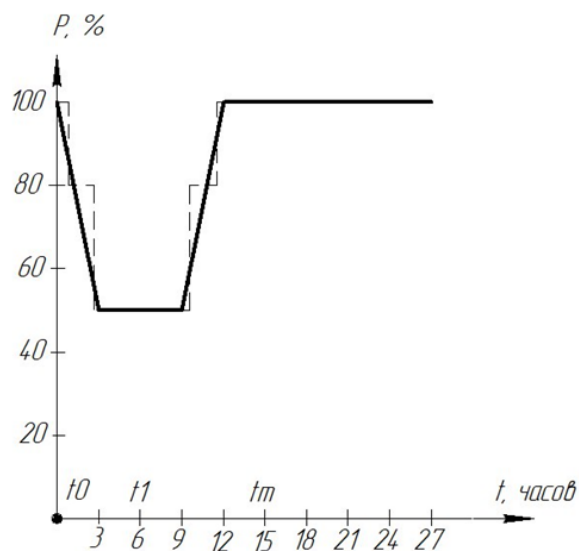


Рис. 1. График типичных циклов следования по нагрузке

В рассмотрении данной задачи, DDP метод может использоваться для решения динамического процесса с сильной нелинейной частью, а STM метод для обработки слабой нелинейной части, которая может быть линеаризована вокруг номинального значения мощности, как показано на рис. 1.

Во временном интервале от 0 до 15 часов нелинейный эффект в динамическом процессе является сильным и им нельзя пренебрегать, так как осуществляется маневрирование мощностью. После 15 часов им можно пренебречь, так как мощность реактора достигла установившегося значения, что соответствует отсутствию маневрирования. Исходя из вышеизложенного факта временной интервал  $[t_0, t_m]$  делится на два временных интервала,  $[t_0, t_1]$  и  $[t_1, t_m]$ , а именно  $[0, 6]$  и  $[6, 15]$  часов.

Изменения уровня мощности и положения ОР СУЗ во время переходных процессов маневрирования всегда сопровождаются очевидным перераспределением мощности по активной зоне. Более асимметричное распределение мощности и, следовательно, более высокий коэффициент пика мощности привели бы либо к более высоким эксплуатационным расходам, либо к снижению безопасности и надежности реактора.

Кроме того, временной интервал сильного нелинейного динамического процесса может быть разделен на несколько подобластей. В каждом интервале соответствующей номинальной траектории для модели, построенной методом DDP, может быть задана в линейной форме, путем применения метода линейной аппроксимации. В результате данного подхода можно утверждать, что практическая мощность реактора может точно соответствовать требуемой нагрузке, а также коэффициент осевого пика мощности

может поддерживаться в заданных пределах при относительно меньших усилиях по регулированию.

Однако существуют проблемы, которые ограничивают применение этих методов в практическом управлении ядерных энергетических установок. Поскольку динамическое поведение системы определяется набором нелинейных факторов, то в дифференциальных уравнениях нелинейная двухточечная краевая задача, обычно приводит к расхождениям в численных значениях. Также требуется много времени для математического программирования, чтобы решить данную проблему. В результат этого, из-за сложной задачи оптимизации потребуется относительно много времени, чтобы DDP достиг необходимого значения. Комбинированный метод STMDDP позволяет достаточно приближенно достичь желаемого изменения мощности во время маневрирования (рис. 2).

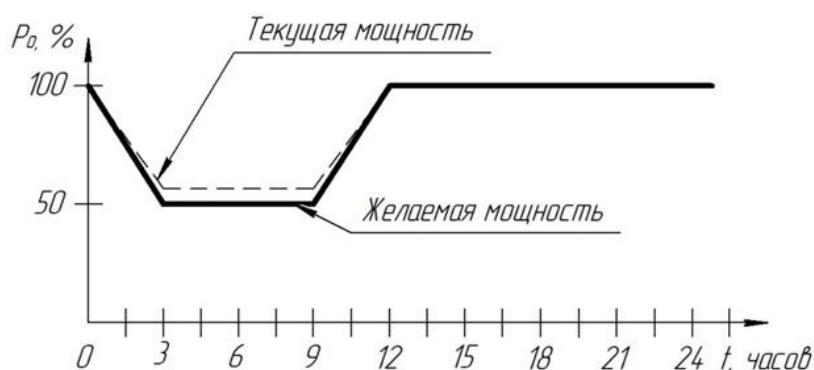


Рис. 2. Зависимость общей мощности с последующей нагрузкой от времени

Задача нахождения оптимального управления маневрами мощности является нелинейной задачей оптимизации с очень большими постоянными времени.

На рис. 3 представлен график зависимости коэффициента пика мощности в момент маневра от времени.

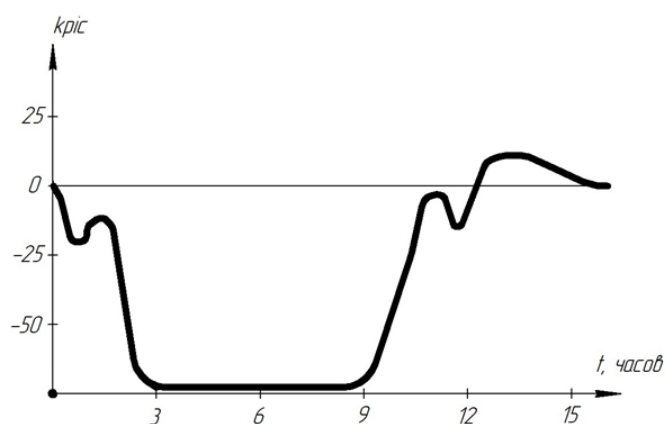


Рис. 3. Коэффициент пика мощности в момент маневра от времени

Пиковые коэффициенты мощности ( $k_{pic}$ ) устанавливаются для того, чтобы исключить превышение распределением мощности активной зоны пределов.

Из приведенных выше результатов мы можем сделать вывод о том, что мощность реактора должна точно соответствовать требуемой нагрузке, а также все результаты вычислений показывают, что STMDDP является удобным, оригинальным методом для решения нелинейной задачи оптимального управления маневрами. STMDDP требует очень короткого компьютерного времени. Важно отметить, что практическая мощность реактора может точно соответствовать требуемой нагрузке, и в то же время осевое смещение мощности и коэффициент пика мощности могут удовлетворять желаемым проектным пределам при относительно меньших усилиях по регулированию [1].

#### Литература

1. Фую, Чао Оптимальное управление маневрами по нагрузке в реакторе с водой под давлением / Фую Чао, Лунчжоу Фу // Том трудов МФБ. – 1990. – № 8. – С. 97-102.
2. Киров, В. А. Влияние маневренных режимов реакторов ВВЭР-1000 на оболочки ТВЭЛ / В. А. Киров // Известия вузов. – 2020. – № 5. – С. 25-32.
3. Выговский, С. Б. Исследование алгоритмов управления ЯЭУ с ВВЭР-1200 для реализации суточных маневренных режимов на АЭС / С. Б. Выговский, А. Г. Хачатрян // Известия вузов. – М.: НИЯУ МИФИ, 2019. – С. 67-77.

УДК 53.043

#### **Процедура мониторинга аксиальных ксеноновых колебаний в водо-водяных реакторах типа ВВЭР**

Иленев Семен Александрович, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

Кудашева Ирина Олеговна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Атомная энергетика»;

Шалаев Владимир Дмитриевич, 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 данной статье рассматриваются метод мониторинга аксиальных ксеноновых колебаний в активной зоне реактора типа ВВЭР, основанный на концепции*

*характеристического эллипса, а также на контроле осевых смещений распределения мощности и два новых определенных осевых смещения, а именно, текущее распределение йода и текущее распределение ксенона.*

Пространственные колебания мощности, обусловленные пространственным распределением переходных процессов ксенона, хорошо известны как колебания ксенона в больших реакторах. Пространственные колебания мощности, индуцированные ксеноном, возникают в результате быстрых возмущений распределения мощности, которые приводят к тому, что распределение ксенона и йода не совпадает по фазе с возмущенным распределением мощности. Это приводит к сдвигу в распределениях ксенона и йода, что приводит к изменению распределения мощности в направлении, противоположном первоначальному возмущению.

Ксеноновые колебания вызваны дисбалансом распределения ксенона в ядерных реакторах. В прошлом были разработаны процедуры для гашения этих колебаний. Одна из процедур известна как достаточно простая и эффективная, в которой при анализе колебаний ксенона используются несколько констант, полученных из кодов моделирования реактора (а не из реальных данных установки). Это вызывает неопределенность в полученных решениях и необходимость усовершенствованного подхода становится очевидной. В этой статье обсуждается новая методология, которая позволяет использовать фактические данные реактора в анализе процедуры для гашения ксеноновых колебаний [1].

В больших водо-водяных реакторах пространственные колебания мощности, известные как ксеноновые колебания, могут возникать в результате возмущения стабильного распределения мощности, что вызывает дисбаланс пространственного распределения ксенона в реакторе. Проблема этого явления изучалась как в численном моделировании, так и в экспериментах с момента появления больших водо-водяных реакторах. Колебания ксенона не вызывают эксплуатационных трудностей, так как характеристики колебаний хорошо изучены и установлены соответствующие процедуры управления. Другими словами, ксеноновые колебания можно устранить с помощью процедур управления до того, как пик колебаний станет слишком большим для поддержания работы на полной мощности. Однако операторам желательно смягчить и избавиться от колебаний за более короткий период времени. Теоретическое решение минимального временного управления широко использовалось для фактического управления ксеноновыми колебаниями в водо-водяных реакторах, известное как метод первого контроля обертона (Overtone control method). Он может обеспечить ожидаемые моменты времени для введения и извлечения блока управляющих стержней (ОР СУЗ), при которых могут быть устранены ксеноновые

колебания, следовательно, требуется поиск оптимального управления, основанный на современной теории управления [2].

Новая процедура, основанная на концепции характеристического эллипса, была предложена и внедрена в основную систему мониторинга. Эта процедура эффективно использовалась японскими энергокомпаниями для контроля осевых ксеноновых колебаний. Процедура непрерывно контролирует обычное или фактическое осевое смещение распределения мощности  $\mu P$ , и два новых определенных осевых смещения, а именно, текущее распределение йода  $\mu I$  и текущее распределение ксенона  $\mu Xe$ . Эти два новых параметра определяются как смещение осевого распределения мощности, при котором  $\mu I$  и  $\mu Xe$  получается равновесным. Мониторинг распределения мощности, йода и ксенона имеет важное значение, поскольку колебания ксенона возникают в результате дисбаланса между этими распределениями в активной зоне реактора.

Обычные процедуры контроля используют только информацию о текущем распределении мощности ( $\mu P$ ). Однако концепция характеристического эллипса позволяет одновременно визуализировать информацию о распределении как йода, так и ксенона, а также фактическое осевое смещение для управления колебаниями ксенона. Когда различия в осевых смещениях ( $\mu P - \mu Xe$ ) и ( $\mu I - \mu Xe$ ) непрерывно отображаются в плоскости ОХУ, они рисуют характерный эллипс или эллиптическую спираль. Когда график находится в начале координат, колебаний не существует. Используя характеристики эллипса, ксеноновые колебания можно устранить, направив график к началу координат с помощью управляющего стержня. Таким образом, траектория участка может предоставить операторам БЩУ информацию о моменте, величине и направлении движения стержня управления для устранения осевых колебаний ксенона.

Японскими учёными была предложена инновационная и очень простая процедура создания траектории для прогнозирования, которая выражается тригонометрическими функциями, умноженными на экспоненциальную функцию. Некоторые константы ядерного реактора необходимы для отслеживания траектории и оценки необходимых параметров для выражения этих функций. Константы реактора заранее оцениваются по нормам ядерного проектирования для целевых водо-водяных реакторов. Однако такие параметры могут включать, например, различные неопределенности в ядерных данных, нормах проектирования и эффектах выгорания. Другая проблема заключается в том, что эти параметры не могут быть предоставлены своевременно, когда они необходимы. Для решения этой проблемы была предложена инновационная процедура оценки существенных параметров с использованием реальных данных эксплуатации реактора.

В ходе этой процедуры отслеживается траектория участков ( $\mu P$  -  $\mu Xe$ ) и ( $\mu I$  -  $\mu Xe$ ) в плоскости ОХУ. Эти параметры, указывающие осевые смещения распределения мощности, определяются следующим образом:

$$\mu P = \frac{P_t - P_b}{P_t + P_b}, \quad \mu I = \frac{P_{t,i} - P_{b,i}}{P_{t,i} + P_{b,i}}, \quad (1)$$

$$\mu Xe = \frac{P_{t,x} - P_{b,x}}{P_{t,x} + P_{b,x}}. \quad (2)$$

где  $P_t, P_b$  – относительные мощности в верхней и нижней половинах активной зоны реактора соответственно;  $P_{t,i}, P_{b,i}$  – относительные мощности в верхней и нижней половинах активной зоны реактора, которые определяют текущее равновесное распределение йода.

Вышеизложенные формулы могут быть весьма полезны для оценки и установки систем мониторинга и контроля ксеноновых колебаний в водо-водяных реакторах, поскольку параметры систем можно в любое время оценить независимо при расчете конструкции ядерного реактора [3].

#### Литература

1. Семенов, В. К. К вопросу о ксеноновых колебаниях в ядерном реакторе / В. К. Семенов, В. В. Вольман. – Иваново: Вестник ИГЭУ, 2015. – С. 1-5.
2. Загребаев, А. М. О пороге ксеноновых колебаний при неоднородной высоте загрузки реактора / А. М. Загребаев, В. А. Насонова // Известия вузов. – М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – С. 1-11.
3. Демьянов, С. А. Математическое моделирование возбуждения и подавления ксеноновых колебаний / С. А. Демьянов, С. А. Кораблев, Е. С. Чижова, В. К. Семенов. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет, 2017. – С. 744-746.

**Исследование схем моделирования для анализа технических объектов в пространстве состояний**

Кириченко Алексей Владиславович, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация, инжиниринг»;

Мефедова Юлия Александровна, кандидат технических наук

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 методы моделирования технологических систем в пространстве состояний с помощью схем прямого, параллельного и последовательного программирования на примере системы автоматического регулирования частоты синхронного генератора. Исследование моделей осуществлено в среде SimInTech.*

При моделировании систем управления методами современной теории управления модель задается в переменных состояниях. При этом по сравнению с традиционными моделями (передаточные функции, частотные характеристики и т. д.) эти модели имеют следующие преимущества:

- кроме двух внешних переменных (входной и выходной) в модели отражаются и все внутренние переменные системы;
- наличие информации о внутренних переменных позволяет более эффективно осуществлять процедуру проектирования системы;
- для систем высокого порядка модели легко разрешимы с помощью ПК.

Стандартная форма уравнения в пространстве состояний линейной стационарной непрерывной системы имеет вид [1]:

$$\begin{aligned} X'(t) &= A \cdot X(t) + B \cdot U(t); \\ Y(t) &= C \cdot X(t) + D \cdot U(t), \end{aligned} \tag{1}$$

где  $X(t)$  – вектор состояния размерности  $(n \times I)$ , компонентами которого являются переменные состояния системы  $n$ -го порядка;  $X'(t)$  – вектор производной по времени;  $A$  – матрица коэффициентов системы  $(n \times n)$ ;  $B$  – матрица входа  $(n \times r)$ ;  $U(t)$  – вектор входа размерности  $(r \times I)$ ;  $Y(t)$  – вектор выхода размерности  $(s \times I)$ ;  $C$  – матрица выхода  $(s \times n)$ ;  $D$  – матрица обхода, определяющая прямую зависимость выхода от входа.

Модель системы в переменных состояниях можно получить двумя путями: используя дифференциальные уравнения и используя схемы моделирования. Свое

название схемы моделирования получили потому, что они представляют собой «заготовку» для исследования системы с помощью аналоговых или цифровых компьютеров. Наиболее часто схемы моделирования реализуются способами прямого, параллельного и последовательного программирования.

Проведем исследование схем моделирования на примере системы автоматического регулирования (САР) частоты синхронного генератора, схема которой представлена на рис. 1 [2]. В этой системе объект регулирования – угловая скорость  $\omega$ . Контроль величины обеспечивается за счёт перемещения  $X_p$  рейки топливного насоса. Изменение уровня топлива, поступающего в двигатель, происходит при поднятии или опускании рейки. Угловая скорость меняется, в зависимости от внешнего возмущения, в виде момента сопротивления на валу, который зависит от тока нагрузки генератора.

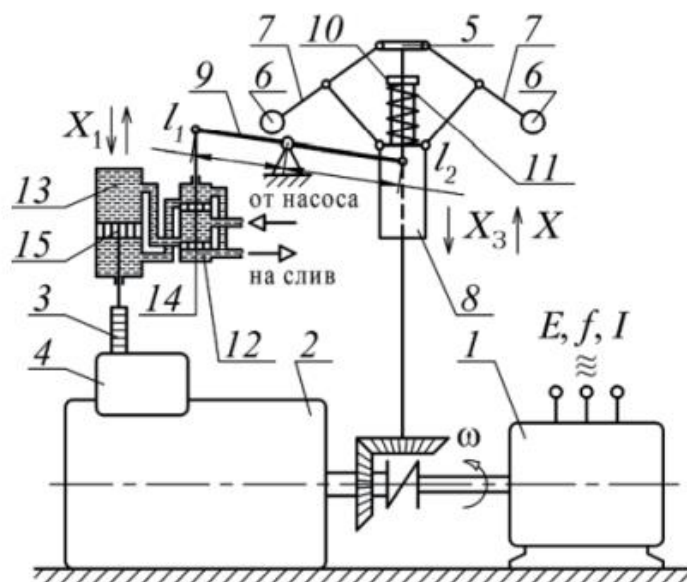


Рис. 1. САР частоты синхронного генератора: 1 – синхронный генератор; 2 – дизельный двигатель; 3 – рейка; 4 – топливный насос; 5 – центробежный маятник; 6 – грузы маятника; 7 – рычаги; 8 – втулка; 9 – рычаг; 10 – винт; 11 – пружина; 12 – золотник; 13 – гидроцилиндр; 14 – плунжер; 15 – поршень

Управление угловой скоростью осуществляется с использованием центробежного маятника, который преобразует скорость в перемещение втулки. Величина этого перемещения сравнивается с предварительно установленным значением, и полученное значение используется для управления рейкой топливного насоса. Динамику элементов системы можно описать следующими уравнениями:

- уравнение дизельного двигателя по управлению:

$$T_0 \frac{d\omega}{dt} + \omega = k_0 X_p; \quad (2)$$

- уравнение центробежного маятника:



$$T_1^2 \frac{d^2 X}{dt^2} + T_2 \frac{dX}{dt} + X = k_e \omega ; \quad (3)$$

- уравнение сравнивающего органа:

$$\Delta X = X_3 - X; \quad (4)$$

- уравнение рычага:

$$X_1 = k_p \Delta X; \quad (5)$$

- уравнение гидроцилиндра с золотником и рейкой насоса:

$$\frac{dX_p}{dt} = k_u X_1 . \quad (6)$$

Зададимся следующими параметрами системы:  $T_0 = 0,8$  с;  $T_1 = 0,04$  с;  $T_2 = 0,06$  с – постоянные времени;  $k_0 = 0,01$  рад/(с·мм);  $k_b = 0,01$  мм·с/рад;  $k_p = 1$ ,  $k_i = 2$  – коэффициенты передачи. Переходя к передаточным функциям элементов САР, получим:

$$W_{цм}(p) = \frac{k_e}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1} = \frac{0,01}{0,04 p^2 + 0,6 p + 1}; W_p(p) = 1; W_{цз}(p) = \frac{2}{p}; W_{од}(p) = \frac{0,01}{0,08 p + 1}.$$

Модель САР с использованием передаточных функций отдельных элементов представлена на рис. 2.

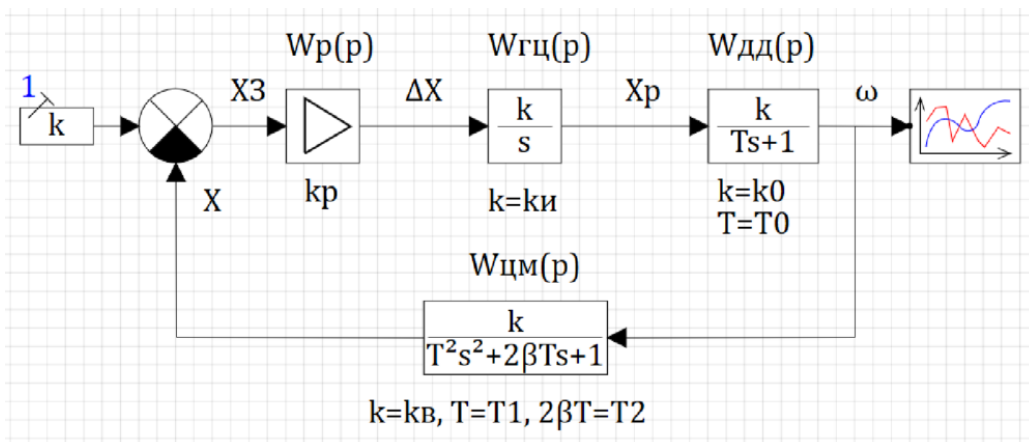


Рис. 2. Модель САР с передаточными функциями

Передаточная функция замкнутой системы имеет вид:

$$W(p) = \frac{W_p(p) \cdot W_{цз}(p) \cdot W_{од}(p)}{1 + W_p(p) \cdot W_{цз}(p) \cdot W_{од}(p) \cdot W_{цм}(p)} = \frac{50 p^2 + 750 p + 1250}{p^4 + 27,5 p^3 + 212,5 p^2 + 312,5 p + 125}. \quad (7)$$

Проведем исследование данной САР в пространстве состояний методами прямого, параллельного и последовательного программирования.

Прямое программирование

Метод прямого программирования позволяет построить соответствующую схему моделирования на основании передаточной функции (ПФ) замкнутой системы. Определим выходную величину в операторной форме:

$$Y(p) = (50p^2 + 750p + 1250)E(p); E(p) = \frac{U(p)}{p^4 + 27,5p^3 + 212,5p^2 + 312,5p + 125}. \quad (8)$$

Переходя к производным, разрешим полученное уравнение относительно старшей производной:

$$\frac{d^4}{dt^4}e + 27,5 \frac{d^3}{dt^3}e + 212,5 \frac{d^2}{dt^2}e + 312,5 \frac{d}{dt}e + 125e = u; \quad (9)$$

$$\frac{d^4}{dt^4}e = u - 27,5 \frac{d^3}{dt^3}e - 212,5 \frac{d^2}{dt^2}e - 312,5 \frac{d}{dt}e - 125e. \quad (10)$$

Из этого уравнения составлена схема, представленная на рис. 2. Для записи модели в форме пространства состояния введены переменные:  $x_1=e$ ,  $x_2=e'=x_1'$ ,  $x_3=e''=x_2'$ ,  $x_4=e'''=x_3'$ .

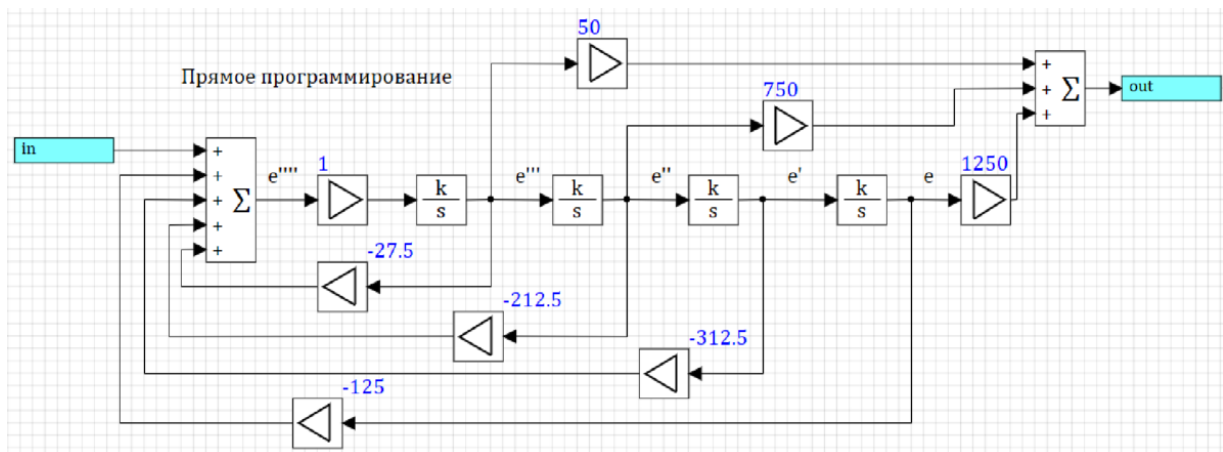


Рис. 3. Схема моделирования системы методом прямого программирования

Тогда фазовые координаты САР будут связаны в системе:

$$\begin{cases} x_1' = x_2 \\ x_2' = x_3 \\ x_3' = x_4 \\ x_4' = u - 27,5x_4 - 212,5x_3 - 312,5x_2 - 125x_1 \end{cases} \quad (11)$$

Выходная величина  $y(t)$  с учетом фазовых координат определится как:

$$y(t) = 50x_3 + 750x_2 + 1250x_1. \quad (12)$$

Из схемы моделирования (рис. 3) матрицы коэффициентов имеют вид:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -125 & -312,5 & -212,5 & -27,5 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, C = [1250 \quad 0 \quad 750 \quad 50], D = 0.$$

### Параллельное программирование

Для использования метода параллельного программирования разобьём ПФ замкнутой САР на сумму элементарных дробей с помощью функции `parfrac` в Mathcad. В результате получим:

$$W(p) = \frac{15,7245}{p + 0,7235} - \frac{11,864}{p + 1,038} - \frac{3,859p + 50,2}{p^2 + 25,8p + 166,4}. \quad (13)$$

Рассмотрим последнее слагаемое с точки зрения прямого программирования. Определим выходную величину  $Y(t)$  через оператор  $p$  как:

$$Y(p) = (-3,859p - 50,2)E(p); E(p) = \frac{U(p)}{p^2 + 25,8p + 166,4}. \quad (14)$$

Последнее уравнение разрешим относительно старшей переменной:

$$\frac{d^2}{dt^2}e + 25,8 \frac{d}{dt}e + 166,4e = u; \frac{d^2}{dt^2}e = u - 25,8 \frac{d}{dt}e - 166,4e. \quad (15)$$

Составим на основе данных уравнений и передаточной функции, разбитой на сумму элементарных дробей, схему для параллельного программирования (рис. 4).

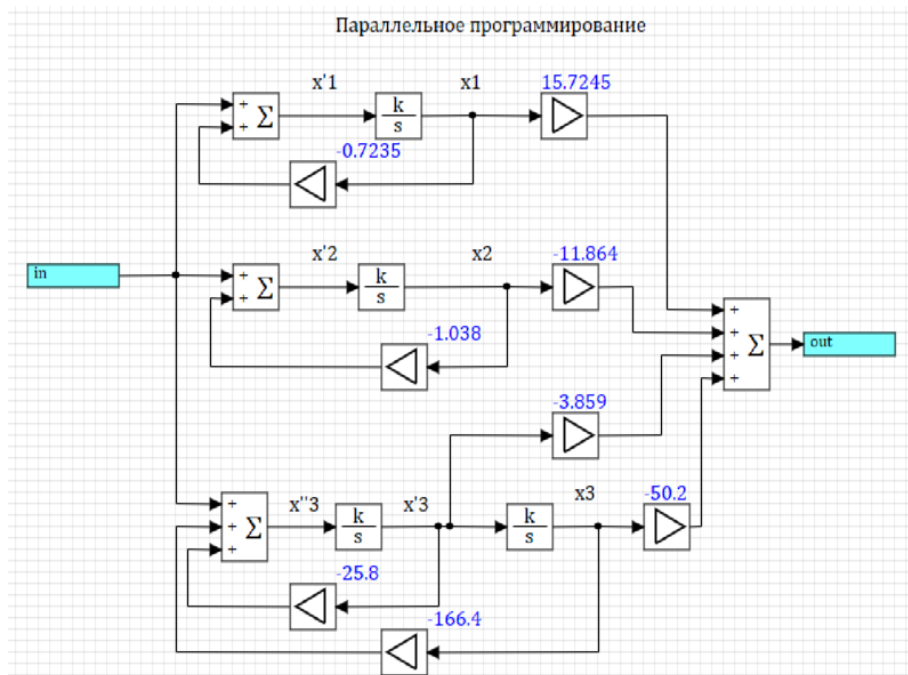


Рис. 4. Схема моделирования системы методом параллельного программирования

На основании составленной модели получены дифференциальные уравнения в переменных состояния:

$$\begin{cases} x'_1 = u - 0,7235x_1 \\ x'_2 = u - 1,038x_2 \\ x'_{31} = x_{32} \\ x'_{32} = u - 25,8x_{32} - 166,4x_{31} \end{cases} \quad (16)$$

Найдём для элемента прямого программирования выход  $y_3(t)$ :

$$y_3(t) = -50,2x_{31} - 3,859x_{32}. \quad (17)$$

Тогда общее выходное уравнение  $y(t)$  и матрицы коэффициентов:

$$y(t) = 15,7245x_1 - 11,864x_2 + y_3(t) = 15,7245x_1 - 11,864x_2 - 50,2x_{31} - 3,859x_{32}. \quad (18)$$

$$A = \begin{bmatrix} -0,7235 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1,038 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -166,4 & -25,8 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (19)$$

$$C = [15,7245 \quad -11,864 \quad -50,2 \quad -3,859], \quad D = 0.$$

Последовательное программирование

Чтобы применить метод последовательного программирования необходимо разложить ПФ замкнутой системы на произведение элементарных дробей. В результате преобразований получено:

$$W(p) = \frac{p + 1,9098}{p + 0,7235} \cdot \frac{p + 13,09}{p + 1,038} \cdot \frac{1}{p^2 + 25,8p + 166,4}. \quad (20)$$

Составим по передаточной функции схему моделирования (рис. 5). Для этого последний множитель также представим методом прямого программирования. Определим выходную величину  $Y(t)$  через оператор  $p$  как:

$$Y(p) = E(p); \quad E(p) = \frac{U(p)}{p^2 + 25,8p + 166,4}. \quad (21)$$

Последнее уравнение разрешим относительно старшей переменной:

$$\frac{d^2}{dt^2} e = u - 25,8 \frac{d}{dt} e - 166,4 e. \quad (22)$$

$$\begin{cases} x'_{11} = x_{12} \\ x'_{12} = 13,1x_2 + x'_2 - 25,8x_{12} - 166,4x_{11} = 12,062x_2 + 1,1865x_3 + u - 25,8x_{12} - 166,4x_{11} \\ x'_2 = 1,91x_3 + x'_3 - 1,038x_2 = 1,1865x_3 - 1,038x_2 + u \\ x'_3 = u - 0,7235x_3 \end{cases} \quad (23)$$

Тогда итоговое уравнение примет вид:  $Y(t) = x_{11}$ .

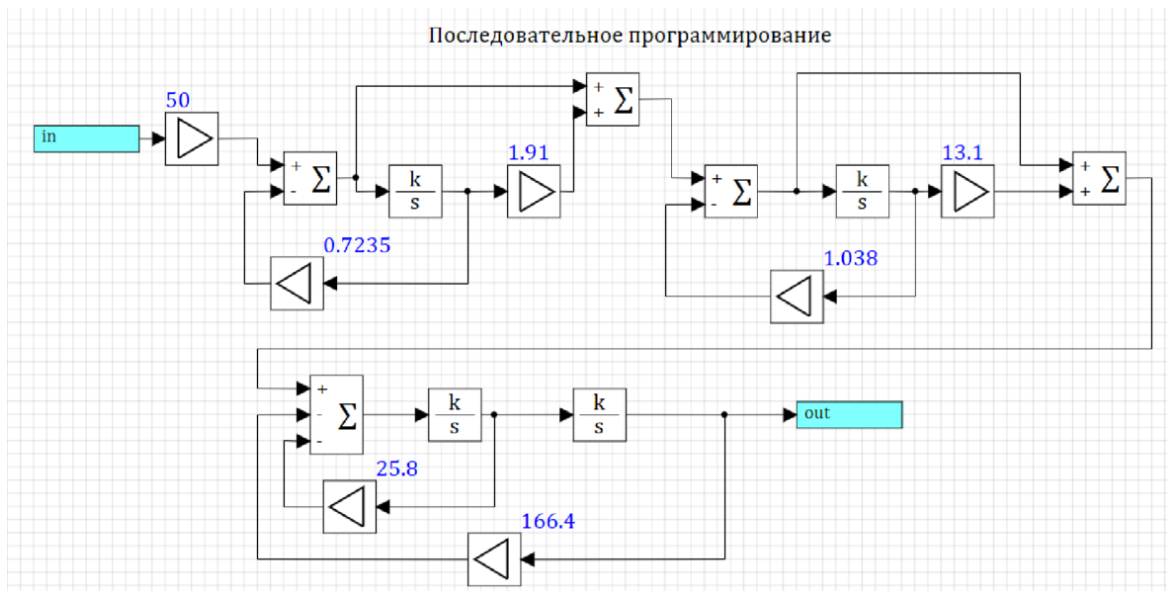


Рис. 5. Схема моделирования методом последовательного программирования

Матрицы системы:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -166,4 & -25,8 & 12,062 & 1,1865 \\ 0 & 0 & -1,038 & 1,1865 \\ 0 & 0 & 0 & -0,7235 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, C = [1 \ 0 \ 0 \ 0], D = 0. \quad (24)$$

Для сравнения результатов моделирования с помощью всех рассмотренных способов сформированная обобщенная модель (рис. 6), включающая в себя три субмодели, внутри которых расположены модели рис. 3 - 5.

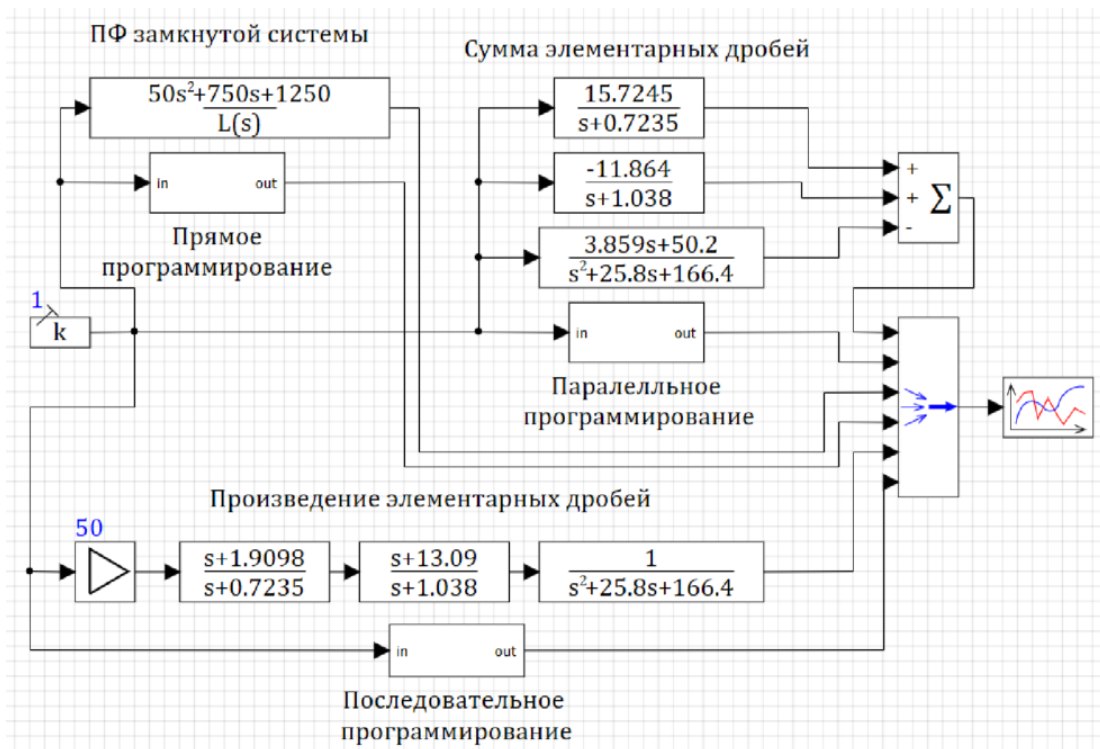


Рис. 6. Обобщённая модель

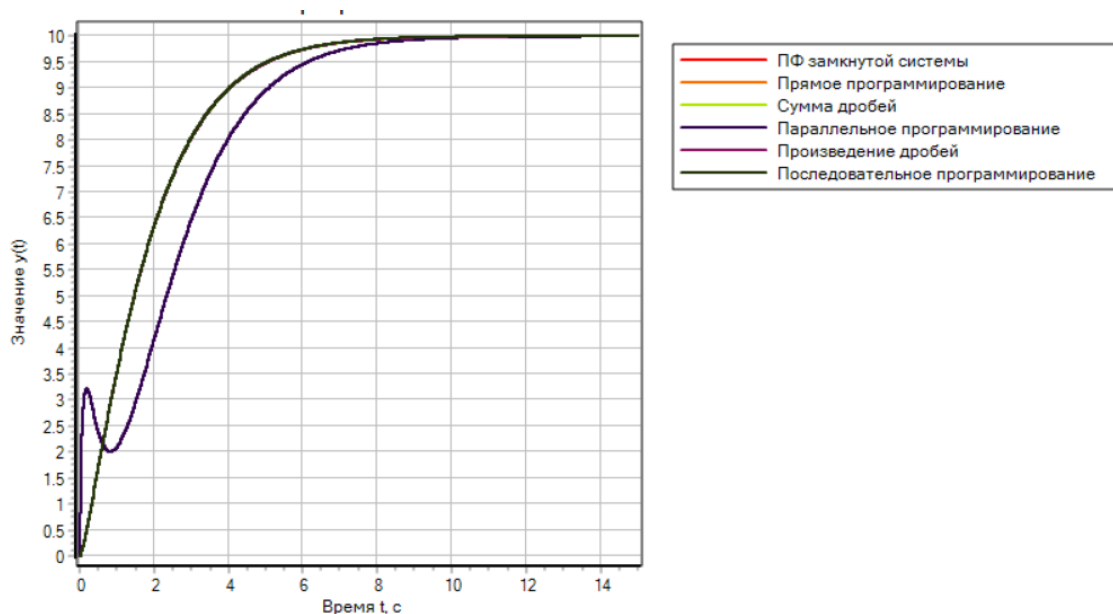


Рис. 7. Результат моделирования

В результате получены шесть моделей для симулирования и описания рассматриваемой САР: три с использованием передаточных функций и три с использованием схем моделирования. Все графики, кроме метода прямого программирования, совпали. В последнем методе наблюдается отклонение на начальном этапе переходного процесса, но время выхода на установившееся значение и само установившееся значение совпадают. Полученные матричные уравнения могут быть использованы в дальнейшем для синтеза САР в пространстве состояний с использованием современной теории управления.

#### Литература

1. Соседка, В. Л. Современная теория управления: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В. Л. Соседка. – Днепропетровск: НГУ, 2003. – 144 с.
2. Карташов, Б. А. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech: Практикум по моделированию систем автоматического регулирования / Б. А. Карташов, Е. А. Шабаев, О. С. Козлов, А. М. Щекатуров. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 424 с.

## **Объезжающий препятствия робот в среде Arduino**

Кириченко Алексей Владиславович, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация, инжиниринг»;

Щеголев Сергей Сергеевич, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Атомная энергетика»

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

*В данной статье рассматривается использование платформы arduino в современной электронике, принципы работы с arduino, ее возможности и применение в различных областях робототехники. Представляются основные компоненты среды и способы их программирования. Изучена среда разработки arduino. Практически рассмотрены возможности данной среды. Спроектирован и реализован робот, представлен код его работы.*

Arduino – это открытая платформа для создания интерактивных электронных проектов. Она состоит из аппаратной платы с микроконтроллером и среды разработки программного обеспечения (IDE), которая позволяет программировать микроконтроллеры Arduino [6].

Arduino позволяет создавать широкий спектр проектов, начиная от простых светодиодных мигалок и датчиков температуры до сложных систем автоматизации и робототехники. Она пользуется популярностью в учебных заведениях, хобби-сообществах и инженерных проектах благодаря своей доступности, простоте использования и широкому выбору документации и ресурсов [4].

Особенностью данной среды является её открытость и относительная простота, которая позволяет создавать различным разработчикам свои Arduino-совместимые платы.

Сама реализация электрических приборов состоит из управляющей программируемой платы Arduino, она же называется контроллер, программы в среде разработки, а также датчиков, индикаторов, различных модулей и так далее, расширяющих возможности устройства.

Контроллер представляет собой плату с процессором или микроконтроллером, интерфейс для подключения периферийных устройств для передачи программы в память платы (Чаще всего USB или microUSB), цифровые и аналоговые выходы, называемые пинами (pin), пины для подачи заряда на внешние модули и индикаторы,

пины заземления, LED-индикаторы для контроля работы платы. Могут существовать и другие элементы, но данный список существует на всех Arduino-совместимых платах [1, 2].

Среда разработки Arduino (Arduino IDE) – это интегрированная среда разработки, предназначенная для программирования микроконтроллеров Arduino.

В Arduino IDE используется собственный язык программирования, который является C-подобным, что делает его синтаксис понятным и схожим с другими языками программирования. Компиляция реализованного кода осуществляется через AVR GCC toolchain [3].

Среда разработки поддерживает различные модели плат Arduino, а также множество сторонних библиотек, что делает ее универсальным инструментом для разработки разнообразных проектов.

В Arduino IDE реализован удобный механизм загрузки кода на платы с помощью USB-порта, что делает процесс разработки и отладки программного обеспечения максимально простым. Кроме того, среда разработки предоставляет широкие возможности для отладки кода и мониторинга работы микроконтроллера через последовательный порт.

Так как язык, используемый в Arduino IDE – C-подобный, то это позволяет создавать множество различных библиотек для работы с огромным количеством внешних модулей.

Суть программы для Arduino заключается в управлении подаваемого на пины сигнала высокого или низкого уровня. В зависимости от задачи и алгоритма, данные сигналы позволяют с помощью включенных модулей реализовать проект [5].

Помимо официальной среды разработки существуют и другие, позволяющие работать с платами Arduino. Наиболее примечательными выглядят визуальные среды программирования, позволяющие с помощью набора блоков создать алгоритм для реализации задачи на контроллере. К самым известным визуальным средам программирования Arduino можно отнести XOD IDE, mBlock, Visuino, Scratch.

Была поставлена задача: реализовать работа, который при встрече препятствия разворачивался бы и продолжал ехать.

Для решения задачи была разработана программа в Arduino IDE, использован блок со спаянными пинами от фирмы LiveTronic, в котором находится Arduino-совместимый контроллер LT Spine с микроконтроллером Atmel2560, а также внешние модули: ультразвуковой датчик HC-SR04, система внешнего питания – батарея Li-ion,



встроенная в блок, 2 модуля драйвера двигателя LM298N, электродвигатели постоянного тока, колеса, соединяющие провода [7, 8].

Как уже было сказано, LiveTronic Mega представляет собой блок с управляющей платой LT Spine, к которой уже подключены некоторые модули, а также все пины находятся в спящем состоянии и готовы к подключению.

На левом краю платы расположены цифровые разъемы с D-2 по D-13, для которых питание предоставляется от силового источника (5В) с возможностью выдачи до 6А в нормальном режиме.

Аналоговые разъемы A0 - A7 и цифровые разъемы D18-D21 расположены на правом краю платы и питаются от второго источника питания (5В), который может выдавать до 3А. Этот источник также используется для питания микроконтроллера и Bluetooth-модуля (HC-05). При подключении DC-моторов питание подаётся на них напрямую от аккумулятора через драйверы двигателей. Каждый канал может принимать ток до 6А, и максимальное напряжение зависит от используемого источника питания. Данная система представлена на схеме распайки на рис. 1 [7]:

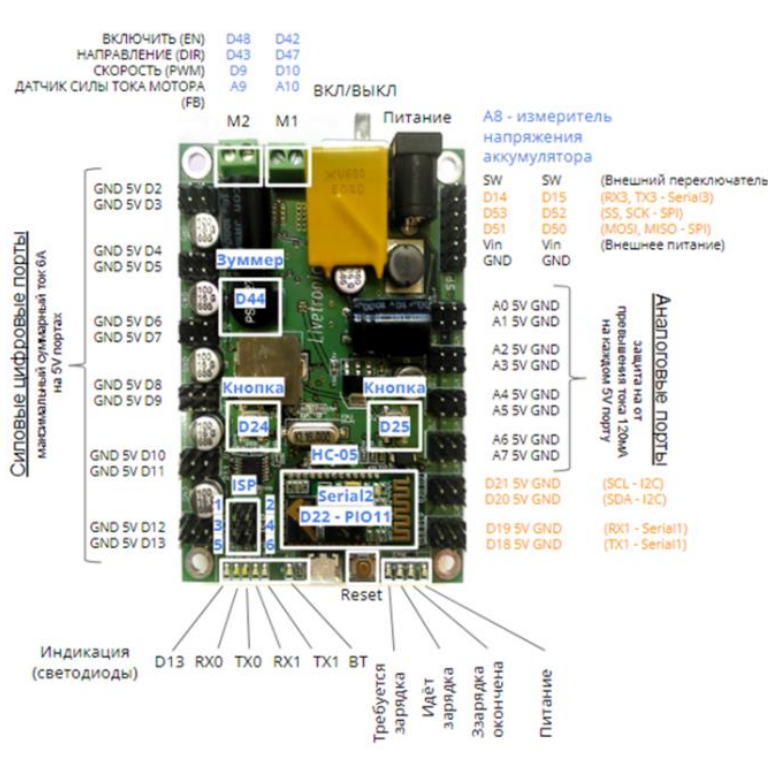


Рис. 1. Схема распайки LiveTronic Mega

Основным устройством для решения задачи служит ультразвуковой датчик HC-SR04 для измерения расстояния. Принцип его работы состоит в следующем:

Ультразвуковой датчик HC-SR04 обеспечивает на своем выходе сигнал, пропорциональный дистанции до препятствия. Датчик генерирует звуковые колебания

в ультразвуковом диапазоне и после этого ждет, когда они вернуться к нему, отразившись от какого-нибудь препятствия.

Для запуска измерения расстояния с помощью датчика сначала требуется передать импульс на его триггерный контакт с высоким уровнем в течение не менее 10 мкс. После этого датчик генерирует ультразвуковые импульсы и, по получении отраженного сигнала, формирует на выходе сигнал, пропорциональный расстоянию до препятствия.

Ультразвуковой сигнал отражается от объекта, возвращается обратно и распознается датчиком. При этом на выходе контакта Echo датчика устанавливается высокий уровень напряжения на промежуток времени, соответствующий расстоянию до объекта (рис. 2).



Рис. 2. Схема работы датчика HC-SR04

Так как скорость звука в воздухе нам известна, то мы можем получить расстояние до объекта, по формуле:

$$S = \frac{v*t}{2}, \quad (1)$$

где  $S$  – расстояние до объекта;  $t$  – время выпуска сигнала с  $trig$  и получения его обратно на  $echo$ ;  $v$  – скорость звука в воздухе (примерно 343 м/с).

Подключим этот датчик на пины, которые укажем в программе. Для данной модели электродвигатели, собранные вместе с колёсами, уже находятся на местах M1 и M2. Батарея уже включена в схему.

Составим программу в Arduino IDE, которая будет анализировать наличие препятствия с помощью ультразвукового датчика. При значении расстояния, меньше заданного допустимого, робот будет останавливаться, сдавать назад, разворачиваться, создавая разнонаправленные моменты вращения на соседних колёсах, проверять наличие препятствия, и в случае его отсутствия, продолжать движение до следующего препятствия.

Программа разделена на 3 части: ввод первоначальных данных: переменные, пины, функции и т. п.; первоначальные данные, задаваемые роботу в момент прошивки

и первого включения (void setup()) и циклически повторяющийся алгоритм при работе робота (void loop()).

```

1  #define L 1
2  #define R 2
3
4  int trigPin = 11;    // trig pin датчика HC-SR04
5  int echoPin = 12;   // Echo pin датчика HC-SR04
6  int revleft4 = 47;  //REVerse motion (движение назад) для левого двигателя
7  int fwdleft5 = 9;   //ForWarD motion (движение вперед) для левого двигателя
8  int revright6 = 43; //REVerse motion (движение назад) для правого двигателя
9  int fwdright7 = 10; //ForWarD motion движение вперед) для правого двигателя
10 int EN1=48;         //Pin включения левого двигателя
11 int EN2=42;        //Pin включения правого двигателя
12 long duration, distance;
13
14 void SetSpeed(int Motor, int Speed) {          //Ввод функции скорости движения
15     int DIR, PWM;
16     Speed = constrain(Speed, -255, 255);      //ограничение параметра скорости
17     if (Motor == L) {DIR = revleft4; PWM = fwdleft5;} //подача на левый двигатель установленной скорости
18     if (Motor == R) {DIR = revright6; PWM = fwdright7;} //подача на правый двигатель установленной скорости
19     analogWrite(PWM, abs(Speed));
20 }
21

```

*a*

```

22 void setup() {
23
24     delay(random(500,2000)); // задержка на случайное время
25     pinMode(revleft4, OUTPUT); // set Motor pins as output
26     pinMode(fwdleft5, OUTPUT);
27     pinMode(revright6, OUTPUT);
28     pinMode(fwdright7, OUTPUT);
29     pinMode(EN1, OUTPUT); // Устанавливаем порты драйвера в режим вывода
30     pinMode(EN2, OUTPUT);
31     digitalWrite(EN1, 1); // Включаем драйвер
32     digitalWrite(EN2, 1);
33
34     pinMode(trigPin, OUTPUT); //trig pin на вывод
35     pinMode(echoPin, INPUT); //echo pin в режим ввода данных
36
37     SetSpeed(L, 100); //установка скорости на левый двигатель
38     SetSpeed(R, 100); //установка скорости на правый двигатель
39 }
40
41 void loop() {
42     digitalWrite(trigPin, LOW);
43     delayMicroseconds(2);
44     digitalWrite(trigPin, HIGH); // передаем серию импульсов длительностью 10 мкс
45     delayMicroseconds(10);
46     duration = pulseIn(echoPin, HIGH); // принимаем отраженные импульсы
47     distance = duration / 58.2; // рассчитываем расстояние в см
48     delay(10);
49     if (distance > 30) //проверка препятствия: препятствие не обнаружено
50     {
51         digitalWrite(fwdright7, HIGH); // движение вперед
52         digitalWrite(revright6, LOW);
53         digitalWrite(fwdleft5, HIGH);
54         digitalWrite(revleft4, LOW);
55     }
56     if (distance < 29) //проверка препятствия: препятствие обнаружено
57     {
58         digitalWrite(fwdright7, LOW); //остановка
59         digitalWrite(revright6, LOW);
60         digitalWrite(fwdleft5, LOW);
61         digitalWrite(revleft4, LOW);
62         delay(500);
63         digitalWrite(fwdright7, HIGH); //движение назад
64         digitalWrite(revright6, HIGH);
65         digitalWrite(fwdleft5, HIGH);
66         digitalWrite(revleft4, HIGH);
67         delay(500);
68         digitalWrite(fwdright7, LOW); //остановка
69         digitalWrite(revright6, LOW);
70         digitalWrite(fwdleft5, LOW);
71         digitalWrite(revleft4, LOW);
72         delay(100);
73         digitalWrite(fwdright7, HIGH); //разворот
74         digitalWrite(revright6, LOW);
75         digitalWrite(revleft4, HIGH);
76         digitalWrite(fwdleft5, HIGH);
77         delay(500);
78     }
79 }

```

*б*

*Рис. 3. Алгоритм робота:*

*a – ввод начальных данных и функции скорости;*

*б – функции настройки и основной алгоритм*

Первоначально зададим пины, отвечающие за движение, за его направление, а также определим trig и echo датчика. Зададим функцию регулирования скорости (void SetSpeed).

Во второй части программы зададим начальные данные, такие как время задержки (Метод delay), включение пинов (метод PinMode (номер пина, формат работы: на выход/вход)), зададим скорость.

В третьей части реализуем условную конструкцию if...else, проверяющую расстояние для препятствия, предварительно инициализируя формулу вычисления этого расстояния. Если препятствия на дистанции 29 сантиметров нет, движение продолжается подачей на цифровой пин прямого движения двигателей (fwdright7 и fwdleft5) высокого (HIGH) сигнала тока методом digitalWrite.

Если же препятствие есть, то мы подаем на все пины, отвечающие за движение низкий (LOW) сигнал. Сдавая назад, меняем значение с низкого на высокое. Останавливаемся. Разворачиваемся, подавая противоположные сигналы на fwdright7 и fwdleft5 и обратные им на revright6 и revleft4. Данная функция будет повторяться весь цикл работы. Закомментированный код представлен на рис. 3.

В статье показан пример разработки описанного типа машин на Arduino. Актуальность данной платформы заключается в простоте и вариативности создаваемых роботов и приспособлений, что было продемонстрировано в практической части данной работы.

#### Литература

1. Гололобов, В. Н. С чего начинаются роботы? О проекте Arduino для школьников (и не только) / В. Н. Гололобов. – Изд-во: Интернет издание, 2011. – 225 с.
2. Чарльз Платт Электроника для начинающих / Чарльз Платт. – Изд-во: БВХ-Петербург, 2012 – 480 с.
3. Улли Соммер Программирование микроконтроллерных плат Arduino / Улли Соммер. – Изд-во: ВНУ, 2010. – 241 с.
4. Что такое Arduino?: [сайт]. – URL: <https://arduino.ru> (дата обращения: 15.12.2023). – Текст: электронный.
5. Формирование цифровых технологий, которые дают людям возможность строить свою жизнь (EN/AR/ZH): [сайт]. – URL: <http://www.raspberrypi.org/> (дата обращения: 15.12.2023). – Текст: электронный.
6. Arduino: [сайт]. – URL: <http://arduino.cc/> (дата обращения: 15.12.2023). – Текст: электронный.

7. Евстифеев, А. В. Микроконтроллеры AVR семейства Classic фирмы Atmel / А. В. Евстифеев. – 3-е изд. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2006. – 288 с.

УДК 004.31

### **Принципы построения микропроцессорных систем**

Коломина Полина Сергеевна, студент направления

«Управление в технических системах»;

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 принципы построения микропроцессорных систем управления на базе микроконтроллеров и микропроцессоров. Приведены обобщенные схемы систем управления с использованием микроконтроллера в качестве основного программного модуля. Рассмотрен пример микропроцессорного устройства – реверсивное устройство плавного пуска, торможения и защиты.*

Применение микропроцессорных устройств в системах управления существенно повышает уровень автоматизации технологических процессов. При проектировании микропроцессорных систем необходимы знания архитектуры микропроцессорных устройств и их программной реализации с учетом специфики объектов управления в технических системах. В процессе разработки такого рода систем необходимо решить следующие задачи: организация центрального процессорного модуля и обеспечение взаимодействия с памятью, построение каналов обмена информацией между системой и периферийными устройствами, согласование функционирования элементов системы, имеющих различное быстродействие, разработка алгоритма функционирования и программного обеспечения микропроцессорной системы. Системы управления на базе микропроцессоров и микроконтроллеров обладают такими качествами, как расширенные функциональные возможности, модифицируемость, адаптивность и используются для управления процессами измерений, обработки экспериментальных данных, хранения и вывода результатов измерений и т. п. [1].

В состав микропроцессорной системы в общем случае входит центральный процессор (ЦП); модули памяти, включающей оперативное запоминающее устройство

(ОЗУ) и постоянное запоминающее устройство (ПЗУ); интерфейс ввода/вывода, служащий для связи микропроцессорной системы с внешними устройствами; система прерываний, таймеры, дополнительные модули при необходимости. Все модули системы объединяются интерфейсом, требования к которому определяются типом процессорного модуля. Обмен данными по интерфейсу может осуществляться как в едином адресном пространстве, так и в разделенном с помощью управляющих сигналов обращения к запоминающему и внешнему устройству. Основными свойствами микропроцессорных систем являются гибкость и возможность перенастройки при необходимости изменения алгоритмов управления [1].

В основу построения системы управления на базе микропроцессорных устройств положены принципы модульности, магистральности и микропрограммного управления.

Принцип модульности состоит в том, что система строится на основе ограниченного количества типов конструктивно и функционально законченных унифицированных модулей, что приводит к сокращению затрат на проектирование систем управления, упрощает изменение конфигурации системы.

Принцип магистральности определяет характер связей между модулями микропроцессорной системы – все блоки соединяются с единой системной шиной. Можно выделить два способа: с помощью произвольных связей и упорядоченных связей, называемый магистральным способом.

Принцип микропрограммного управления состоит в возможности выполнения микрокоманд, что позволяет повысить гибкость микропроцессорной системы, за счет распределенности памяти обеспечивает параллельное решение задач, повышает надежность и упрощает контроль функционирования системы [2].

Микроконтроллеры (МК) – это программируемые устройства, сочетающие в себе функции процессора и периферийных устройств, могут содержать в структуре ОЗУ и ПЗУ.

На рис. 1 представлена схема микропроцессорной системы управления на базе управляющего устройства, соединенного с объектом управления каналами связи.

В качестве управляющего устройства (УУ) системы может использоваться микропроцессор или микроконтроллер. Информация о состоянии объекта управления передается в УУ через блок нормирующих преобразователей (БН), коммутатор (К) и аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Нормирующие преобразователи используются для согласования уровней информационных сигналов на выходе объекта управления с уровнями входных сигналов коммутатора [2].

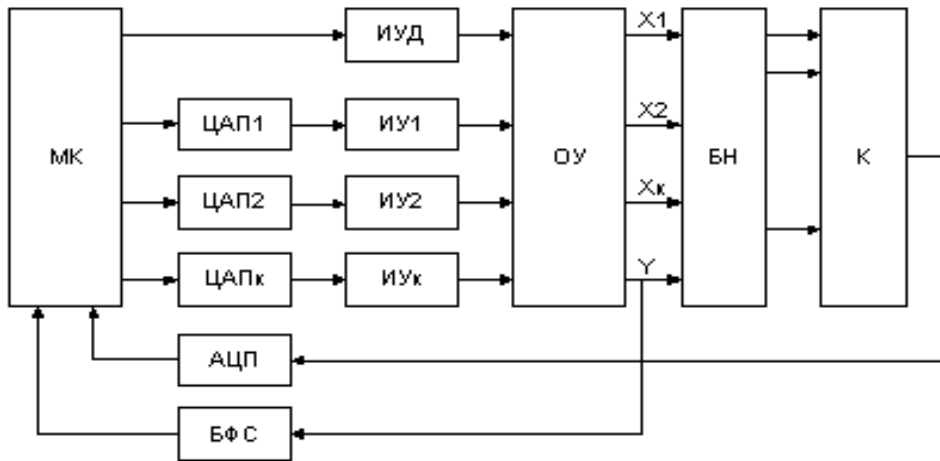


Рис. 1. Обобщенная схема микропроцессорной системы

АЦП служит для преобразования аналоговых сигналов с выхода объекта управления (ОУ) в цифровой код. После преобразования цифровой информации о состоянии ОУ по определенному алгоритму, содержащемуся в памяти МК, вырабатываются управляющие воздействия, поступающие на вход объекта управления через цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) и исполнительные устройства (ИУ). Блок формирования сигналов (БФС) необходим для согласования аналоговых и дискретных сигналов по уровням и мощности с входными цепями микроконтроллера. При наличии нескольких дискретных сигналов для их ввода в МК используют мультиплексирование. При наличии на входе объекта управления исполнительного устройства дискретного типа (ИУД) (например, усилители мощности, тиристорные преобразователи), управляющее воздействие формируется в микроконтроллере и подается в ИУД без использования цифроаналогового преобразователя.

Система управления может решать такие задачи, как поддержание на определенном уровне или изменение по определенному закону выходных параметров объекта управления; программное изменение выходных параметров объекта и отслеживание их изменений в соответствии с уровнем внешних сигналов [3].

На рис. 2 представлена схема распределенной системы управления.

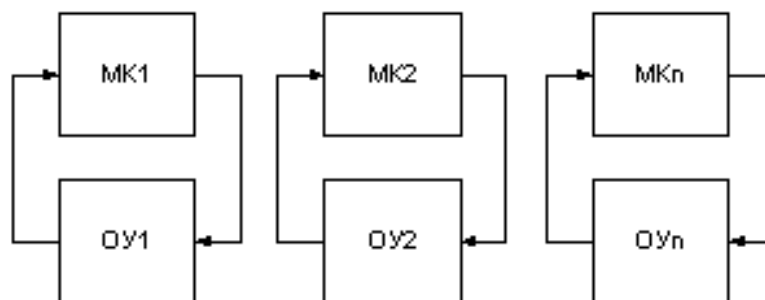


Рис. 2. Схема распределенной системы управления

В распределенной системе управления используются несколько МК в зависимости от числа каналов управления. Такие системы обладают повышенной надежностью вследствие того, что выход из строя одного микропроцессорного модуля не влияет на ход технологического процесса. В случае необходимости информация о состоянии ОУ может быть передана в центральный вычислительный модуль для решения общих для всех модулей управляющих задач. Аналогичные задачи управления можно решить с использованием центрального микропроцессорного устройства, управляющего группой объектов. Надежность такой системы определяется надежностью центрального микроконтроллера [2].

Рассмотрен пример микропроцессорного устройства – реверсивное устройство плавного пуска, торможения и защиты БСТ-12РА/380-33, которое представляет собой тиристорный пускатель с микропроцессорным управлением; предназначено для управления приводами запорной, регулирующей арматуры и электрическими исполнительными механизмами, имеющими в составе однофазные конденсаторные электродвигатели, либо трёхфазные синхронные или асинхронные электродвигатели [4].

Функциональная схема БСТ-12РА/380-33 представлена на рис. 3.

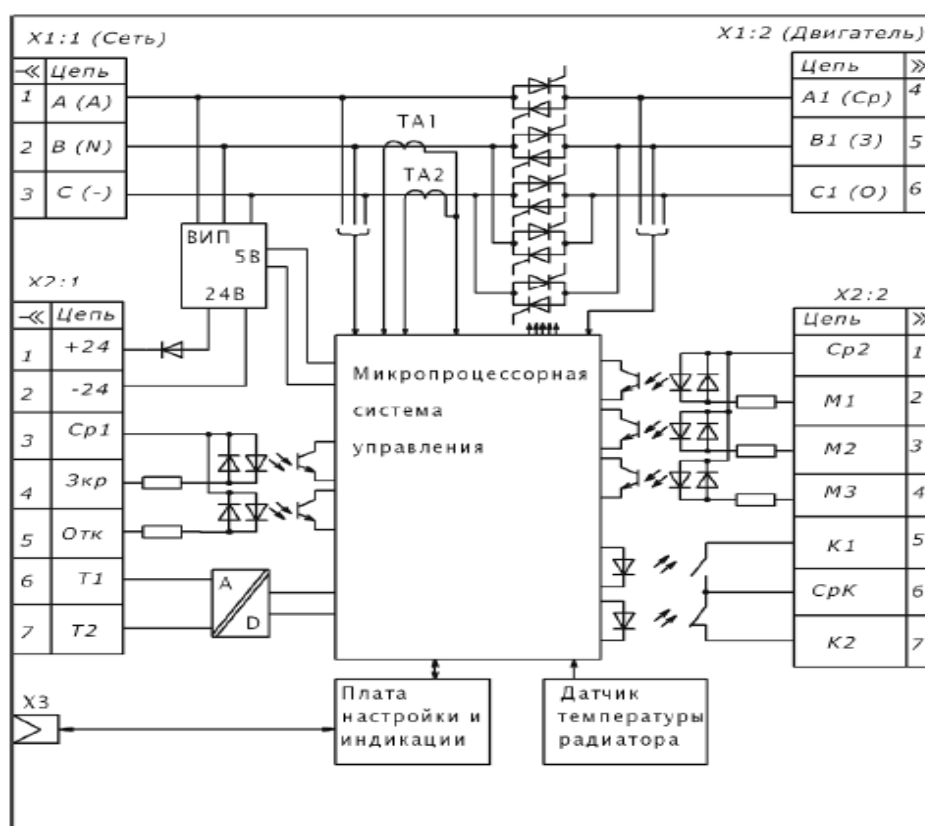


Рис. 3. Функциональная схема пускателя БСТ-12РА/380-33



В состав пускателя БСТ-12РА/380-33 входят радиатор, плата процессора, плата входов-выходов, силовая плата с тиристорами, плата настройки и индикации, а также кожух с откидной крышкой. На процессорной плате расположен микроконтроллер, предназначенный для обмена сигналами с узлами на других платах устройства. На плате настройки и индикации расположены настроечные резисторы, блоки микропереключателей, разъём, кнопки и индикаторы. На силовой плате располагаются микропереключатели для изменения диапазона измерения тока и клеммные колодки для подключения внешних цепей пускателя, а также тиристоры, элементы узла измерения тока, элементы узла управления тиристорами с опторазвязкой, элементы узла синхронизации с сетью, элементы источника питания и схемы измерения температуры пускателя.

На плате входов-выходов расположены схема контроля датчика температуры электродвигателя, выходные оптореле и элементы схемы опторазвязки входов управления.

Преимуществами БСТ-12РА/380-33 перед аналогичными бесконтактными пускателями являются надёжность; безударный пуск электропривода (особый алгоритм для пофазного включения обмоток, что позволяет убрать переходные процессы и удалить пульсации момента без влияния на быстродействие); возможность сохранять коды восьми последних ошибок, которые возможно просмотреть без остановки работы пускателя; индикация тока нагрузки; безударное торможение электропривода (алгоритм динамического торможения постоянным током с ограничением тока); интеллектуальная защита; помехоустойчивость. Можно сделать вывод, что пускатели типа БСТ-12РА/380-33 наиболее предпочтительны для управления регулирующей арматурой в условиях атомных электростанций, так как обеспечивают требуемый уровень безопасности, надёжны и превосходят аналоги в функциональном плане [4].

Выбор принципа построения проектируемых микропроцессорных систем зависит от многих взаимосвязанных факторов, важнейшими из которых являются стоимость, надёжность, гибкость, способность работать в реальном масштабе времени.

#### Литература

1. Гуров, В. В. Микропроцессорные системы: учебное пособие/ В. В. Гуров. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2023. – 336 с.
2. Садов, В. Б. Микропроцессорные системы управления: учебное пособие / В. Б. Садов, В. О. Чернецкий. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 59 с.

3. Смирнов, Ю. А. Основы микроэлектроники и микропроцессорной техники: учебное пособие / Ю. А. Смирнов, С. В. Соколов, Е. В. Титов. – 2-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2013. – 496 с.

4. Устройство плавного пуска, торможения и защиты реверсивное. БСТ-12РА/380-33. Руководство по эксплуатации БМДК.648600.005РЭ. – Екатеринбург: ООО НПФ «БИТЕК».

УДК 004.312

### **Математическое моделирование элементов микропроцессорной схемотехники в среде SimInTech**

Коломина Полина Сергеевна, студент направления

«Управление в технических системах»;

Ефремова Татьяна Александровна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Атомная энергетика»

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

*В статье рассматриваются принципы проектирования элементов микропроцессорной техники и моделирования их работы в среде SimInTech. Приведены примеры разработанных моделей шифратора, дешифратора и регистра. Проведено исследование поведения данных моделей с элементами ручного и автоматического управления и с получением временной диаграммы. Разработанные модели могут в дальнейшем использоваться для проектирования сложных элементов цифровой техники.*

На сегодняшний день моделирование элементов и устройств цифровой техники является актуальным, так как не требует значительного времени при проектировании устройства, имеется возможность разработки сложных принципов управления и исследование динамики работы элементов. В данной работе представлены модели элементов микропроцессорной техники в среде динамического моделирования технических систем SimInTech.

По своим возможностям SimInTech является отечественной альтернативой таким программным продуктам, как SIMULINK (MathWorks), VisSim (Visual Solution), LabView (National Instruments). Преимуществами SimInTech является то, что полноценная учебная версия распространяется бесплатно и полностью

русифицирована, имеет открытый интерфейс для интеграции с различным программным обеспечением, присутствуют инструменты создания интерфейсов управления, имеется возможность моделирования в режиме «реального времени». При этом программа обладает высокой гибкостью и скоростью решения сложных математических задач, обширной справочной системой поддержки [1].

Регистры используются для записи, хранения и сдвига кода слова. Словом, называется входной сигнал любых цифровых устройств. Параллельные регистры предназначены для хранения и передачи кода слова в другой регистр.

На рис. 1 представлена модель трехразрядного параллельного регистра на базе одноклапчатных D – триггеров с приведенной внутренней структурой.

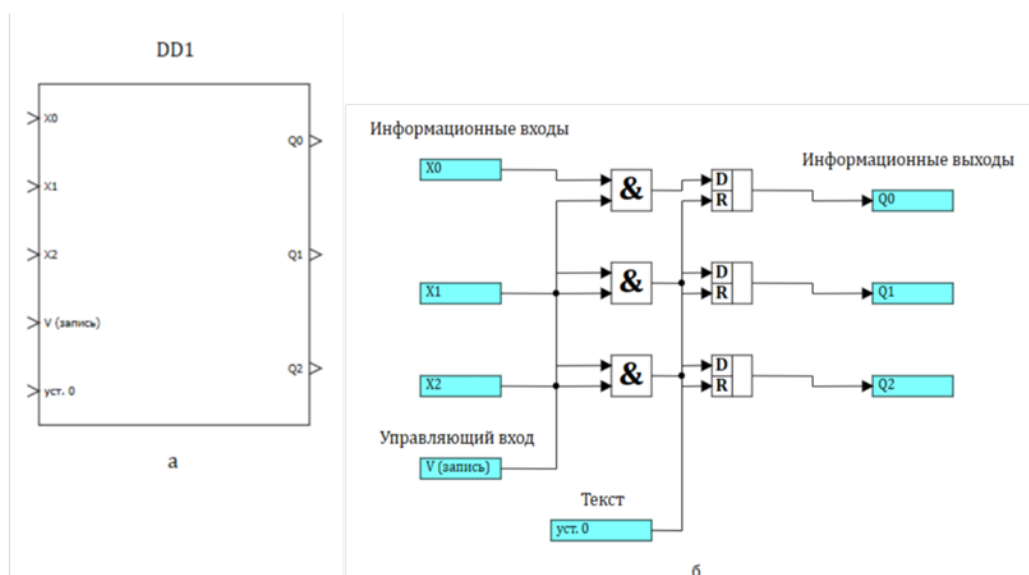


Рис. 1. Математическая модель трехразрядного параллельного регистра:  
а – субмодель; б – внутренняя структура

К данной субмодели можно подключить элементы ручного управления, то есть кнопки-переключатели (В1.1-В1.5), как показано на рис. 2.

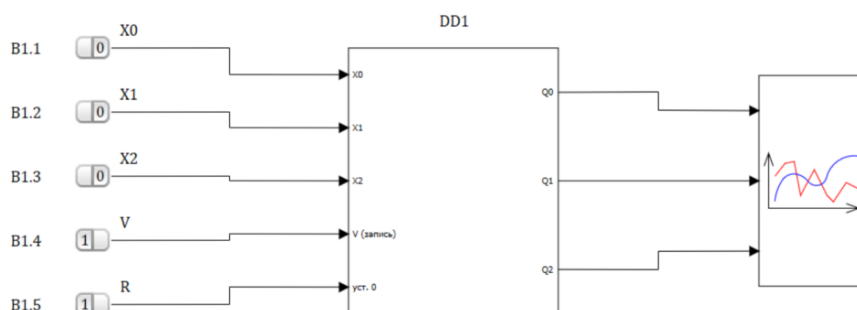


Рис. 2. Субмодель трехразрядного параллельного регистра  
с управляющими элементами

При запуске спроектированной модели отображаются значения на временной диаграмме, изображенной на рис. 3, которые были поданы на информационные входы, с помощью кнопок-переключателей.

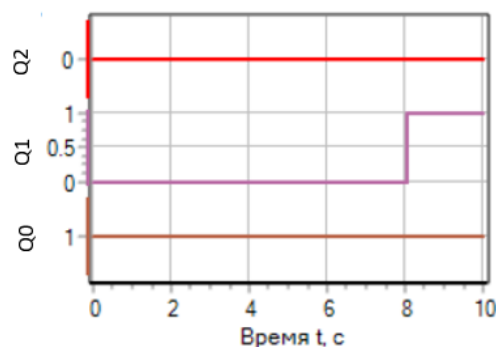


Рис. 3. Временная диаграмма работы параллельного регистра

Шифратор предназначен для преобразования входного единичного сигнала в соответствующий двоичный сигнал на выходе. Спроектирован пирамидальный шифратор на базе логических элементов «ИЛИ» (рис. 4).

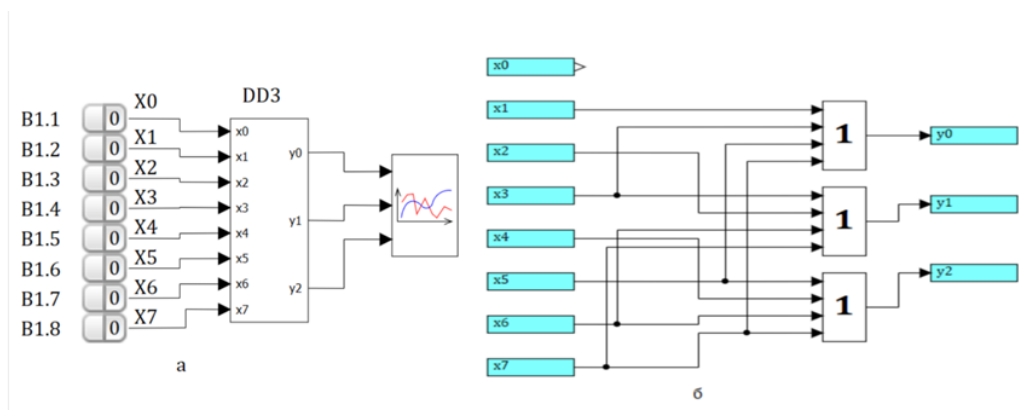


Рис. 4. Математическая модель пирамидального шифратора:  
а – субмодель; б – внутренняя структура

Для проверки работы шифратора подадим на вход «X<sub>3</sub>» единицу. Согласно логике работы устройства, на выходе устройства должно быть сформировано кодовое слово «011», что подтверждается временной диаграммой (рис. 5).

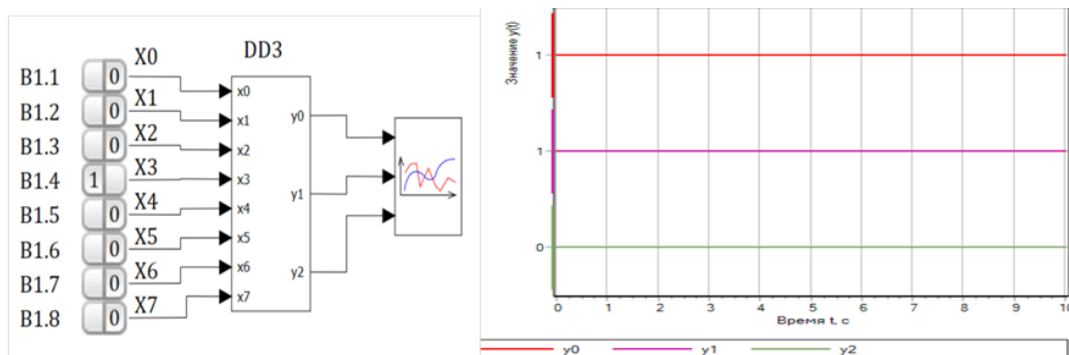


Рис. 5. Проверка работы шифратора

Дешифратор - это элемент цифровой техники, предназначенный для формирования «унитарного» сигнала на соответствующем выходе, при подаче на вход схемы определённого кода слова. Работает в обратной логике шифратора. Дешифраторы широко применяются в микропроцессорной технике. И главное их применение – это обеспечение возможности подключения нескольких регистров или ячеек памяти к одной шине данных.

На рис. 6 представлена математическая модель пирамидального дешифратора, построенного на базе логических элементов «И», а также его внутренняя структура.

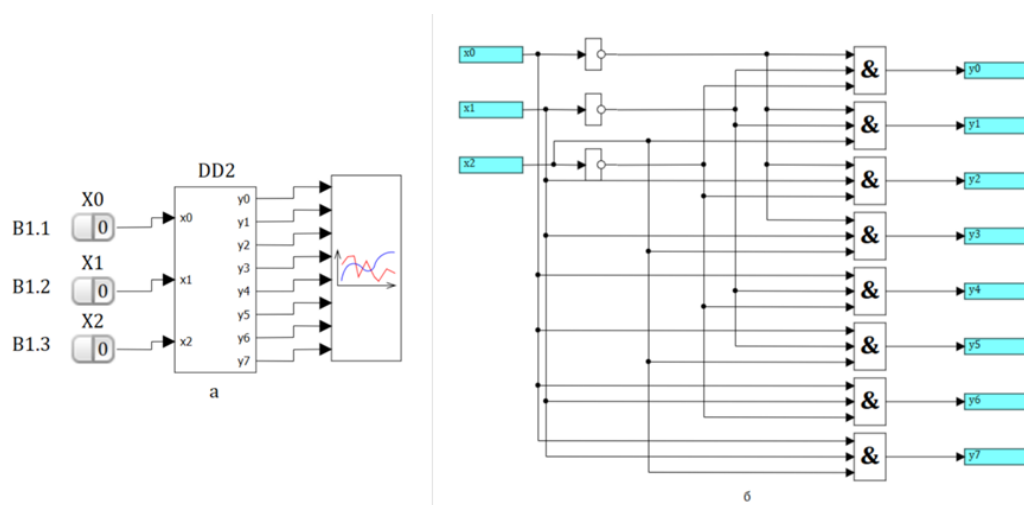


Рис. 6. Математическая модель пирамидального дешифратора:  
а – субмодель; б – внутренняя структура

Для проверки работы дешифратора (рис. 7) осуществляется подача на вход кода слова «011», а на выходе «У<sub>3</sub>» формируется единица.

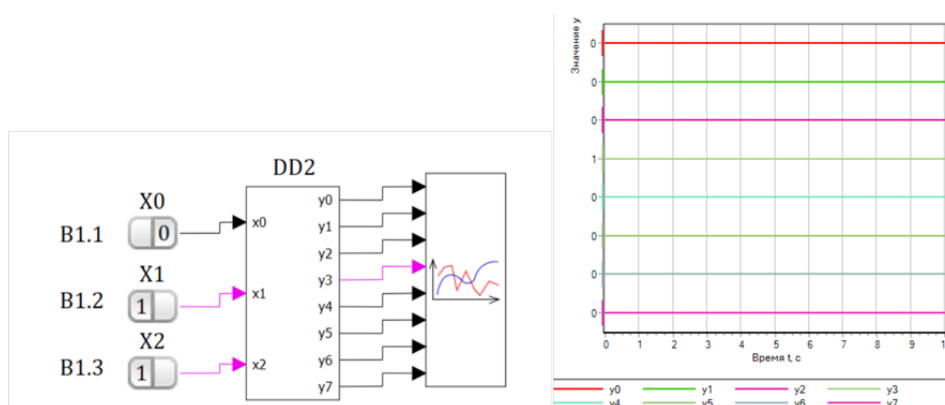


Рис. 7. Проверка работы дешифратора

Среда динамического моделирования SimInTech позволяет разрабатывать и исследовать поведение моделей различных цифровых устройств, это, в свою очередь, может использоваться для изучения принципа действия и свойств элементов, для проектирования и оптимизации сложных устройств микропроцессорной техники.

## Литература

1. Герман-Галкин, С. Г. Модельное проектирование электромеханических мехатронных модулей движения в среде SimInTech: практикум по моделированию систем автоматического регулирования / С. Г. Герман-Галкин, Б. А. Карташов, С. Н. Литвинов. – М.: ДМК Пресс, 2021.

2. Пионкевич, В. А. Математическое моделирование элементов цифровой электроники для решения задач автоматического управления в энергетике / В. А. Пионкевич // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. – № 4(111). – С. 136-144.

3. Справочная система SimInTech (v11.03.2022). Начало работы со справочной системой: [сайт]. – URL: [https://help.simintech.ru/#spravochnaya\\_sistema\\_i\\_ee\\_nastrojka/DIR\\_nachalo\\_raboty\\_so\\_spravochnoj\\_sistemoj.html](https://help.simintech.ru/#spravochnaya_sistema_i_ee_nastrojka/DIR_nachalo_raboty_so_spravochnoj_sistemoj.html) (дата обращения: 5.12.2023). – Текст: электронный.

УДК 681.52

### **Разработка системы автоматического регулирования температуры газовой смеси в системе дожигания водорода атомной станции с реактором ВВЭР-1000**

Конев Максим Андреевич, 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 рассмотрены вопросы, связанные с процессом дожигания водорода в теплоносителе первого контура. Предложена система автоматического регулирования температуры газовой смеси, поступающей на всас газодувок, за счет изменения расхода воды, являющейся охлаждающей средой для охладителей выпара и газа. Проведено моделирование САР и разработана функциональная схема автоматизации.*

Возможность горения водородно-воздушных смесей, угрожающих жизни людей, целостности защитной оболочки или работоспособности основного технологического оборудования на атомных электростанциях (АЭС) с водоохлаждаемыми реакторными установками (РУ) учитывалась еще с момента зарождения атомной энергетики.

При нормальной эксплуатации водород всегда присутствует в теплоносителе первого контура реакторной установки вследствие диссоциации молекул воды в результате воздействия нейтронного и гамма-излучения. В целях недопущения скопления водорода во взрывоопасных концентрациях более 3 % в оборудовании РУ ВВЭР-1000 (В-320) производится продувка оборудования азотом для разбавления газовой смеси и ее удаления. Для наиболее мощного источника выделения, возможного скопления и образования взрывоопасной концентрации водорода – деаэрата подпиточной воды – имеется специально сконструированная система для сбора и утилизации выделяющегося из продувочной воды первого контура водорода, называемая системой сжигания водорода [1].

В режиме нормальной эксплуатации парогазовая смесь из деаэрата подпиточной воды поступает в охладитель выпара, где пар конденсируется. Из охладителя выпара несконденсированные газы, такие как кислород, азот, водород и инертные радиоактивные газы, поступают в циркуляционный контур системы, который содержит охладитель газов, буферные емкости, газодувки, электронагреватели и контактные аппараты. Как известно, газодувки системы сжигания водорода имеют некоторые конструкционные особенности. Главной особенностью герметичных ротационных компрессорных машин такого типа является наличие малых тепловых зазоров между роторами и корпусом, которые составляют величину порядка 0,2 мм. Ввиду столь малых зазоров, существуют вероятность заклинивания машины и выхода ее из строя при повышении температуры выше регламентной, что непременно приведет к нарушению установившегося режима работы всей системы сжигания водорода [2].

Для исключения возможности снижения надежности и эксплуатационной готовности оборудования системы предлагается разработать систему автоматического регулирования (САР) температуры газовой смеси, поступающей на всас газодувок, за счет изменения расхода воды, являющейся охлаждающей средой для охладителей выпара и газа.

В данном случае, в роли технологического объекта управления выступает комплекс теплообменных аппаратов системы сжигания водорода, состоящий из охладителя выпара деаэрата подпиточной воды и охладителя газа. Регулируемой величиной является температура газовой смеси, поступающей на газодувки системы. Основным регулирующим воздействием является изменение расхода охлаждающей технической воды ответственных потребителей реакторного отделения (VF), подаваемой на теплообменники системы. В системе присутствуют такие возмущающие воздействия, как изменение расхода выпара деаэрата подпитки и изменение

температуры выпара, вследствие колебания расхода пара, поступающего от редуцирующей охлаждающей установки машзала для нагревания воды в баке-аккумуляторе деаэратора. Структура предлагаемой САР температуры газовой смеси представлена на рис. 1.

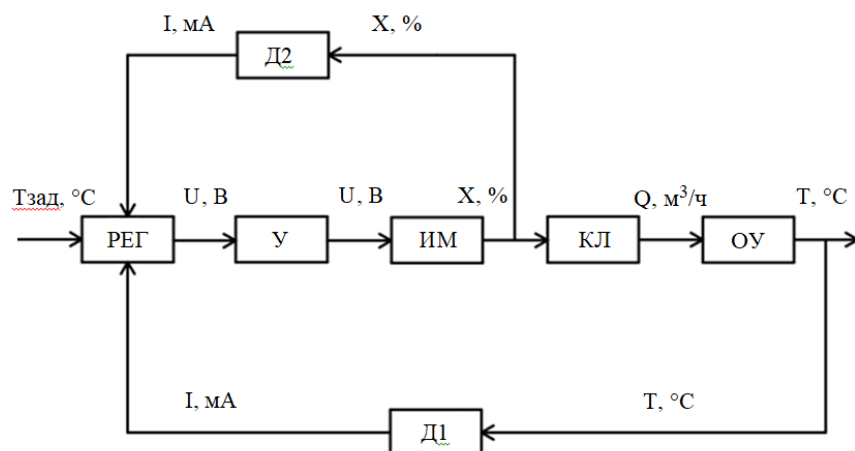


Рис. 1. Структурная схема системы автоматического регулирования

Принцип работы системы заключается в постоянном сравнении значения температуры ( $T_{зад}, ^\circ\text{C}$ ), заданного в регуляторе (РЕГ), представленном программируемым реле, и текущего значения температуры ( $T, ^\circ\text{C}$ ) в технологическом объекте управления (ОУ), полученного с помощью датчика температуры (Д1) в качестве унифицированного токового сигнала ( $I, \text{мА}$ ). В случае расхождения значений, указанных выше, регулятор вычисляет ошибку рассогласования и определяет величину регулирующего воздействия, формируя сигнал ( $U, \text{В}$ ) на перемещение регулирующего органа клапана (КЛ). Сигнал с программируемого реле поступает на усилитель (У), представленный реверсивным магнитным пускателем. Сигнал с усилителя ( $U, \text{В}$ ) приводит в действие исполнительный механизм (ИМ), изменяющий положение ( $X, \%$ ) регулирующего клапана, в соответствии с командой программируемого реле. Сигнал о степени открытия регулирующего клапана ( $I, \text{мА}$ ) передается в регулятор с помощью датчика положения (Д2) для его последующей корректировки. За счет использования жесткой обратной связи по положению регулирующего клапана возникает возможность пропорционального регулирования. Изменение степени открытия регулирующего клапана приводит к изменению его гидравлического сопротивления и, как следствие, изменению расхода ( $Q, \text{м}^3/\text{ч}$ ) технической воды ответственных потребителей на теплообменники системы, регулируя тем самым интенсивность теплообмена и температуру газовой смеси на выходе охладителей.

Для моделирования САР произведен расчет передаточных функций всех элементов системы (табл. 1).



Передаточные функции элементов САР

№	Элемент САР	Передаточная функция
1	Датчик температуры	$W_{д1}(p) = \frac{0,0696}{30p + 1}$
2	Датчик положения	$W_{д2}(p) = \frac{\Delta I}{\Delta \varphi} = \frac{20 - 4}{\pi / 2 - 0} = 10,191$
3	Усилитель (пускатель)	$W_y(p) = \frac{380}{24} = 15,83$
4	Регулятор	$W_{рег}(p) = k_{п} + \frac{k_{и}}{p} + k_{д} p$
5	Исполнительный механизм (МЭО)	$W_{эп}(p) = \frac{0,31}{(0,087p + 1)p}$
6	Регулирующий клапан	$W_{кл}(p) = \frac{0,0069 - 0}{\pi / 2 - 0} = 0,0044$
7	Объект регулирования	$W_{оп}(p) = \frac{43065}{12600p + 1}$

Схема модели САР в среде SimInTech представлена на рис. 2 [3].

Значение задающего воздействия, равное 30 °С, выбрано исходя из того, что регламентный диапазон температуры газовой смеси, поступающей из охладителя газа в буферные емкости системы, составляет 20 - 40 °С.

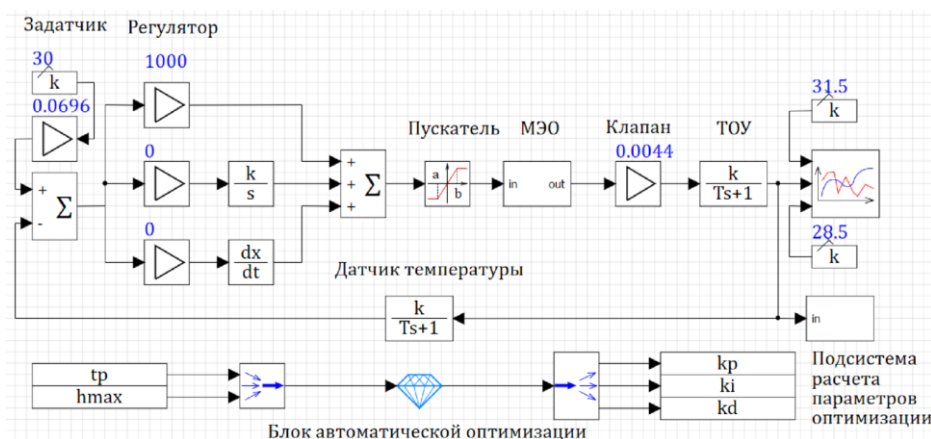


Рис. 2. Схема модели САР в SimInTech

В схему системы включен блок автоматической оптимизации параметров регулятора. Стартовые значения критериев оптимизации, определенные экспериментальным путем:  $k_{п} = 1000$ ;  $k_{и} = 0$ ;  $k_{д} = 0$ . После запуска моделирования и отработки блока оптимизации определены следующие оптимальные значения коэффициентов регулятора:  $k_{п} = 748,53$ ;  $k_{и} = 0$ ;  $k_{д} = 0$ , то есть закон регулирования

также остался пропорциональным, его достаточно для получения качественных динамических свойств САР. На рис. 3 изображен график переходного процесса системы, настроенной с помощью блока автоматической оптимизации.

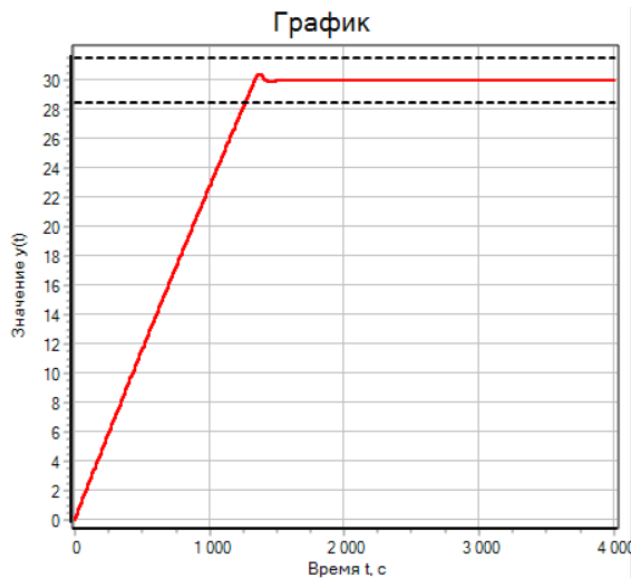


Рис. 3. Переходный процесс оптимизированной САР

По графику переходного процесса можно понять, что система является устойчивой. Установившееся значение переходного процесса  $h_{уст} = 30$ . Время регулирования несколько составляет  $t_p = 1268$  секунд (столь высокое время регулирования в данной системе обусловлено инерционностью технологического объекта управления, в роли которого выступает комплекс из газо-жидкостных теплообменных аппаратов). Значение перерегулирования  $\sigma = 1,27\%$ , что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системе.

Функциональная схема автоматизации для проектируемой системы автоматического регулирования представлена на рис. 4.

Чувствительный элемент датчика температуры (ТЕ 1а), определяющий текущее значение температуры газа, установлен в трубопроводе с газовой смесью, поступающей от теплообменников системы сжигания водорода. Сигнал с чувствительного элемента датчика температуры поступает на нормирующий преобразователь (П1 б) с функцией индикации, установленный по месту. Унифицированный токовый сигнал после вторичного преобразователя идет на регулятор температуры (ТС 1в), расположенный на щите управления. Также в регулятор еще подается сигнал о текущем положении регулирующей арматуры с датчика положения (GI 2А), показания с которого выведены на блочный щит управления.

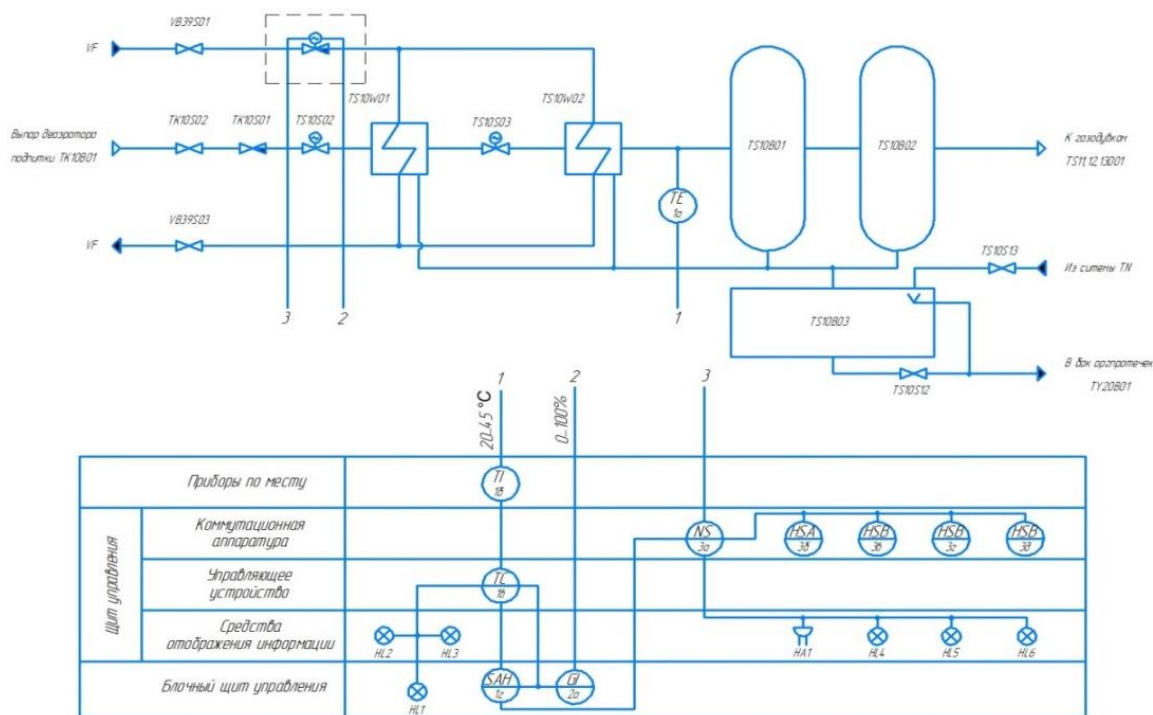


Рис. 4. Функциональная схема автоматизации

Управление клапаном, регулирующим расход технической воды ответственных потребителей реакторного отделения, подающейся на теплообменники системы, осуществляется с помощью пусковой аппаратуры электропривода (NS 3a), установленной на щите управления. Регулирование возможно производить в автоматическом и ручном режиме. Выбор режима осуществляется переключателем на аппаратуре ручного управления (SAH 1Г), установленной на блочном щите управления.

В автоматическом режиме управляющий сигнал об открытии/закрытии регулирующего клапана поступает с регулятора температуры (TC 1b) через блок ручного управления на магнитный пускатель электропривода.

В ручном режиме перемещение регулирующего клапана осуществляется с помощью кнопок, встроенных в блок ручного управления и непосредственно воздействующих на пусковую аппаратуру.

В системе также предусмотрено наличие режима местного управления, разрешение/запрет которого производится ключом (HSA 3Б), смонтированным на щите управления. В режиме управления «по месту» открытие и закрытие регулирующей арматуры осуществляется кнопками (HSB 3В и HSB 3Г), установленными также на щите управления. С помощью кнопки (HSB 3Д) на щите управления производится экстренная блокировка пусковой аппаратуры в аварийном режиме.

В системе автоматического регулирования предусмотрена световая и звуковая сигнализация. Индикация превышения температуры газовой смеси значения 50°C

осуществляется с помощью лампы (HL1), установленной на блочном щите управления. Режим работы регулятора обозначается световой сигнализацией на щите управления с помощью ламп (HL2 и HL3). Открытие и закрытие регулирующего клапана обозначается лампами (HL5 и HL6) на щите управления. Об аварийном режиме работы магнитного пускателя электропривода клапана свидетельствует срабатывание звуковой (зуммер HA1) и световой сигнализации ( лампа HL4), расположенной на щите управления.

Также на основании функциональной схемы разработана электрическая принципиальная схема и осуществлено программирования реле в среде Owen Logic.

Таким образом, использование разработанной системы автоматического регулирования температуры газовой смеси в составе системы сжигания водорода атомной станции с РУ ВВЭР-1000 направлено на повышение надежности и эксплуатационной готовности оборудования системы сжигания водорода, что способствует достижению непрерывного характера работы системы во всех режимах нормальной эксплуатации энергоблоков, то есть повышению ядерной, радиационной и технической безопасности на АЭС, в соответствии с требованиями норм и правил в области использования атомной энергии.

#### Литература

1. Кириллов, И. А. Обеспечение водородной безопасности на атомных электростанциях с водоохлаждаемыми реакторными установками. Современное состояние проблемы / И. А. Кириллов, Н. Л. Харитонов, Р. Б. Шарафутдинов, Н. Н. Хренников // Ядерная и радиационная безопасность. – 2017. – № 2(84). – С. 26-37.

2. Балаковская атомная станция. Сборник пособий для персонала реакторных цехов Балаковской АЭС. Книга 2. Технологические системы реакторного отделения. – Балаково, 2017. – С. 288.

3. Справочная система SimInTech: [сайт]. – URL: <https://help.simintech.ru/> (дата обращения: 30.11.2023).

### **Анализ методов обслуживания робототехнических комплексов**

<sup>1</sup>Коробейников Илья Сергеевич, аспирант;

<sup>2</sup>Петров Дмитрий Юрьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
доцент кафедры «Системотехника и управление в технических системах»

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр

«Саратовский научный центр Российской академии наук»,

Конструкторское бюро промышленной автоматики, г. Саратов;

<sup>2</sup>Институт проблем точной механики и управления – обособленное

структурное подразделение Федерального государственного

бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра

«Саратовский научный центр Российской академии наук», г. Саратов

*В работе проведен анализ обслуживания технических систем по фактическому состоянию и риск-ориентированным методом применительно к роботизированным комплексам, состоящим из нескольких электроприводов. Предложен ряд критериев оценки эффективности технологий обслуживания технических систем.*

Современные промышленные производства широко используют для автоматизации технологических процессов робототехнические комплексы (РК), отличающиеся сложностью кинематических схем и объединяющие большое количество электроприводов (ЭП). Взаимосвязанный, динамически меняющийся режим работы РК, сложность замера и анализа физических параметров рабочих процессов ЭП требует учета следующих факторов, при оценке эффективности вложения средств в систему технического обслуживания РК:

1) качественная и количественная степень верификации математической модели, описывающей остаточный ресурс отдельных ЭП и в целом РК, статистикой регистрации фактов отказов и аварий. Например, в работе [1] предложена зависимость между количественными показателями надежности элементов технической системы и количественной характеристикой степени износа технической системы в виде выражения:

$$H_{(t)} = (e^{\lambda(t-t_0)} - 1) \cdot 100\% , \quad (1)$$

где  $H_{(t)}$  – оценка технического состояния степени износа;  $\lambda$  – показатель увеличения износа технической системы;  $t_0$  – промежуток времени, требуемый для «приработки»

обслуживаемой технической системы;  $t_i$  – конструктивно заданный срок эксплуатации технической системы.

Следует отметить, что в выражении (1) в непосредственном виде отсутствуют параметры характеризующие историю работы СП, что ставит задачу поиска зависимости показателя  $\lambda$  от параметров загрузки СП (во всем диапазоне времени его работы в составе РК);

2) влияние структуры РК и особенностей выполняемых технологических операций на режим работы составляющих его ЭП;

3) доступность получения информации о фактическом режиме работы ЭП при минимальной стоимости системы сбора и первичного анализа данных, а также при обеспечении требуемого уровня погрешности получаемых данных;

4) особенности программно-аппаратной реализации системы мониторинга, прогнозирования и экспертного сопровождения принятия решения о выводе в ремонт современных РК.

Комплексное решение задачи снижения эксплуатационных затрат на обслуживание РК возможно с применением современных технологий построения цифровых двойников [2], обеспечивающих мониторинг фактического состояния РК и его составляющих, а также его прогнозирование на требуемый временной промежуток для принятия решения о мероприятиях по обслуживанию. При этом основной структурной составляющей РК, фактическое состояние которой в наибольшей степени оказывает влияние на работоспособность и надежность всего РК, является ЭП, включающая в себя электрические двигатели, информационно-силовые платы управления и силовые кинематические схемы, разделенные на отдельные структурные элементы, согласно их назначению, в выполняемых РК операциях. Данный факт обуславливает актуальность анализа методик обслуживания ЭП по его фактическому состоянию, так как планово-предупредительный подход не позволяет сформировать оптимальную методику организации ремонтных работ по причине не избирательности воздействий и отсутствия оценки результата проведенных ремонтных мероприятий [3]. При этом, зачастую под целью обслуживания по фактическому состоянию понимается необходимость обеспечения работоспособности эксплуатируемого оборудования до момента выхода его ключевых составляющих из строя. В условиях слабой регламентации методик оценки остаточного ресурса обслуживаемого оборудования и отсутствия заданных ограничений в нормативной документации, это не позволяет оценить эффективность вложения средств в систему обслуживания оборудования [4, 5].

В работах [7, 8] представлены подходы анализа методик технического обслуживания по фактическому состоянию, позволяющие оптимизировать результат ремонтных операций и уменьшить их стоимость. При этом, фактическое состояние сложной эксплуатируемой технической системы оценивается вектором состояния  $\bar{x}_{(t)}$ , изменяющимся во времени плавно или скачкообразно (например, для систем со структурной избыточностью). В рассматриваемый момент времени  $t$  по наблюдаемой траектории  $\bar{x}_k$  можно принять только одно из двух решений:

а) не вмешиваться в работу обслуживаемой технической системы и продолжить наблюдение;

б) прекратить работу обслуживаемой технической системы и путем соответствующих ремонтных мероприятий и регулировок вернуть систему в исходное штатное состояние.

В качестве оптимальной методики определения эффективности сервиса сложной технической системы предложено применить лемму Дуба [9] для расчета оптимальных моментов времени принятия решения об остановке и ремонте эксплуатируемой технической системы.

Таким образом, применяемые методики обслуживания технических систем по фактическому состоянию в настоящее время не позволяют реализовать меры оптимизации затрат на ремонтные операции, в связи с чем, наиболее актуальной задачей, в настоящее время является выработка критериев оценки эффективности вложения средств в мероприятия по переходу обслуживания оборудования по его фактическому состоянию.

#### Основные положения

Основной задачей совершенствования методологии обслуживания оборудования по фактическому состоянию можно обозначить необходимость уменьшить промежутки времени, необходимый для выработки экспертного предложения для вывода в ремонт обслуживаемого оборудования, менее чем длительность переходных процессов развития предаварийного состояния оборудования [10]. Поэтому одним из критериев оценки эффективности методики обслуживания оборудования по фактическому состоянию является отношение времени развития предаварийного процесса с момента нормальной работы до момента начала неконтролируемой аварийной ситуации  $T_{n.ав.}$  к глубине прогнозного состояния обслуживаемого оборудования  $T_{прог.}$ :

$$K_1 = \frac{T_{n.ав.}}{T_{прог.}} \leq 1. \quad (2)$$

При статистически неопределенной оценке остаточного ресурса, согласно (1), составляющие выражения (2) также будут иметь вероятностную оценку. При реализации технологии цифрового двойника обслуживаемого оборудования, вероятность оценки коэффициента  $k_1$  должна стремиться к однозначной определенности. Данный факт определяет требования к содержанию и технической реализации цифрового двойника СП, в том числе: частоте получения информации (кадра) о фактическом состоянии отдельного СП и в целом РК; глубине прогноза фактического состояния РК, а также времени получения результатов данного прогноза; времени реакции системы защиты РК от аварийных ситуаций.

Численные значения, характеризующие данные требования, зависят от системной особенности обслуживаемого оборудования, интерпретирующей обслуживаемое оборудование в форме взаимодействующих физических подсистем (механической, тепловой, электромеханической, электрической, информационной и т. д.). При этом критериями оценки реализуемой методики обслуживания оборудования по фактическому состоянию являются [11]:

1) список параметров, характеризующих фактический режим работы оборудования. Численной характеристикой данного критерия может быть отношение используемых в алгоритме обслуживания первичных параметров (энергопотребление; спектр издаваемых шумов; производительность; функция распределения температуры и т. д.) к полному количеству степеней свободы (обобщенных координат) физических подсистем, на которые декомпозировано обслуживаемое оборудование (потребляемые токи во всех обмотках электродвигателей РК; пространственные координаты подвижных элементов РК, включая их первые и вторые производные (скорости и ускорения); силовые моменты в ключевых точках кинематической схемы РК; температуры ключевых элементов РК и т. д.) –  $k_1$ ;

2) взаимосвязанные оценки диапазонов нормальной, предаварийной и аварийной численной оценки параметров, характеризующих режим работы оборудования –  $k_2$ . Данные параметры могут являться динамическими функциями времени или остаточного ресурса работы оборудования. Например, в работе [12] описан алгоритм принятия решения о выводе технической системы в ремонт при принятии решения в случае выхода контролируемого параметра за диапазон  $k_2 = \pm 15\%$  от допустимого значения. В общем случае, параметр  $k_2$  является матрицей с длиной равной количеству качественно отличных режимов работы РК (нормальный режим, ремонт, авария, отказ и т. д.) и шириной, равной количеству контролируемых параметров;



3) постоянные переходных процессов развития предаварийной и аварийной ситуаций в подсистемах обслуживаемого оборудования  $k_3$ , представляющий собой вектор с длиной, равной количеству анализируемых переходных процессов (в электрических цепях, изменения температуры контролируемых участков РК и т. д.);

4) степень охвата параметров, характеризующих фактическое состояние оборудования, датчиками первичной информации, а также временное запаздывание в получении полной информационной картины фактического режима обслуживаемого оборудования  $k_4$ . По мере совершенствования технологии обслуживания параметр  $k_4 \rightarrow 1$ ;

5) матрица соответствия мероприятий по обслуживанию РК (осмотр, наладка, регулировка, ремонт, капитальный ремонт и т. д.) результатам оценки фактического состояния оборудования. По результатам оценки затрат на проведение данных мероприятий и влияния их результатов на величину остаточного ресурса оборудования, данный параметр численно можно представить в виде вектора  $k_5$  с длиной, равной количеству мероприятий, рекомендуемых методом обслуживания для восстановления остаточного ресурса РК (осмотр, ремонт, замена составляющих и т. д.);

6) степень нормативного регулирования методик принятия решения о выводе обслуживаемого оборудования в ремонт со стороны государственных органов технадзора или профильных институтов. При развитой нормативной базе  $k_6 \rightarrow 1$ .

На основании предложенных критериев возможно оценить степень эффективности мероприятий по обслуживанию РК, например, с помощью моделирования и, последующей оптимизации ремонтных воздействий, а также результата их воздействия на фактическое состояние РК. Это предполагает внедрение новых средств непрерывного мониторинга параметров рабочих процессов РК. Внедрение рассмотренных методов дает возможность прогнозирования параметрической надежности, выявления потенциальных отказов и их предупреждения, что, в свою очередь, позволяет реализовать техническое обслуживание по фактическому состоянию [12].

В этой связи основными критериями сравнения систем обслуживания являются:

- а) величина экономического ущерба от аварийной ситуации;
- б) капитальные и эксплуатационные вложения в построение системы обслуживания;

в) степень морального износа технологии обслуживания, в сравнении с присутствующими на рынке методиками обслуживания, реализуемыми на базе программно-аппаратных комплексов различной степени сложности.

В табл. 1 представлена оценка степени влияния на величину вероятного ущерба от факта аварии РК предложенных критериев оценки следующих методов обслуживания: по фактическому состоянию [1, 5, 11] и риск-ориентированная методика [3, 4, 6, 7, 8, 12].

Таблица 1

Сравнение методов обслуживания робототехнических комплексов

Метод обслуживания	Критерий оценки метода					
	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$
По фактическому состоянию	≈	+	+	≈	-	-
Риск-ориентированный	≈	-	-	≈	+	+

На основании сравнения методов обслуживания оборудования можно сделать вывод о том, что каждый из них имеет собственную нишу оптимального применения. Если риск-ориентированные методики обслуживания целесообразно применять для обслуживания групп РК или предприятия в целом (на «верхнем» уровне обслуживания), то обслуживание по фактическому состоянию следует применять при обслуживании отдельно рассматриваемого РК или его отдельных составляющих (сервопривода, системы сбора и обработки данных, программного обеспечения и т. д.).

Выводы.

Проведен анализ состояния методологии обслуживания сложных технических систем по фактическому состоянию.

Предложены критерии оценки эффективности технологий обслуживания технических систем, позволяющие сравнить методики обслуживания технических систем, а также степень их морального устаревания.

Работа выполнена в ИПТМУ РАН по государственному заданию Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FFNM-2022-0010 «Разработка интеллектуальных моделей и методов управления сложными человеко-машинными системами в условиях критических ситуаций»).

#### Литература

1. Пляскин, А. К. Особенности применения технологии информационного моделирования для мониторинга фактического технического состояния локомотивов /

А. К. Пляскин, А. С. Кушнирук // Бюллетень результатов научных исследований. – 2019. – Вып. 2. – С. 58-71.

2. Прохоров, А. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. Издание первое, исправленное и дополненное / А. Прохоров, М. Лысачев. – 1-е изд., исправл. и доп. – М.: ООО «АльянсПринт», 2020. – 401 с.

3. Обоснование выбора управляющего воздействия при организации технического обслуживания и ремонта электрооборудования / И. М. Казымов, Б. С. Компанец, Д. А. Боярков, И. И. Михайлов // Технические науки. Электротехнические комплексы и системы. – Известия ТулГУ, 2022. – Вып. 8. – С. 481-486

4. Лонцих, П. А. Управление качеством. Прогнозирование, риск-менеджмент, оптимизация / П. А. Лонцих, Д. А. Марцынковский, А. Н. Шулешко // Материалы XIII Международной конференции «Менеджмент качества, инновации, сертификация систем менеджмента». – Алма-Ата, 2011. – С. 97-103.

5. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2004. – 304 с.

6. Риск-ориентированное управление старением электрооборудования систем нормальной эксплуатации АЭС по техническому состоянию / А. Н. Назарычев, Д. А. Андреев, О. С. Мельникова, А. А. Пугачев // Материалы 93-его заседания семинара «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики». – Иркутск: Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, 2021. – С. 9-18.

7. Варнаков, Д. В. Теоретические основы концепции технического сервиса машин по фактическому состоянию на основе оценки их параметрической надежности / Д. В. Варнаков, О. Н. Дидманидзе // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2017. – № 2(57). – С. 67-71.

8. Варнаков, Д. В. Оптимизация системы технического сервиса путем внедрения обслуживания по фактическому состоянию машин / Д.В. Варнаков, В.А. Варнаков, М. Е. Дежаткин // Вестник ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 169.

9. Надёжность и эффективность в технике. Справочник / Под ред. В. И. Кузнецова [и др.]. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.

10. Дюндиков, Е. Т. Адаптивные методы формализации и представления знаний о состоянии динамических систем / Е. Т. Дюндиков, А. В. Чепелев,

А. Н. Белов // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2016. – № 1. – С. 50-63

11. Максимова, М.А. Алгоритм определения технического состояния электрической машины / М.А. Максимова, О.В. Хруцкий // Электротехника. – 2007. – № 12. – С. 40-44.

12. Дидманидзе, О. Н. Концепция технического сервиса по фактическому состоянию машин на основе оценки их параметрической надежности / О.Н. Дидманидзе, Д.В. Варнаков, В.В. Варнаков // Технический сервис в АПК. – 2016. – № 2. – С. 51-57.

УДК 621.161

### **Паровые двигатели: эволюция технологии и влияние на прогресс человечества**

<sup>1</sup>Крикунов Александр Денисович, обучающийся

<sup>2</sup>Савочкин Иван Сергеевич, студент направления  
«Теплоэнергетика и теплотехника»;

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

<sup>1</sup>Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение «Гимназия № 1 имени Героя Советского Союза Д.З. Тарасова» г. Балаково Саратовской области;

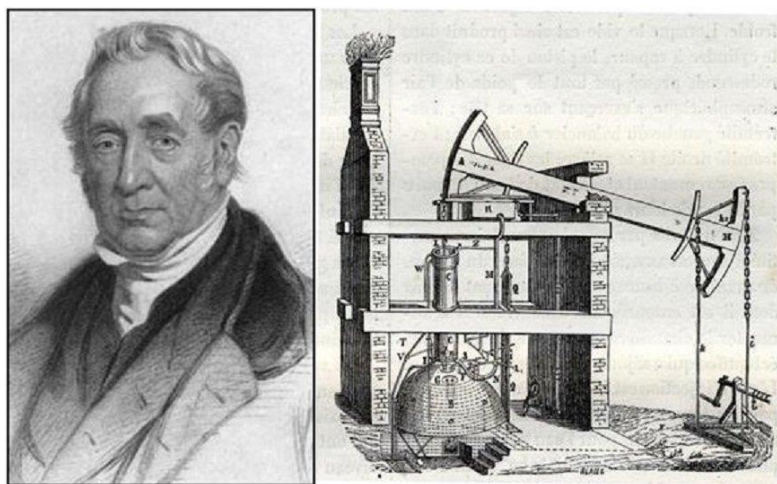
<sup>2</sup>Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Балаково

*Статья представляет собой краткий обзор развития паровых машин от начала их появления до наших дней. Рассмотрены области применения по мере их появления, изменения в конструкции и их возможности. В последние годы интерес к паровым машинам снова возник, т.к. их можно применять в системах утилизации теплоты различных производств в рамках программы энергосбережения, что является более эффективным, чем при использовании других методов преобразования остаточной тепловой энергии в электроэнергию.*

Паровые двигатели являются одним из наиболее значимых изобретений в истории технологического прогресса. С самого своего появления они оказали огромное влияние на развитие экономики общества. В данном докладе мы рассмотрим эволюцию технологии паровых двигателей и их влияние на прогресс человечества.

Ранние паровые двигатели.

История паровых двигателей начинается в конце XVII века с изобретения Томасом Савери первого парового насоса в 1698 году. Он использовал пар для перемещения воды из шахт, что значительно упростило и ускорило процесс добычи полезных ископаемых. Впоследствии, в 1712 году, Томас Ньюкомэн разработал более совершенный паровой насос, который получил название «Двигатель Ньюкомэна» (рис. 1). Этот двигатель использовался в различных отраслях промышленности и стал предвестником дальнейшего развития паровых механизмов [1].



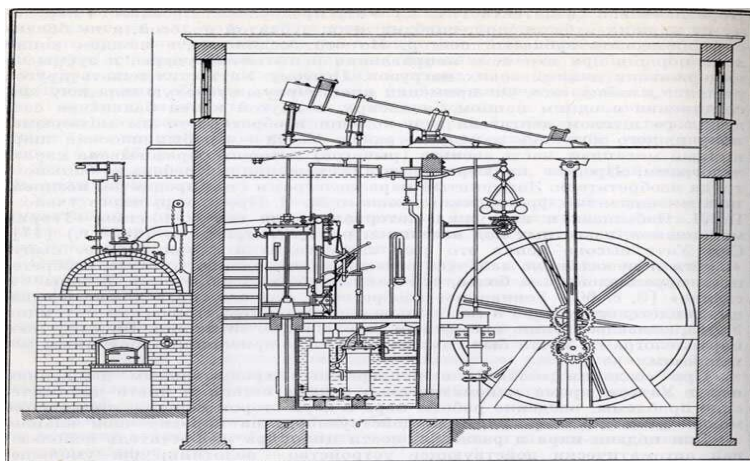
*Рис. 1. Двигатель Ньюкомэна*

Развитие парового двигателя.

Следующим важным веком в истории паровых двигателей стало изобретение Джеймсом Уаттом в 1769 году двигателя с отдельным выпуском и конденсационным баком, который стал известен как «Паровая машина Уатта». Этот двигатель использовался для вращения колеса и приведения в действие различных механизмов. Он был более эффективным и экономичным по сравнению с предшествующими моделями, что позволило его широкое распространение в технически развитых странах [2].

Влияние паровых двигателей на индустриальную революцию.

Индустриальная революция, начавшаяся в конце XVIII века в Великобритании, была неразрывно связана с использованием паровых двигателей. Ранее производство основывалось на ручном или животном труде, а теперь паровые машины могли заменить эти устаревшие методы. Они использовались для приведения в действие фабричных механизмов, шахтной подъемной техники, железнодорожных локомотивов и судов (рис. 2). Развитие паровых машин стимулировало экономический и технологический прогресс, позволяя производить большое количество товаров и расширять рынки сбыта [3].



*Рис. 2. Паровой двигатель Джеймса Уатта, с 1774 года применялся на шахтах и фабриках*

Развитие паровых двигателей в XIX веке.

В XIX веке паровые двигатели продолжали совершенствоваться. Одним из выдающихся достижений этого периода было изобретение Эгне Карла Верльта в 1783 году двойного действия паровой машины, которая позволяла использовать пар в обоих направлениях. Также важным этапом было создание Стефеном Вулканье в 1803 году парового двигателя под высоким давлением, который обеспечивал более высокую эффективность и производительность. Эти усовершенствования открыли новые возможности в промышленности и транспорте [3].

Эволюция паровых двигателей в XX веке.

Современным и эффективным источникам энергии, таким как дизельные и электрические двигатели. Однако они продолжают использоваться в некоторых областях, таких как энергетика, где они применяются для производства электричества. В современном мире паровые двигатели, хотя и редки, по-прежнему находят применение в некоторых отраслях, где требуются большие мощности или использование возобновляемых источников энергии.

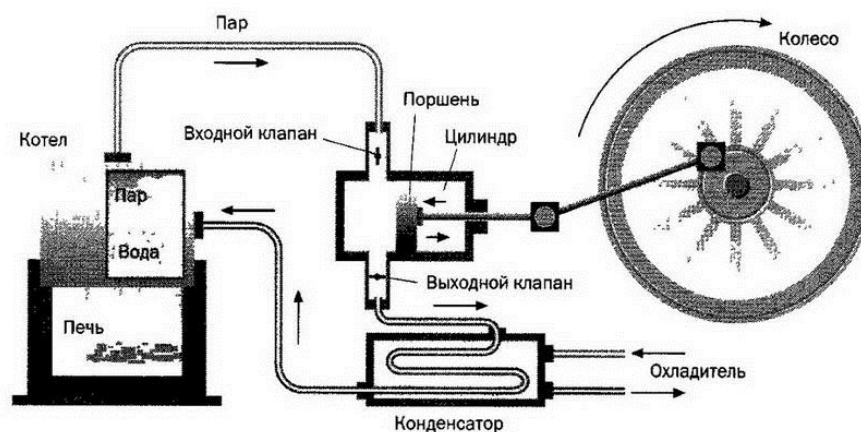
Паровые двигатели играли важную роль в истории человечества, вдохновляя прогресс технологий и развитие новых отраслей. Их появление стало мощным стимулом для индустриальной революции и создания необходимых условий для будущих прогрессивных изменений в обществе. В ходе их эволюции паровые двигатели становились все более эффективными и производительными, отражая передовые научные и технические достижения каждой эпохи.

Принцип работы парового двигателя.

Принцип работы парового двигателя основан на использовании пара в качестве рабочего вещества. Паровой двигатель преобразует энергию тепла, полученную от

сжигания топлива или другого источника тепла, в механическую работу. Такие двигатели широко применялись в прошлом, особенно в паровозах, морских судах и в промышленности (рис. 3).

Паровой двигатель состоит из нескольких основных компонентов: котла, цилиндра, поршня, вала, клапанов и регуляторов.



*Рис. 3. Схема паровой машины*

Процесс работы парового двигателя начинается с нагревания воды в котле. Тепло превращает воду в пар, который затем направляется в цилиндр двигателя.

В цилиндре пар расширяется и дает импульс поршню, который движется вдоль цилиндра. Это движение поршня передается на вал, который выходит из двигателя и используется для привода механизмов.

Важно отметить, что в процессе работы парового двигателя несколько раз используется одна и та же порция пара. После расширения в цилиндре пара он охлаждается, конденсируется обратно в воду и возвращается в котел для нагревания и повторного использования. Это позволяет паровым двигателям быть более эффективными, поскольку все энергия, полученная от сжигания топлива, используется полностью.

Клапаны и регуляторы контролируют подачу пара в цилиндры и его выход после работы поршня. Они также регулируют поток пара в котле, чтобы поддерживать требуемое давление и подачу тепла [4].

Паровые двигатели имеют ряд преимуществ, включая высокую мощность, возможность использования различных видов топлива и надежность. Однако с появлением более эффективных и компактных двигателей, таких как двигатели внутреннего сгорания, паровые двигатели стали менее популярными. Тем не менее, они остаются важными в некоторых отраслях, таких как производство электроэнергии на паровых электростанциях.

Вывод. История паровых двигателей является важной частью развития промышленности и транспорта. С первых экспериментов с паром в XVII веке до современных паровых турбин, эти двигатели играли важную роль в прогрессе человечества. Они использовались для привода машин, локомотивов, кораблей и других видов транспорта. Вместе с тем, паровые двигатели имели и недостатки, такие как большой расход топлива и низкая эффективность. Сегодня паровые двигатели постепенно уступают место более современным и экологически чистым технологиям, однако их вклад в историю развития человечества останется незабываемым.

#### Литература

1. Антонио М. Лальена Рохо Физике становится тепло. Лорд Кельвин. Классическая термодинамика / Антонио М. Лальена Рохо. – М.: Де Агостини, 2015. - 129 с.
2. Храмов Ю.А. Физики: биографический справочник / Ю.А. Храмов, Уатт Джеймс . – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Наука, 1983 г. – С. 267. – 400 с.
3. Луи С. Хантер История промышленной мощи в Соединенных Штатах / Луи С. Хантер.
4. Белл, А.М. Локомотивы / А.М. Белл. – Лондон: Добродетель и компания. 1950. – С. 61-63.

УДК 004.942

#### **Применение SCADA-систем для контроля и управления технологическими процессами**

<sup>1</sup>Паськов Артём Владимирович, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

<sup>2</sup>Максимов Дмитрий Игоревич, начальник участка наладки  
и ремонта систем автоматизации

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

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

*В статье проведен анализ различных SCADA-систем и рассмотрены основные задачи и компоненты наиболее важных в работе SCADA-систем. Определены функции*



*SCADA-систем и внедрение управления на предприятии. Проведен сравнительный анализ отечественных и зарубежных систем.*

SCADA-система представляет собой программное обеспечение, разработанное для автоматизации контроля и управления технологическими процессами в режиме реального времени. Основная цель заключается в предоставлении оператору полной информации о текущем состоянии процесса и обеспечении необходимых инструментов для его управления. SCADA-системы широко применяются в различных отраслях, включая производство, энергетику, транспорт и системы безопасности. Они позволяют операторам контролировать различные параметры и переменные, такие как температура, давление, уровень жидкости и другие физические величины. Благодаря своей способности работать в реальном времени, SCADA-системы позволяют оперативно реагировать на изменения в процессе и принимать соответствующие меры. Одной из ключевых особенностей SCADA-систем является возможность визуализации данных. Операторы получают информацию о состоянии процесса в виде графиков, диаграмм, таблиц и других визуальных элементов. Это позволяет легко анализировать данные и принимать обоснованные решения. Кроме того, SCADA-системы могут предоставлять отчеты о работе процесса, аналитические данные и предупреждения о возможных проблемах или аварийных ситуациях. В последние годы SCADA-системы стали более гибкими и масштабируемыми благодаря использованию современных технологий, таких как облачные вычисления и интернет вещей. Это позволяет операторам удаленно управлять процессами с помощью мобильных устройств, таких как смартфоны и планшеты. Также возможно интегрирование SCADA-систем с другими системами управления, что обеспечивает более эффективное и автоматизированное управление процессами. Безопасность является важным аспектом SCADA-систем. В связи с возросшими угрозами кибербезопасности, разработчики SCADA-систем активно работают над обеспечением защиты от несанкционированного доступа и вредоносных атак. Они используют различные методы шифрования, аутентификации и мониторинга, чтобы обеспечить безопасность данных и надежность системы [1].

Некоторые независимые разработчики SCADA-систем предлагают широкий набор драйверов, совместимых с различными контроллерами и интеллектуальными приборами, доступными на рынке. Один из наиболее универсальных способов взаимодействия между SCADA-системой и устройствами является использование драйверов, разработанных в соответствии со стандартом OPC (OLE for Process Control). OPC-серверы могут быть созданы как производителями контроллеров, так и

независимыми разработчиками, и они могут использоваться вместе с любой SCADA-системой. Для обеспечения эффективной работы с OPC-серверами, SCADA-система должна использовать их напрямую, используя технологию «OPC в ядре системы», а не через промежуточные интерфейсы. Это позволяет обеспечить более надежное и быстрое взаимодействие между SCADA-системой и устройствами, что особенно важно для систем, требующих высокой производительности и низкой задержки данных. Некоторые SCADA-системы также предлагают вертикальную интеграцию, включая в свой состав системы программирования для свободно-программируемых контроллеров. Это означает, что внутри SCADA-системы есть встроенные драйверы, которые обеспечивают связь с контроллерами без необходимости использования внешних драйверов. Такой подход позволяет создавать ПТК (программируемые технологические комплексы) с использованием оборудования разных производителей, что дает большую гибкость и возможность выбора оптимальных решений для каждого конкретного проекта. Использование SCADA-систем с поддержкой OPC - серверов и встроенных драйверов позволяет инженерам и операторам эффективно управлять и контролировать различные процессы и системы в промышленности, энергетике, транспорте и других сферах. Благодаря широкой совместимости и гибкости, SCADA-системы с OPC - интеграцией становятся все более популярными среди инженеров и специалистов в области автоматизации, предоставляя им мощный инструмент для управления и мониторинга сложных систем и процессов [1].

Системы автоматизации технологических процессов обычно делятся на три уровня: нижний, средний и верхний (рис. 1).

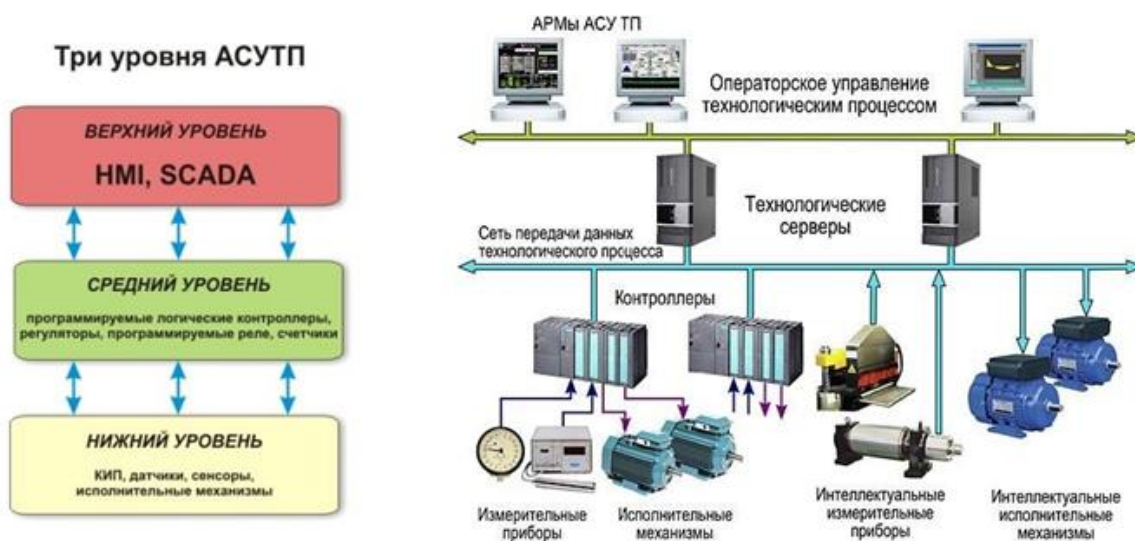


Рис. 1. Трёхуровневая система АСУ ТП

Верхний уровень – это уровень управления производством в целом. Нижний уровень – это собственно датчики и исполнительные механизмы, а средний -

контроллер. Средний уровень получает входные данные, обрабатывает первичные данные, автоматически формирует и выдает управляющие воздействия на исполнительные механизмы и обменивается информацией с верхним уровнем [2].

Верхний уровень – это уровень SCADA. На этом уровне осуществляется сбор, обработка и хранение информации, полученной на промежуточном уровне, визуализация текущей и архивной информации в удобных для оператора форматах (мнемосхемы, графики, тренды, журналы сообщений), ввод команд оператора, формирование отчетов по результатам технических процессов и обмен информацией с вышестоящими уровнями.

Функции SCADA-систем:

- мнемосхема представляет собой графическое изображение технологической схемы с использованием встроенного графического редактора в SCADA. Она позволяет визуализировать значения датчиков, состояние исполнительных механизмов и другие параметры;

- данные, полученные от контроллеров, передаются в архив для последующего хранения. Перед сохранением данные могут подвергаться различным операциям обработки, таким как фильтрация, усреднение или сжатие;

- тренды – это графическое отображение изменения какого-либо параметра в течение определенного времени. В системах SCADA тренды используются для показа изменения параметра на протяжении всего периода его хранения в архиве;

- для технологов более удобным способом просмотра архивов является представление данных в виде таблицы, а не в графическом формате. Кроме того, часто возможно не только просмотреть таблицы, но и экспортировать их в другие системы;

- одним из популярных способов изображения характеристик являются гистограммы, также известные как столбиковые диаграммы;

- чтобы оператор мог совершать определенные действия, администратор должен быть наделен соответствующими правами;

- удобная среда разработки отчетов позволяет быстро и легко создавать форматированные и информативные отчеты [2].

Наиболее популярны в России следующие зарубежные SCADA-системы:

- WinCC (Siemens, Германия);
- InTouch (Wonderware, США);
- RSView32 (Rockwell Automation, США);
- Genesis64 (Iconics, США).

Наиболее популярные отечественные модели SCADA-систем:

- TraceMode» (AdAstra);
- Master SCADA (НПФ «ИнСАТ»);
- Круг-2000 (НПФ «Круг»);
- САРГОН («НВТ-Автоматика»).

В отличие от большинства западных SCADA, отечественные системы имеют встроенные средства программирования контроллера на языке стандарта IEC61131-3, включая язык функциональных блоков. Кроме того, если SCADA рассчитана на работу в среде Windows на PC – совместимом компьютере, то исполнительная система для контроллера может работать и на других платформах, например, Linux на процессорах архитектуры ARM.

Сравнение по перечню функций в последние годы потеряло смысл, так как все современные SCADA, как отечественные, так и зарубежные, полностью функциональны для данного класса программ. Основным преимуществом SCADA российского производства является их изначальная ориентация на российский рынок (русский язык, не переведенная документация, техническая поддержка и уровень цен). Можно сделать вывод, что для каждой компании или приложения целесообразно сравнивать несколько SCADA как по цене, так и по функциональности. Практически все SCADA имеют пробную версию, что позволяет проверить их пригодность для решения поставленной задачи [3].

Таким образом, SCADA-системы играют важную роль в автоматизации и управлении технологическими процессами. Они обеспечивают операторам полную информацию о процессе и позволяют принимать эффективные решения. С развитием новых технологий SCADA-системы становятся более гибкими, масштабируемыми и безопасными, что способствует улучшению производительности и безопасности в различных отраслях.

#### Литература

1. Андреев, Е. Б. SCADA-системы: взгляд изнутри / Е. Б. Андреев, Н. А. Куцевич, Л. В. Синенко. – М.: РТСофт, 2004. – 176 с.
2. Барашко, О. Г. Автоматика, автоматизация и автоматизированные системы управления: курс лекций / О. Г. Барашко. – Минск: БГТУ, 2011. – 164 с.
3. Пьявченко, Т. А. Проектирование АСУ ТП в SCADA-системе: учебное пособие / Т. А. Пьявченко. – Таганрог: ТРТУ, 1997. – 78 с.

**Система телеметрии газораспределительного пункта  
пускорезервной котельной**

<sup>1</sup>Паськов Артём Владимирович, студент специальности  
«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

<sup>2</sup>Максимов Дмитрий Игоревич, начальник участка наладки  
и ремонта систем автоматизации

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

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

*В статье рассматривается назначение систем телеметрии, сформулированы основные задачи системы телеметрии газораспределительного пункта пускорезервной котельной. Представлен принцип работы и состав системы телеметрии газораспределительного пункта.*

Системы телеметрии предназначены для непрерывного дистанционного контроля технологических параметров в удаленных установках, транспортирующих и распределяющих тепло и энергоносители (в том числе природный газ). В системах телеметрии осуществляется сбор, регистрация и передача электрических сигналов от датчиков и внешнего оборудования на компьютер верхнего уровня (центр управления) по проводным и беспроводным каналам связи. Устанавливаются на объектах газораспределительной сети, таких как узлы учета газа и станции снижения давления газа [1].

Системы телеметрии позволяют не только оперативно получать достоверную информацию с большого количества территориально распределенных объектов, но и значительно повысить безопасность и эксплуатационную надежность системы газоснабжения, повысить эффективность контроля и предотвращения аварийных ситуаций. При эксплуатации газораспределительной сети часто возникает необходимость контроля учета газа и технологических параметров на линиях электропередач (220 В) и на объектах, не оборудованных линиями электропередач. Прокладка линий электропередач (220 В) и линий связи зачастую экономически невыгодна или технически затруднена. В этом случае необходимо использовать измерительное оборудование или системы сбора и передачи данных, оснащенные

взрывозащищенными автономными источниками питания, что позволяет работать во взрывоопасных зонах [1].

Основные задачи системы телеметрии газораспределительного пункта (ГРП) пускорезервной котельной:

- эффективный мониторинг работы и состояния технологического оборудования в режиме реального времени;
- безаварийная эксплуатация объектов газоснабжения;
- дистанционное управление оборудованием (например, электроприводами, регуляторами);
- оперативное реагирование на аварийные ситуации;
- предотвращение аварий по сигналам несанкционированного доступа на объектах газораспределительной сети;
- единая система измерения энергопотребления;
- снижение затрат на техническое обслуживание, высвобождение транспортных и человеческих ресурсов;
- накопление статистических данных об изменении технических параметров для дальнейшего анализа работы газораспределительной системы [2].

Система телеметрии ГРП пускорезервной котельной выполнена на базе автономного блока управления и предназначена для контроля параметров работы ГРП с последующей передачей полученной информации на сервер сбора и анализа данных по каналам сотовой связи GSM/GPRS, а также вывода информации на щит оператора пускорезервной котельной.

Шкаф системы телеметрии ГРП реализован на базе ПК-300 и предназначен для измерений постоянных напряжений и токов, счета импульсов и сбора информации от многофункциональных устройств (МФУ) в устройствах телемеханики.

ПК-300 представляет собой набор технических средств, в который входят контроллеры (КТ-1, КТ-2), модуль центрального процессора (МП-301), модули ввода/вывода (М-301.8, М-302.4, М-302.8, М-303.4), модем (М-315), преобразователи и расширители интерфейсов (М-320, М-321), блоки питания (БП-315А, БП-315М, БП-316, БП-340), блоки реле-повторителей (БРП-404) и устройство отображения и конфигурирования М-80 (рис. 1).



*Рис. 1. Состав ПК-300*

Функции измерений постоянных напряжений и токов реализованы в контроллерах КТ-1 и модулях М-302.4 и М-302.8, функция счета числа импульсов – в центральном процессоре МП-301, контроллерах КТ-1, КТ-2G и модулях М-301.8, а функция сбора информации от МФУ (например, от счетчиков электроэнергии или расходомеров) – в контроллерах КТ-2. Сигналы постоянного напряжения или тока подаются на входы имеющихся в составе ПК-300 соответствующих модулей или контроллеров, где нормируются (представляются в виде напряжения постоянного тока величиной от 0 до 5В). Затем поступают на вход процессора, имеющие в своем составе аналого-цифровой преобразователь и преобразуются в цифровые сигналы, которые по периодическому запросу передаются в модуль центрального процессора и, далее, по интерфейсу RS-485 на устройство отображения и конфигурирования М-80 или через модуль связи и модем в центр сбора данных. Импульсы прямоугольной формы, поступающие на входы имеющихся в составе ПК-300 соответствующих модулей или контроллеров, подсчитываются процессором этих модулей или контроллеров и помещаются в энергонезависимую память, где осуществляется их накопление, затем считываются центральным процессором для передачи их в центр сбора информации. Измерительные цепи контроллеров и отдельных модулей идентичны и управляются с помощью одинакового программного обеспечения [2].

ПК-300 позволяет в составе устройств телемеханики реализовать следующие функции:

- прием и обработку аналоговых сигналов от датчиков физического процесса, в том числе измерение постоянных напряжений и токов в каналах текущих телеизмерений, а также счет числа импульсов в каналах интегральных телеизмерений;
- прием и обработку массивов данных от многофункциональных устройств;

- прием и обработку дискретных сигналов от датчиков состояния в каналах телесигнализации;

- выдачу команд управления на удаленные объекты в каналах телеуправления и телерегулирования.

Технические средства ПК-300 соединены между собой проводной линией связи и установлены на DIN-рейку. Контроллеры собираются в пластиковых корпусах двух типоразмеров, а модули – в шкафах, размеры которых соответствуют количеству модулей.

Контроллеры КТ-1 имеют шесть вариантов исполнения с различным количеством входов/выходов и предназначены, в основном, для небольших объектов с локальным расположением точек контроля, а отдельные модули используются для комплектования устройств телемеханики большой информационной емкости, а также на объектах с разнесенными на большие расстояния контролируемые точками. Связь между такими модулями осуществляется по интерфейсу RS-485.

На рис. 2 представлена SCADA-система телеметрии ГПП пускорезервной котельной, которая по интерфейсу RS485 осуществляет контроль за параметрами технологического процесса на ГПП, контроль газового хозяйства и ведение диспетчерской службой работы по сбору, постоянному контролю и архивированию состояния значений технологических параметров, с оповещением специалистов аварийно-диспетчерской службы по аварийно-пороговым значениям о состоянии эксплуатируемого (контролируемого) оборудования [3].

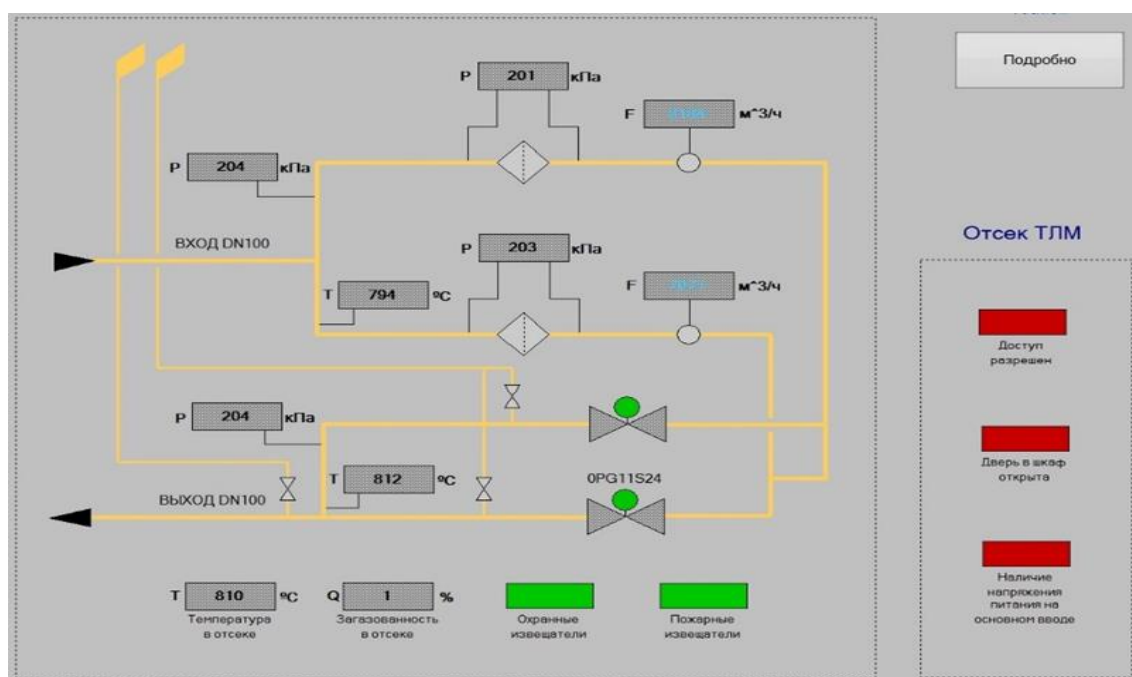


Рис. 2. SCADA-система телеметрии ГПП пускорезервной котельной

SCADA-система контролирует следующие параметры ГПП:



- избыточное давление газа на входе (0...1 МПа) и выходе (0...40 кПа);
- температура газа на входе и выходе (-50...+50 °С);
- перепад давления на фильтре 1 и 2 (0...10 кПа);
- измерение концентрации СН<sub>4</sub> (0...50 % НКПР);
- температура воздуха в технологическом отсеке (-50...+50 °С);
- положение предохранительно-запорных клапанов 1, 2;
- положение двери шкафа контроллера системы телеметрии;
- наличие напряжения 220 В на ГРП;
- пожар на ГРП;
- расход электроэнергии на ГРП (импульсный вход);
- расход газа основная и резервная линия (RS-485).

#### Литература

1. Барашко, О. Г. Автоматика, автоматизация и автоматизированные системы управления: курс лекций / О. Г. Барашко. – Минск: БГТУ, 2011. – 164 с.
2. Суслов, С. М. Оборудование сетей газораспределения и газопотребления: учебное пособие / С. М. Суслов, Е. Ю. Камынина, А. С. Мясников, Д. В. Резников. – М.: Юрайт, 2023. – 220с.
3. Андреев, Е. Б. SCADA-системы: взгляд изнутри / Е. Б. Андреев, Н. А. Куцевич, Л. В. Синенко. – М.: РТСофт, 2004. – 176 с.

УДК 621.791

#### **Исследование сварки кольцевых швов корпуса ПГВ–1000 с применением подкладной ленты**

Подрезов Николай Николаевич, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Машиностроение и прикладная механика»;

Перепелицына Анна Владимировна, старший преподаватель кафедры  
«Машиностроение и прикладная механика»;

Винныйчук Виталий Александрович, ассистент кафедры  
«Машиностроение и прикладная механика»

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

*В этой статье мы обсудим технические характеристики подготовки к автоматической дуговой сварке под флюсом кольцевых соединений корпуса ПГВ-1000.*

*На сегодняшний день в развитии энергетического машиностроения повышение надежности и качества изготовления теплообменного оборудования для атомных электростанций является одной из наиболее актуальных задач. В статье изучена технологическая подготовка односторонней автоматической дуговой сварки под флюсом емкостей больших толщин из жаропрочной стали, с использованием подкладных материалов. Также были выполнены испытания подкладных материалов на производственных пробах, на режимах, имитирующих сварку шва №110 ПГВ-1000.*

Оборудование для атомных электростанций отличается значительными габаритами изделий, при производстве которых, одной из наиболее трудных и ответственных задач является сварка кольцевых швов.

Технологическая подготовка производства для сварки корпусов ПГВ осложняется следующими особенностями:

- комбинированная многопроходная двухсторонняя сварка кольцевых швов;
- недоступность некоторых сварных швов внутри корпуса ПГВ во время зачистки и удаления дефектов;
- сложность выполнения маршрутных технологических операций, обусловленная большими габаритами изделия.

При комбинированной сварке корень сварного шва с внутренней стороны выполняется сваркой неплавящимся электродом в среде защитных газов. Этот метод сварки приводит к дефектам из-за слабой защиты сварочной дуги от воздействия окружающего воздуха, что приводит к лишней трате времени на зачистку и выборку дефектных участков. Примечательно, что при выполнении шва № 110, внутренние корпусные устройства (ВКУ) уже установлены в парогенератор, что порядком затрудняет выполнение корня сварного шва с внутренней стороны.

Во время заполнения внешней части разделки в сварном соединении возникают скручивающие напряжения. Использование сварочных материалов с различной степенью загрязнения основного металла также не повышает качество сварки. В последнее время, насыщение металла шва загрязняющими неметаллическими включениями стало выше, чем у основного металла.

С 70-х гг. прошлого столетия в промышленности некоторых стран было введено использование односторонней сварки на корнеобразующих подложках. Эта технология широко используется в судостроении, строительстве резервуаров, трубопроводах различного назначения, газопроводах, производстве котлов и т. д. [1]. Это означает, что внедрение этих технологий в ядерную энергетику обусловлено их успешным опытом в использовании ответственных отраслях.

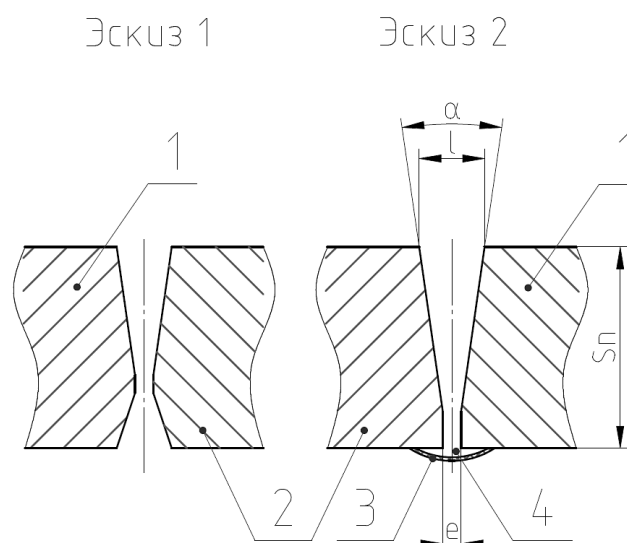
Для формирования высококачественного обратного валика при односторонней сварке используется большое разнообразие подкладных материалов в зависимости от

разных марок стали, различной толщины металлических пластин и положения сварки в пространстве [2].

В филиале АО «АЭМ-технологии «Атоммаш» подкладная лента марки ЛФС, используемая для технической подготовки к односторонней сварке контрольного образца, обладает такими преимуществами как:

- ленту относительно легко устанавливать и снимать (не требуется сварочных работ), в том числе с внутренней стороны сварного шва;
- крепится скотчем к алюминиевой подложке на обычной или термостойкой клеевой основе (до 300 °С), с дополнительной защищающей лентой Karton Tape на основе полиамида шириной 80 мм.

На контрольном образце заготовки из стального листа 10ГН2МФА будет в принципе определена технологическая возможность использования односторонней сварки с использованием подкладной ленты ЛФС. Заготовки берутся той же толщины, что и стенки корпуса парогенератора. Эскизы геометрических параметров узкощелевой V-образной разделки кромок односторонней сварки, показаны на рис. 1.



*Рис. 1. Разделки кромок контрольных образцов под сварку:  
эскиз 1 – применяемая сейчас X-образная несимметричная; эскиз 2 – односторонняя V-образная узкощелевая; 1, 2 – планки основного металла;  
3 – подкладная лента; 4 – корень шва*

В процессе испытания будет оцениваться устойчивость материала подкладки к температурным воздействиям, которые возникают до и во время сварки, при предварительном и сопутствующем подогревах. После сварки, в соответствии с требованиями стандартного изделия и требуемой технической документацией, металл стыкового соединения подвергается механическим испытаниям ПН АЭ Г-7-009-89, ПН АЭ Г-7-010-89.

Проведение этих испытаний покажет целесообразность применения технологии сварки на подкладной ленте при изготовлении энергетического оборудования из стали 10Г2НМФА. На основании полученных результатов исследования анализируются и при необходимости уточняются следующие моменты технологии сварки кольцевых соединений:

- марка корнеобразующей подкладной ленты;
- устойчивость клеевой основы скотча алюминиевой подложки к воздействиям температуры;
- режимы сварочного процесса, форма разделок и особенности их подготовки.

На следующем этапе были выполнены испытания подкладных материалов на производственных пробах, (рис. 2), на режимах, имитирующих сварку шва №110 ПГВ-1000 [3].

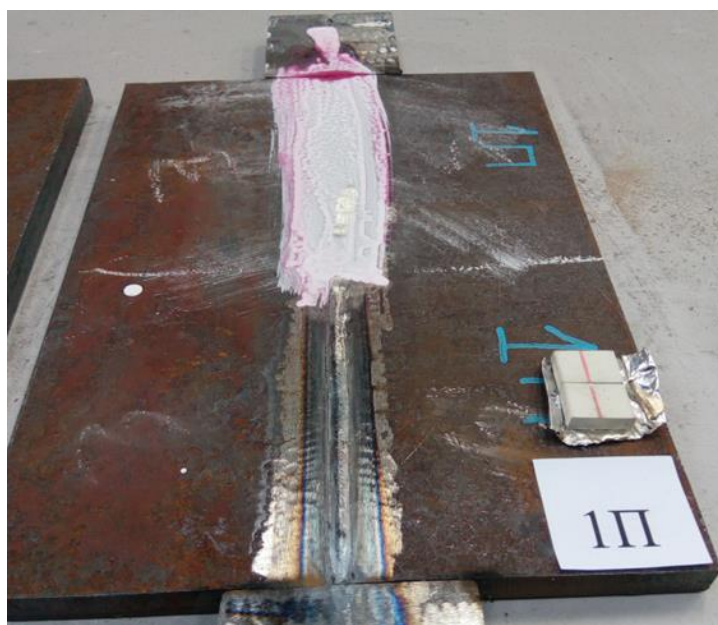


Рис. 2. Производственная проба 1П, обратное формование шва

Для испытания применена проба с притуплением до 2 мм, зазор до 2 мм радиусная разделка. Использовалась подкладка из кремнеземной ткани, сплошная без канавок [4]. Режимы сварки:

- 1-й проход:  $I_{св} - 350 \text{ А}$ ,  $U_{д} - 27 \text{ В}$ ,  $V_{св} - 38 \text{ м/ч}$ ;
- 2-й проход:  $I_{св} - 350 \text{ А}$ ,  $U_{д} - 27 \text{ В}$ ,  $V_{св} - 38 \text{ м/ч}$  в раскладку;
- 3-й проход:  $I_{св} - 350 \text{ А}$ ,  $U_{д} - 29 \text{ В}$ ,  $V_{св} - 38 \text{ м/ч}$  в раскладку;
- 4-й проход:  $I_{св} - 350 \text{ А}$ ,  $U_{д} - 29 \text{ В}$ ,  $V_{св} - 38 \text{ м/ч}$  по центру.

Первый проход выполнен последовательно, по всему периметру шва, проволокой Св-08АА, диаметр 3 и (или) 4 мм, флюс ФЦ-16А, остальное сечение

аналогично, проволокой Св-08АА диаметр 4 и (или) 5 мм, флюс ФЦ-16А. Общее количество проходов в сечении не менее пяти.

Сварка 1-го корневого валика выполнена на высоту не менее 3 мм. В процессе сварки периодически кантовали парогенератор для сварки шва в нижнем положении.

Был проведен разрушающий контроль, изучена макроструктура, (рис. 3), результаты контроля соответствуют ПНАЭ Г-7-010-89 [5].



*Рис. 3. Образец для исследования макроструктуры проба 1П*

Освоение новой технологии односторонней сварки стали 10ГН2МФА с принудительным формированием усиления шва с обратной стороны в дальнейшем даст возможность отказаться от наплавляемого слоя наплавки (малоуглеродистой) при сварке швов № 110. Результаты сварки проб доказали это. Все результаты испытаний позволяют предположить, что в перспективе возможно отказаться от предварительного и сопутствующего подогрева [6].

Освоение новой технологии односторонней сварки шва на керамических подкладках в дальнейшем даст возможность получить качественную корневую часть шва и отказаться от наплавляемого слоя (малоуглеродистой наплавки) при сварке швов № 110.

#### Литература

1. Доронин, Ю. В. Разработка теоретических основ формообразования обратной стороны шва с учётом физико-химических процессов в сварочной ванне и создание новых сварочных материалов для односторонней дуговой сварки сталей плавящимся электродом; специальность 05.02.10 «Сварка, родственные процессы и технологии»; диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Доронин Юрий Викторович; Московский государственный индустриальный университет. – Москва, 2010. – 352 с.

2. Григорьев, С. М. Справочник инженера–сварщика (Энциклопедический словарь инженера-сварщика от «А» до «Я» на CD) / С. М. Григорьев, В. В. Титов, И. В. Саражинский . – М.: Центр промышленного маркетинга, 2003. – 407 с.

3. Технологические особенности выполнения различных слоев шва при автоматической сварке трубопроводов / М. В. Карасев, Ф. Е. Дорошенко, А. А. Казаков, Д. А. Любченко // Сварка и диагностика. – 2014. – № 6 – С. 45-49.

4. Частухин, А. В. Закономерности процессов рекристаллизации аустенита совершенствование технологии контролируемой прокатки микролегированных трубных сталей повышенной хладостойкости; специальность 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»; диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Частухин Андрей Владимирович; Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина. – Москва, 2017.

5. ПНАЭ Г-7-010-89. Правила и нормы в атомной энергетике. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля: [сайт]. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 12.12.2023). – Текст: электронный.

6. Колоколов, Е. И. Обеспечение хрупкой прочности листов из стали 10ГН2МФА / Е. И. Колоколов, А. М. Паук // Методы анализа брака при производстве изделий машиностроения: тезисы докладов отраслевой научно-технической конференции. – Волгодонск, 1990. – С. 40-41.

УДК 621.38

### **КМОП-детекторы в цифровой рентгенографии**

Пожидаева Дарья Сергеевна, студент направления

«Биотехнические системы»;

Батищева Юлия Николаевна, старший преподаватель кафедры

«Физика и биомедицинская техника»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Липецкий государственный технический университет»,

г. Липецк

*В данной статье рассматривается структура и принципы работы полупроводниковых детекторов рентгеновского излучения на основе ПЗС и КМОП-*

*матриц, используемых в цифровой рентгенографии, а также проводится их сравнительный анализ.*

Далеко не последнюю роль в цифровой рентгенографии, которая на сегодняшний день широко распространена в медицине, играют способы получения и обработки изображения. Качество полученного снимка, следовательно, и дальнейшей диагностики заболевания, во многом зависит от качества регистрации рентгеновского излучения.

Общий принцип работы цифровых детекторов состоит в следующем: рентгеновское излучение взаимодействует с чувствительным элементом детектора, вследствие чего возникает электрический сигнал, который фиксируется электронными компонентами. Цифровые детекторы можно разделить на два типа – с прямой и косвенной регистрацией излучения. Косвенная регистрация подразумевает наличие слоя сцинтиллятора, который преобразует рентгеновское излучение в видимый свет, и только на следующем этапе фотоны видимого спектра конвертируются в электроны. Наиболее распространёнными и перспективными являются полупроводниковые детекторы рентгеновского излучения с косвенной регистрацией на основе ПЗС-матриц (приборы с зарядовой связью) и КМОП-матриц (комплементарные структуры металл-оксид-полупроводник). Сравнительный анализ данных типов детекторов позволит выявить преимущества и недостатки более современной технологии КМОП.

Прибор с зарядовой связью – это полупроводниковое устройство, состоящее из множества связанных МДП-структур (металл-диэлектрик-полупроводник), находящихся на общей полупроводниковой подложке в виде матричной или линейной системы.

Электрический сигнал считывается с ПЗС путем сдвига заряда, который образуется у поверхности полупроводника при приложении внешних электрических напряжений либо из-за поглощения оптического излучения. Считывание происходит с помощью регистров сдвига: вертикальных и горизонтальных (рис. 1); электроды на сенсорах создают электрическое поле, которое способствует переносу зарядов.

ПЗС-матрицы имеют электронный затвор, что является одной из их основных особенностей, заключающейся в регулировке динамического диапазона. Такая регулировка возможна благодаря управляемому воздействию на электронный затвор и корректированию выдержки, то есть периода времени, в течение которого сенсор воспринимает свет.

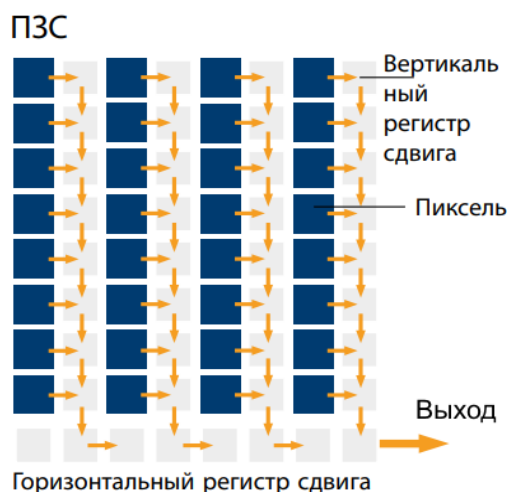


Рис. 1. Вертикальные и горизонтальные регистры сдвига

Устройство КМОП-матриц значительно отличается. Такие детекторы основаны на комплементарных структурах металл-оксид-полупроводник (КМОП). В КМОП-матрицах полевые транзисторы с проводимостью р-типа и n-типа объединены в парные взаимодополняющие структуры [1].

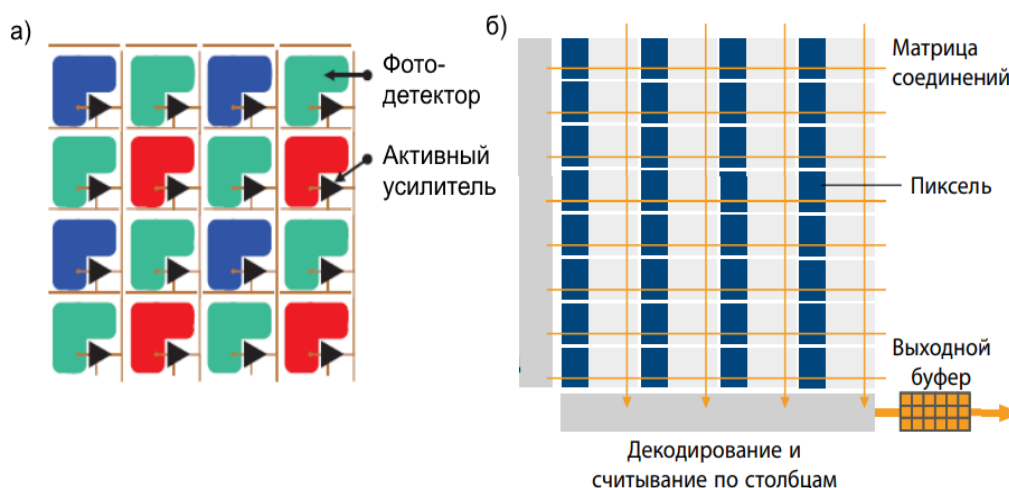


Рис. 2.: а – устройство активного пиксельного датчика;  
б – устройство КМОП-матрицы

По сравнению с ПЗС-матрицами, каждый светочувствительный элемент (пиксель) КМОП-детектора содержит не только фотодетекторный элемент, но и свой транзисторный усилитель. Благодаря данному усилителю сигнал передается на единый выход не посредством электронов, возникающих в результате фотоэффекта в сенсоре, а путем возникновения разности потенциалов на пикселе (рис. 2а). Из-за наличия усилителя КМОП-детекторы также могут называть активными пиксельными датчиками.



Благодаря простой XY-адресации в матрице (рис. 2б), информация может считываться с каждого пикселя независимо, без перемещения заряда, как в ПЗС-сенсорах. Вследствие этого, считывание изображения осуществляется гораздо быстрее, а также есть возможность считать информацию не со всей структуры сразу, а с отдельной области (т. н. метод оконного считывания) [1].

В научных и медицинских рентгеновских аппаратах детекторы на основе полупроводников обычно установлены в систему со сцинтилляционным экраном. Экран покрыт люминофором (оксисульфидом гадолиния или йодидом цезия), который поглощает рентгеновское излучение, вследствие чего испускает фотоны с длиной волны видимого света. Полупроводниковая фотоматрица регистрирует полученный свет, в результате чего формируется электрический сигнал, который поступает на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), для дальнейшего преобразования информации.

Технология производства ПЗС-детекторов является универсальной, однако при изготовлении детекторов большого размера (например, при рентгенографии грудной клетки требуется активная область от 43×43 см) проявляются недостатки: высокий шум считывания (среднее число электронов на пиксель, которое вносится в процессе считывания данных с матрицы), ограниченный шаг пикселя, невозможность снижения себестоимости производства [2].

КМОП-детекторы с активным пикселем позволяют преодолеть эти ограничения. Несмотря на то что площадь светочувствительной области и порог чувствительности КМОП-сенсора меньше, чем у ПЗС-сенсора, этот недостаток можно компенсировать. Для получения широкоформатного рентгеновского изображения необходимы большие по площади активные области детектора, что становится возможным при соединении в виде черепичной структуры светочувствительных элементов.

Соотношение полной емкости потенциальной ямы (максимального числа электронов на пиксель) и пороговой чувствительности (минимального количества электронов на пиксель) определяет динамический диапазон сенсора. Поэтому несмотря на более высокую пороговую чувствительность ПЗС-детектора, более высокая емкость насыщения КМОП-детектора компенсирует это преимущество [3]. Следовательно, КМОП- и ПЗС-детекторы имеют практически одинаковую производительность по динамическому диапазону.

За счёт того что матрица пикселей может быть размещена на одном чипе, вместе с формирователем тактовых импульсов и АЦП, считывание с КМОП-детектора и дальнейшая обработка изображения становится более быстрой и простой. Как

следствие – уменьшение потребляемой мощности; компактность, которая достигается за счёт того, что одна микросхема выполняет функции от регистрации фотонов до формирования кода изображения; невысокая стоимость изготовления [1]. Также метод оконного считывания и возможность произвольного доступа к каждому пикселю позволяет ускорить процесс считывания, по сравнению со считыванием информации с ПЗС-матрицы, что означает более высокую производительность КМОП-детекторов.

Таким образом, на сегодняшний день КМОП-детекторы обладают следующими преимуществами по сравнению с ПЗС-матрицами: низкое потребление энергии, высокая скорость считывания, надежность, получение детекторов большой площади (что особенно важно для рентгенографии), выгодное соотношение цены и технических характеристик. Поэтому КМОП-детекторы постепенно внедряются в производство современных рентгеновских аппаратов, заменяя датчики на основе ПЗС.

#### Литература

1. Овчинников, А. М. Принцип работы и устройство активно-пиксельных датчиков / А. М. Овчинников, А. А. Ильин, М. Ю. Овчинников. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2003: [сайт]. – URL: [https://www.keldysh.ru/papers/2003/prep85/prep2003\\_85.html](https://www.keldysh.ru/papers/2003/prep85/prep2003_85.html) (дата обращения: 09.10.2023). – Текст: электронный.
2. Широкоформатные КМОП-сенсоры с активными пикселями для цифровой рентгенографии / М. Фарьер, Т. Эшеркирхен, Г. Векслер, А. Мрожек; перевод АО «НТК «Азимут Фотоникс»» // Фотоника. – 2013. – № 2.
3. Камеры машинного зрения в медицине. Анализ возможностей ПЗС-/КМОП-сенсоров с акцентом на обеспечении точности цветовоспроизведения: [сайт]. – URL: <https://docs.baslerweb.com/> (дата обращения 09.11.2023). – Текст: электронный.

**К вопросу об эффективности энергоснабжения фермерских хозяйств**

Разуваев Александр Валентинович, доктор технических наук,

профессор кафедры «Атомная энергетика»;

Унтилэ Данила Андриянович, студент направления

«Электроэнергетика и электротехника»;

Русанова Владислава Александровна, студент направления

«Электроэнергетика и электротехника»

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

*В современном мире с учетом непрерывного роста энергопотребления, постепенного истощения известных месторождений углеводородов и ростом экологических проблем всё большее значение приобретают вопросы эффективности энергоснабжения различных объектов. В данной статье рассмотрена задача построения системы электро- и теплоснабжения животноводческой фермы.*

Для ведения современного фермерского хозяйства с высокой степенью интенсификации производства и обеспечения нормальных условий быта фермера требуются большие затраты энергии. В связи с этим, важное значение приобретает рациональное расходование электроэнергии [1].

Повышение эффективности животноводства, качества его конечного продукта и снижение себестоимости основывается на автоматизации и комплексной механизации производства. Использование современных методов производства в животноводстве требует усовершенствования технологических и технических решений, что невозможно без увеличения энергопотребления. В настоящее время животноводческие хозяйства потребляют электрическую и тепловую энергию для обеспечения комфортного проживания животных и собственных нужд фермера.

Технологическая карта производственных процессов на ферме представлена на рис. 1. Технология фермы практически не зависит от количества голов. От количества скота зависит потребляемая мощность фермы и, собственно график электрических нагрузок [2].

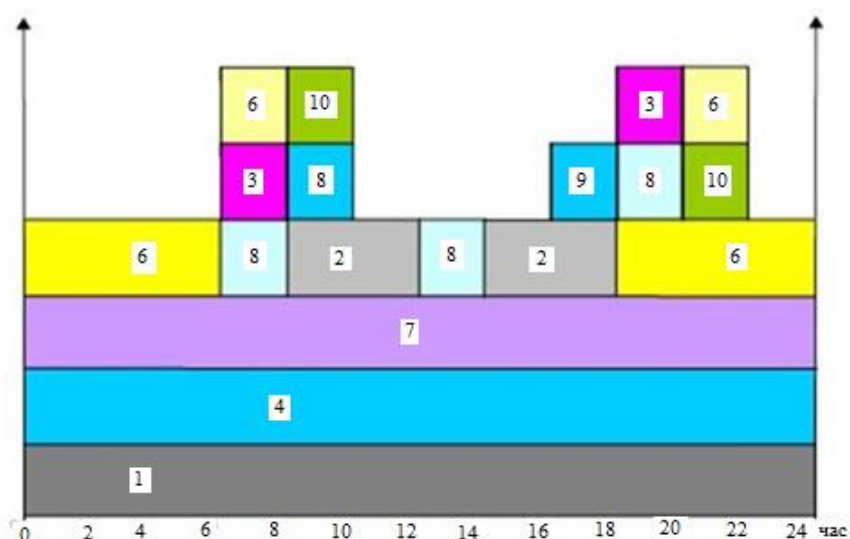


Рис. 1. Технологическая карта комплексной механизации на 25 - 200 голов:  
 1 – Водоснабжение (24 часа в сутки); 2 – Кормление (2 x 3 часа); 3 – Доеение (2x2 часа); 4 – Складирование и хранение молока (24 часа в сутки); 5 – Уборка и транспортировка навоза (2x2 часа); 6 – Освещение (12 часов); 7 – Подогрев воды в телятнике (24 часа); 8 – Кормление в телятнике (3x2 часа); 9 – Обслуживание новорожденных телят (2x2 часа); 10 – Уборка и транспортировка навоза в телятнике (2x2 часа) [3]

Таблица 1

Энергетические характеристики производственных процессов  
 фермы на 200 и 100 голов

Наименование процесса	Мощность электроприёмников, Р, кВт	
	Для – 200 голов	Для – 100 голов
Водоснабжение	4	3
Кормление	7,5	4,5
Доеение	3	1,5
Хранение молока	5,7	4,5
Уборка и транспортировка навоза	5,5	5,5
Освещение	1,8	1,4
Кормление (телятник)	0,8	0,8
Облучение новорожденных телят	4	2
Уборка навоза (телятник)	0,8	0,5
Обеспечение микроклимата	60	41,5
Подогрев воды	128	64
Итого	221,1	129,2

Основываясь на технологической карте, составляем энергетические характеристики производственных процессов фермы на 100 - 200 голов. Характеристики производственных процессов, требующих энергетических затрат для фермы 200 и 100 голов, приведены в табл. 1. Данные по суточному электроснабжению для ферм, расположенных в регионах приведены в табл. 2.

Суточное потребление электроэнергии фермы  $W_3$  определяется как:

$$W_3 = \sum_{i=1}^{24} P_i \cdot t_i, [\text{кВт} \cdot \text{час}] \quad (1)$$

где  $P_i$  – средние нагрузки за рассматриваемые временные интервалы  $t_i$ .

Таблица 2

Суточное потребление электроэнергии фермы по регионам

Регион	Объект, с поголовьем	Суточное потребление электроэнергии по сезонам, кВт*час			
		Зима (Январь)	Весна (Май)	Лето (Июль)	Осень (Октябрь)
Псковская область	200 голов	4273	3189,3	2810,58	3317,4
	100 голов	2354,2	1710,7	1453,7	1796
Ярославская область	200 голов	3982,8	3187,95	2810,6	3321
	100 голов	2462,3	1728,7	1451,6	1724
Челябинская область	200 голов	3982,8	3129,3	2811,95	3259,2
	100 голов	2327,7	1532,24	1452,65	1632,7

Для того чтобы иметь наглядное представление о характерах электрической нагрузки, составим график изменения нагрузки за сутки, то есть, зависимости суммарной мощности нагрузки потребителей, работающих в текущий момент времени, в зависимости от времени в течение суток. Суточные графики электропотребления фермы на 200 голов по сезонам для Псковской области в качестве примера приведены на рис. 2.

Анализируя графики, можно выявить, что суточные пики потребления электроэнергии бывают абсолютно разные. Также анализ показывает, что характер нагрузки меняется в зависимости от времени года. Для зимнего периода, когда в эксплуатацию включаются источники дополнительного обогрева, графики явно дают понять, что пики потребления электроэнергии значительно возрастают [4].

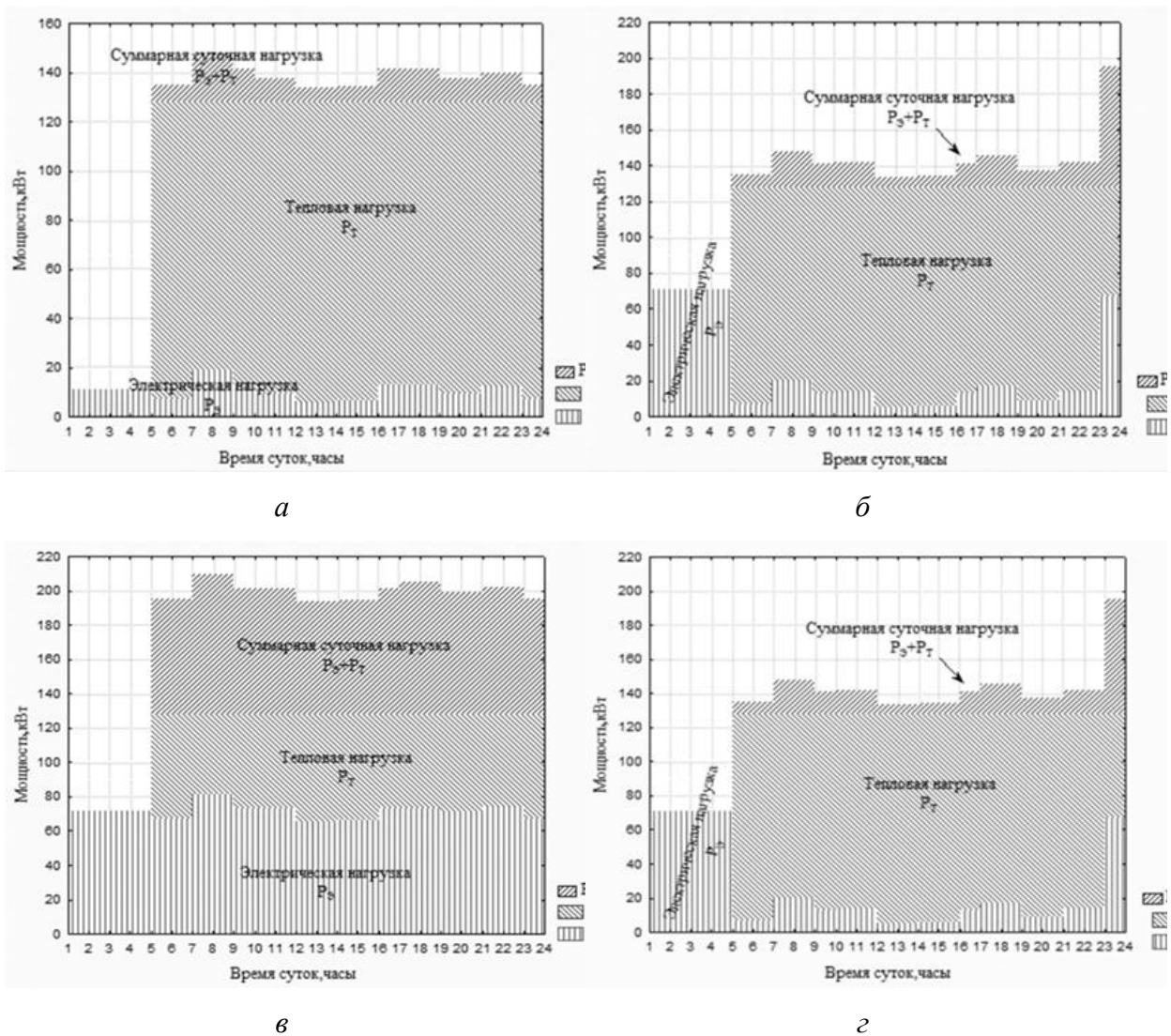


Рис. 2. Суточные графики электропотребления фермы:  
 $P_T$  – тепловая нагрузка;  $P_3$  – электрическая нагрузка; а – лето; б – весна;  
 в – зима; г – осень

В качестве рекомендаций по увеличению эффективности электроснабжения можно предложить комбинированную ее генерацию. Так, например, использовать ветроустановку (ВЭУ) и для обеспечения надежного электроснабжения объекта в паре дизель – генератор (ДГ). Возьмем работу ВЭУ в течение года 70 %, а работу ДГ – 30 %. Для оценочных расчетов примем тариф стоимости электроэнергии от ВЭУ – 1,2 руб/кВт час, а от ДГ – 5,5 руб/кВт час (на основании предварительных расчетов).

Предлагаемые методы для энергосбережения показывают хорошие технические характеристики (потребление топлива, использование накопителей), использование экономических особенностей. Потенциальными преимуществами использования гибридной системы электропитания могут быть эффективное использование устройства хранения энергии, интеграции и конфигурации в системах, которые полезны для децентрализованных областей.

На основании вышеизложенного анализа делаем выводы о перспективности разработки автономной системы энергоснабжения животноводческого хозяйства предлагаемой конфигурации (ВЭУ + ДГ). В дальнейших исследованиях предлагается провести оценку количественных показателей предлагаемой системы энергоснабжения для определения оптимальных значений.

#### Литература

1. Алдаяров Мирлан, Иштван Добози, Томас Николакакис. 2017. Затянувшийся переход: Опыт проведения реформ и новые вызовы в секторе электроэнергетики Казахстана. Направления развития. Вашингтон, Округ Колумбия: Всемирный банк. doi:10.1596/978-1-4648-0971-2. Лицензия: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO
2. Будзко, И. А. Электроснабжение сельского хозяйства / И. А. Будзко, Т. Б. Лещинская, В. И. Сукманов. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
3. Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота. – М., 2011. – 118с
4. НТП АПК 1.10.01.001-00 Нормы технологического проектирования ферм крупного рогатого скота крестьянских хозяйств: [сайт]. – URL: [https://znaytovar.ru/gost/2/NTP\\_ARK\\_1100100100\\_Normy\\_texno.html](https://znaytovar.ru/gost/2/NTP_ARK_1100100100_Normy_texno.html) (дата обращения: 15.12.2023). – Текст: электронный.

УДК 621.039

#### **МОХ-топливо – будущее ядерной энергетики**

<sup>1</sup>Симикин Виктор Васильевич, обучающийся;

<sup>2</sup>Савочкин Иван Сергеевич, студент направления

«Теплоэнергетика и теплотехника»;

<sup>2</sup>Устинов Николай Андреевич, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Атомная энергетика»;

<sup>1</sup>Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение «Гимназия № 1 имени Героя Советского Союза Д.З. Тарасова» г. Балаково Саратовской области;

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

*Рассмотрены области применения МОХ-топлива, преимущества использования и потенциальные возможности. В последние годы интерес к МОХ-топливу возрос, т.к.*

его использование значительно влияет на экологию нашей планеты, к тому же МОХ-топливо обладает высокой эффективностью.

Использование урана в современном топливном цикле.

В настоящее время большинство атомных станций используют в качестве основного топлива уран. Он является невероятно энергоёмким: 1 килограмм урана с обогащением до 4 %, используемого в ядерном топливе, при полном выгорании выделяет энергию, эквивалентную сжиганию примерно 100 тонн высококачественного каменного угля или 60 тонн нефти. Кроме того, урановое топливо не сгорает до конца. Доля отработавшего в реакции, или «выгоревшего», урана не превышает 6 - 7 %. В большинстве стран отработавшее ядерное топливо после всего одного полного цикла использования в реакторе (который может составлять до 4,5 лет) считают ядерными отходами и отправляют на долговременное хранение, что негативно сказывается на окружающей среде. Переработка уранового топлива и его повторное использование – приоритетная задача современной ядерной энергетики. Особенно это важно в перспективе, ведь ядерная энергетика не стоит на месте и несомненно будет развиваться. Строительство новых реакторных блоков и атомных станций совершенно точно потребует большего количества топлива (которым в основном является уран), а соответственно, большей его добычи. Мировые запасы урана на сегодняшний день составляют приблизительно 30 - 40 млн тонн [1]. При этом на АЭС не используется уран в чистом виде.

В качестве ядерного топлива обычно выступает смесь  $U_{235}$  и  $U_{238}$ . Для этого природный уран обогащают в центрифугах до 2 - 6 % доли изотопа  $U_{235}$  (рис. 1.). При этом около 99,4 % земного урана приходится на уран-238, и всего 0,6 % – на уран-235.



Рис. 1. Пропорции урана-238 (синий) и урана-235 (красный) на разных стадиях обогащения



Несмотря на возможность прироста запасов, уран является исчерпаемым ресурсом, подобно любому виду ископаемого топлива. Если использовать его только в одном топливном цикле («сжигая» лишь один раз в обычных тепловых реакторах и отправляя отработавшее ядерное топливо в отвал), то известных запасов хватит для работы существующих в мире АЭС примерно на 60-80 лет. Но этот горизонт можно продлить на долгие годы, а то и столетия, если при производстве электроэнергии на АЭС перейти на использование МОКС-топлива.

Суть процесса обогащения заключается в повышении доли изотопа уран-235, который и является делящимся материалом в реакторе (об этом более подробно написано выше). При этом во время процедуры выделяется несколько побочных продуктов, основным из которых является обедненный уран. Он не такой радиоактивный, как природный, поскольку содержит меньше делящегося материала U-235 (он уходит непосредственно в ядерное топливо), но имеет очень высокую плотность, что полезно для дальнейшего использования ОЯТ.

ОЯТ – это уран, поработавший в ядерном реакторе и содержащий радиоактивные продукты деления. Поэтому его называют также облученным или выгоревшим ядерным топливом. Но, как мы уже выяснили, далеко не всё топливо выгорает. ОЯТ – это ценный продукт, из которого после специальной химической обработки выделяют очень важный и довольно редкий химический элемент – плутоний. Примерно 3 % топлива при этом остается в качестве высокоактивных отходов. После битумирования или бетонирования эти материалы подлежат длительному захоронению. В ОЯТ содержится примерно 1 % плутония. Это невероятно энергоёмкий химический элемент, который не нуждается ни в каком процессе обогащения и используется при производстве МОКС-топлива [2].

МОКС-топливо – это смесь оксидов плутония, выделенного из отработавшего топлива, а также оксидов обедненного урана, который образуется как побочный продукт при производстве ядерного топлива на этапе обогащения урана.

МОКС-топливо – это довольно новый и не до конца испытанный вид ядерного топлива. Однако его уже начинают активно внедрять в атомные станции по всему миру. Яркий пример тому – использование МОКС-топлива в реакторе на быстрых нейтронах БН-800 на энергоблоке № 4 Белоярской АЭС. МОКС-топливо может также применяться как дополнительное топливо для наиболее распространенного типа ядерных реакторов: легководных на тепловых нейтронах, хороший пример такой альтернативы – использование МОКС-топлива на реакторах типа ВВЭР, где предполагается разместить от 5,5 % до 7,5 % плутония, но это незначительно повышает их эффективность [3].

Более рациональное использование МОКС топлива – это сжигание его в реакторах на быстрых нейтронах. Именно в реакторах такого типа на МОКС-топливе они способны нарабатывать плутоний, которого хватит, чтобы обеспечить себя и, при необходимости, другие реакторы новым топливом. Таким образом мы получаем почти самостоятельную топливную систему, практически не требующую дополнительных затрат на закупку нового топлива.

Реактор БН-800 Белоярской станции проектировали под МОКС-топливо, но загружали его в активную зону реактора постепенно. В 2014 году большую часть стартовой загрузки составляло обычное урановое топливо, МОКС-топлива было всего 16 %. Оно изготавливалось на опытных производствах объединения «Маяк» и Научно-исследовательского института атомных реакторов. В сентябре 2022 года активная зона реактора БН-800 достигла почти полной загрузки: в ней осталось всего лишь несколько тепловыделяющих сборок с урановым топливом, которые доработали положенный срок. Осенью 2023 года они были заменены. Таким образом, энергоблок с реактором БН-800 Белоярской АЭС стал первым в мире, отработавшим целый год на МОКС-топливе.

При работе в реакторах на быстрых нейтронах МОКС-топливо способно самонарабатываться, что в перспективе является ключом к решению одной из самых фундаментальных проблем современной ядерной энергетики – окончательному замыканию топливного цикла. Главным аспектом ядерной энергетики является то, что вместо того, чтобы просто использовать подготовленное ядерное топливо 1 раз, а затем выбрасывать его как отходы, большую часть его можно перерабатывать, что и выражается в производстве МОКС-топлива.

Современный ядерный топливный цикл в большинстве своём является открытым, то есть отработанное ядерное топливо считается высокоактивными радиоактивными отходами и вместе с остаточными делящимися изотопами исключается из дальнейшего использования – поступает на хранение или захоронение. Именно поэтому использование такого цикла очень сильно снижает энергоэффективность АЭС, ведь каждый раз после отработки одного топлива, приходится закупать другое. Как было сказано выше, при такой схеме работы реакторов ядерного топлива хватит чуть больше, чем на 80 лет. В настоящий момент широкое применение разомкнутого цикла в первую очередь обусловлено относительно низкими ценами на уран.

Осуществляя переработку ОЯТ и производство МОКС-топлива, мы замыкаем этот цикл, что и является решением проблемы нехватки топлива, описанной в самом

начале. Замкнутый или закрытый топливный цикл является более эффективной системой максимального использования урана без его дополнительной добычи на рудниках (в энергетических единицах экономия составляет около 30 %). При использовании МОКС-топлива во всех реакторах, нам бы удалось в тысячи раз сократить добычу урана, тем самым растянув его запасы на очень долгие годы. Экономика и промышленность нашей страны будут обеспечены чистой атомной электроэнергией на сотни лет. В наших руках появляется почти вечный двигатель, не требующий расходования невозобновляемых ресурсов для производства электроэнергии [4].

Энергоблок Белоярской АЭС целый год отработал на полной загрузке уран-плутониевым МОКС-топливом, тем самым не в теоретических разработках учёных и конструкторов, и не на лабораторном стенде, а по результатам реального опытно-промышленного использования впервые доказал, что технология замкнутого ядерно-топливного цикла готова к промышленному применению. И теперь, когда стабильная работа на МОКС-топливе доказана, на основе опыта эксплуатации энергоблоков Белоярской АЭС с реакторами БН-800 создается серийный энергоблок с быстрым реактором следующего поколения – БН-1200М. Головной энергоблок этой серии будет построен на Белоярской АЭС под № 5 [5].

При обогащении урана в качестве отходов остаётся обеднённый уран. Обеднённый уран обладает высокой плотностью, превышает плотность свинца примерно в два раза. За счет нее металл используют при производстве бронебойных боеприпасов и для повышения прочности военной техники, например танков. Но использование обеднённого урана в военных действиях, как ни странно, невероятно опасно для окружающей среды.

Во время взрывов боеприпасов с обедненным металлом высвобождается огромное количество пыли окиси урана. По информации МАГАТЭ, проведённые им исследования показали, что радиологическая угроза для населения и окружающей среды после использования урановых снарядов сильно возрастает. Когда человек напрямую взаимодействует с фрагментами или целыми боеприпасами с обедненным ураном, это может привести к разрушениям ДНК и облучению организма, что ведёт к раковым заболеваниям.

Поэтому от таких снарядов постепенно отказываются, но тогда возникает другая проблема – их утилизация. Сейчас они отправляются на долговременное хранение, а учитывая их большое количество, хранить их тяжело. И тут на помощь снова приходит МОКС-топливо.

Одним из привлекательных его свойств является то, что при его производстве могут утилизироваться излишки оружейного урана, которые в противном случае являлись бы радиоактивными отходами. Ведь при наработке топлива как раз и используется обеднённый уран. Подобные меры позволяют не только помочь экологии нашей планеты, но и внести свой вклад во всеобщее разоружение и предотвращение военных конфликтов [1].

Говоря о МОКС-топливе, нельзя не упомянуть про топливо типа РЕМИКС. РЕМИКС-топливо – инновационная российская разработка для легководных тепловых реакторов, составляющих основу современной атомной энергетики. Его топливная композиция производится из смеси регенерированного урана и плутония, которая образуется при переработке отработавшего ядерного топлива, с добавлением обогащенного урана. Оно схоже с МОХ-топливом, в основе которого тоже оксид. Однако в РЕМИКС-топливе уран обогащен по изотопу урана 235. Это его ключевое отличие от МОХ-топлива – смеси обедненного урана (так называемых урановых хвостов, или отвалного урана) и плутония. При этом в РЕМИКС-топливе содержание плутония ниже, чем в МОХ: до 5 % (в МОХ – до 30 %). МОХ-топливо предназначено для реакторов на быстрых нейтронах, РЕМИКС – для тепловых. Его нейтронный спектр не отличается от стандартного топлива с обогащенным ураном, поэтому поведение топлива в активной зоне реактора и количество плутония, образующегося из урана в результате облучения, в целом идентичны. Благодаря этому, РЕМИКС-топливо можно внедрять без изменений в конструкции реактора и значительных дополнительных мер по обеспечению безопасности. Это делает его более привлекательным для современных операторов атомных станций. Его использование также позволит многократно расширить сырьевую базу атомной энергетики за счет замыкания ядерного топливного цикла по плутонию в тепловых реакторах и тем самым приостановить процесс его накопления или даже сократить его запасы. Использование РЕМИКС-топлива позволит снизить потребление природного урана на 20 – 25 %, кроме того, позволяет лучше использовать топливный потенциал ОЯТ, но нуждается в высокообогащенном уране (например, оружейном). Также, как и в случае с МОКС-топливом, РЕМИКС-топливо позволяет повторно использовать облученное топливо вместо его хранения. Стоит отметить, что с 2016 года в реакторе ВВЭР-1000 на энергоблоке № 3 Балаковской АЭС продолжается опытно-промышленная эксплуатация трех экспериментальных ТВС, каждая из которых содержит по шесть опытных твэлов с РЕМИКС-топливом (всего в одной топливной кассете – 312 твэлов). В 2020 году стартовал третий 18-месячный цикл его облучения [5].

МОКС-топливо – это инновационная разработка нашего времени, использование которой позволяет переработать отработавшее ядерное топливо, которое иначе ушло бы на захоронение, и изготовить новое смешанное уран-плутониевое топливо, в котором количество энергии, которое можно получить от природного урана, увеличивается в сотни раз. Реакторы на быстрых нейтронах также способны «дожигать» долгоживущие (с периодом распада до тысяч и сотен тысяч лет) радиоактивные продукты деления, превращая их в короткоживущие с периодом полураспада в 200 - 300 лет, после чего они могут быть надёжно захоронены с соблюдением стандартных процедур и не нарушат природный радиационный баланс Земли. МОКС-технология позволяет эффективно замыкать топливный цикл ядерной энергетики. Это означает возможность переработки отработанного топлива для повторного использования, что уменьшает количество радиоактивных отходов и способствует устойчивости энергоснабжения. Использование МОКС-топлива позволяет максимально эффективно использовать запасы урана. Благодаря возможностям переработки отработанного топлива, атомная энергетика сделала большой шаг вперёд. Ведь теперь не придется в огромном количестве добывать уран, что позволит растянуть его запасы на долгие годы. МОКС-топливо обеспечивает возможность расширения сроков службы ядерных реакторов. Это приводит к повышению эффективности ядерной энергетики, уменьшению воздействия на окружающую среду и снижению потребности в частых заменах топлива. Применение МОКС-топлива также играет важную роль в международных усилиях по разоружению. Переработка хранящегося и оружейного плутония и обеднённого урана в МОКС-топливо создает эффективный механизм утилизации ядерных материалов, который способствует уменьшению ядерной угрозы и обеспечению безопасности мирового сообщества.

Вывод: МОКС-топливо выступает в качестве ключевого элемента современной ядерной энергетики, являясь символом её развития и процветания. Ядерная энергетика в очередной раз смогла доказать, что её экологичность практически максимальна, ведь теперь, в перспективе, даже не придётся расширять добычу урана. Показав свою эффективность не только в теоретических расчётах, но и на практике промышленного применения, МОКС-топливо заслуженно может нести звание будущего ядерной энергетики, но уже в настоящем.

#### Литература

1. Крышев, И. И. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России / И. И. Крышев, Е. П. Рязанцев. – Москва: ИЗДАТ, 2000 – 382 с.

2. CYBERLENINKA: [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovye-zapasy-urana-perspektivy-syrievogo-obespecheniya-atomnoy-energetiki> (дата обращения: 12.12.2023). – Текст: электронный.

3. CYBERLENINKA: [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/poluchenie-moks-topлива-kak-odin-iz-etapov-zamykaniya-yadernogo-toplivnogo-tsikla/viewer> (дата обращения: 12.12.2023). – Текст: электронный.

4. Росатом: [сайт]. – URL: <https://rosatom.ru/index.html> (дата обращения: 12.12.2023). – Текст: электронный.

5. Едчик, И. А. Основы физики ядерных реакторов / И.А. Едчик. – Минск: Белорусская наука, 2019. – 212 с.

УДК 681.515

### **Система автоматического регулирования скорости расхолаживания реакторной установки ВВЭР-1000**

Табакова Екатерина Дмитриевна, 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 представлена структурная схема системы регулирования скорости расхолаживания реакторной установки ВВЭР-1000. Произведен выбор элементов и устройств системы в соответствии с требуемыми техническими параметрами и разработана функциональная схема системы автоматического регулирования скорости расхолаживания реакторной установки.*

К технологическому оборудованию и системам, применяемым на атомных электростанциях, предъявляются высокие требования по надежности, что позволяет обеспечить необходимый уровень безопасной эксплуатации энергоблоков.

Системы автоматического регулирования (САР) используются в реакторных установках атомных электростанций в качестве технических средств для создания автоматизированных производств, технологических процессов. Задача САР заключается в обнаружении отклонения регулируемой величины и воздействие на нее таким образом, чтобы это отклонение было устранено.

Реакторные установки с реактором типа ВВЭР работают по двухконтурной схеме циркуляции. В первом контуре обеспечивается циркуляция теплоносителя и передача тепла активной зоны реактора воде во втором контуре, что позволяет генерировать пар для турбогенератора [1].

Для охлаждения реактора в первом контуре используются теплообменники. Они отводят тепло от реакторной камеры и передают его во второй контур, где оно используется для производства пара. Таким образом, теплообменник обеспечивает эффективную работу реактора и перенос тепла от ядерного реактора к турбинам, где оно превращается в электрическую энергию.

Структурная схема системы регулирования скорости расхолаживания реакторной установки представлена на рис. 1.

В системе аварийного охлаждения активной зоны реактора (САОЗ) предусмотрено автоматическое регулирование скорости расхолаживания первого контура, при этом микроконтроллер 1 формирует сигнал по максимальной температуре петель и воздействует на два регулирующих клапана - регулирующий клапан 1 (РК1) и регулирующий клапан 2 (РК2), установленные на трубопроводах теплоносителя [1].

Микроконтроллер 1 посредством перераспределения расхода теплоносителя первого контура через теплообменник устанавливает скорость расхолаживания первого контура не более 30 °С/час. При открытом РК1 поток теплоносителя направляется в теплообменник, тем самым увеличивается скорость расхолаживания.

При открытом РК2 поток теплоносителя направляется в обход теплообменника. Управляя РК1 и РК2, достигается оптимальная скорость расхолаживания первого контура. При недостаточной скорости расхолаживания увеличивается расход технической воды через теплообменник путем воздействия на микроконтроллер 2 и через него на РК3. При снижении температуры первого контура до 30 - 40 °С необходимо стабилизировать эту температуру посредством перераспределения расхода теплоносителя через теплообменник с помощью РК1 и РК2.

Выбор элементов и устройств системы регулирования скорости расхолаживания реакторной установки проведен с учетом технических параметров системы [2].

Для измерения расхода жидкости используются расходомеры переменного перепада давления. В состав этих расходомеров входят первичные измерительные преобразователи, промежуточные преобразователи, функциональные преобразователи и измерительные приборы. Для создания перепада давлений в системе применяется диафрагма камерная сварная типа ДКС 10-500 с техническими характеристиками: условное давление 10 МПа, условный диаметр 500 мм.

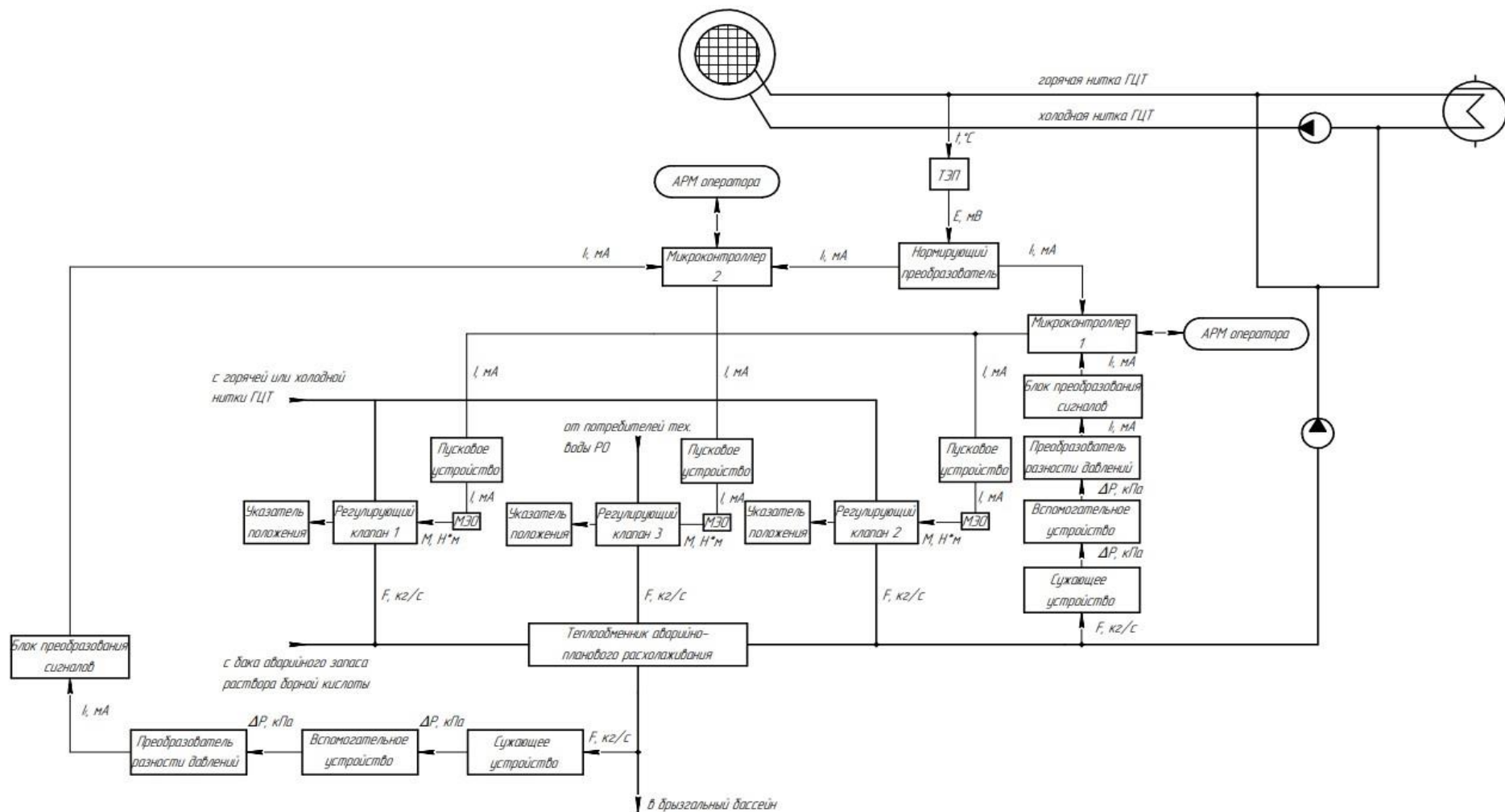


Рис. 1. Структурная схема системы регулирования скорости расхолаживания реакторной установки



Сосуды уравнильные (СУ) предназначены для поддержания постоянного уровня жидкости в одной из двух соединительных линий при измерении уровня жидкости в резервуарах с использованием преобразователей разности давлений. СУ предназначены также для защиты внутренних полостей преобразователей разности давлений и обеспечения равенства плотностей жидкости в соединительных линиях при измерении расхода жидкости с температурой выше 100 °С. В табл. 1 приведены сравнительные характеристики различных сосудов уравнильных.

Таблица 1

Характеристики сосудов уравнильных

Условное обозначение	Условное давление, МПа	Исполнение	Материал	Обозначение материала	Обозначение при заказе
СУ-6,3	6,3	2; 4	Ст.20	А	СУ-6,3-2(4)-А(Б)
			Ст.12Х19Н10	Б	
СУ-25	25	2	Ст.20	А	СУ-25-2(4)-А(Б)
			Ст.12Х19Н10	Б	
СУ-40	40	-	Ст.20	А	СУ-40-2(4)-А(Б)
			Ст.12Х19Н10	Б	

В системе применяется сосуд уравнильный СУ-6,3-2-А как для измерения расхода теплоносителя, так и для измерения расхода технической воды [2].

Преобразователь разности давлений предназначен для преобразования разности давлений в унифицированный токовый выходной сигнал 0 - 5 мА, 4 - 20 мА. Для рассматриваемой схемы в качестве преобразователя разности давлений используются преобразователи Метран-43Ф-ДД, Сапфир-22МТ-ДД.

Блок преобразования сигналов предназначен для питания стабилизированным напряжением преобразователей разности давлений с функциональным преобразованием выходного сигнала от преобразователей в другие уровни по двум каналам: с пропорциональной и корнеизвлекающей зависимостью. Для системы регулирования скорости расхолаживания в качестве блока преобразователей сигналов используется устройство типа БПК-40-0,2%-4...20-4...20.

Пускатель ПБР-3АА предназначен для применения на атомных станциях. Работает в режимах пуск, реверс синхронного и асинхронного электродвигателя и защита от перегрузки асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором типа 4А, АОЛ.

Исполнительные механизмы являются приводной частью регулирующего органа (клапан, задвижка, заслонка) и предназначены для его перемещения [2]. В качестве

исполнительного механизма в системе используется механизм исполнительный однооборотный МЭО-4000-97К с номинальным значением момента на выходном валу  $M_H = 4000 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

Указатель положения предназначен для дистанционного указания положения выходного вала электрического исполнительного механизма, имеющего реостатный или индуктивный датчик. В системе используется ДУП-М.

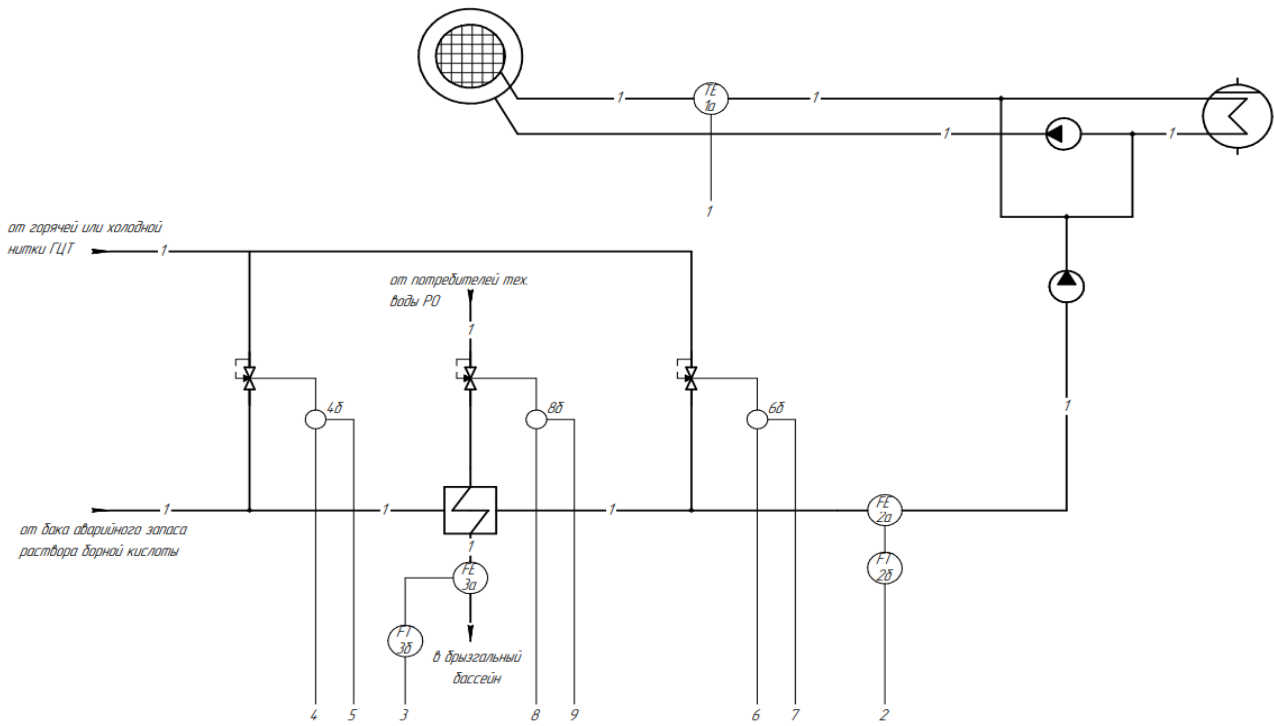
При выборе контроллера для систем управления основной задачей является наиболее полное соответствие техническим требованиям на разработку автоматической системы (требования к информационным, управляющим и вспомогательным функциям, а также к техническому, программному и метрологическому, к диагностике и техническому обслуживанию системы и др.) [2]. В системе регулирования скорости расхолаживания используется контроллер КРОСС, обладающий такими функциями как РС-совместимость, универсальность и надежность. На рис. 2 представлена функциональная схема системы регулирования скорости расхолаживания реакторной установки.

В верхней части схемы показан технологический объект, выполненный в условных обозначениях, первичные преобразователи измеряемых технологических параметров и регулирующая арматура. В нижней части схемы показаны преобразователи по месту, приборы, средства автоматизации и вычислительной техники, установленные на двух щитах.

Температура горячей нитки главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ) измеряется термоэлектрическим преобразователем 1а, далее сигнал поступает на нормирующий преобразователь 1б, где преобразуется в выходной сигнал со значением силы тока 4 - 20 мА. Преобразованный сигнал поступает на микроконтроллеры КРОСС 1 и 2.

Расход теплоносителя измеряется с помощью сужающего устройства 2а, далее сигнал разности давлений поступает в уравнительный сосуд 2б, который необходим для поддержания постоянства уровня в одной из двух соединительных линий для нормальной работы преобразователя разности давлений 2в.

Выходной сигнал с преобразователя разности давлений 2в номиналом 4 - 20 мА поступает на блок преобразования сигналов 2г, а затем на микроконтроллер КРОСС 1. При недопустимой скорости расхолаживания сигнал с микроконтроллера КРОСС 1 поступает на пускатели 4а и 6а, необходимые для управления исполнительными механизмами 4б и 6б. На микроконтроллер КРОСС 1 также приходит сигнал с датчиков 5а и 7а о положении выходного вала исполнительных механизмов 4б и 6б.



		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Приборы по месту		30...32°C	1500 м³/ч	3000 м³/ч		0...100%		0...100%		0...100%
Щит КИПиА 1		PI 10	PI 20	PI 30	NS 40		NS 60		NS 80	
Контроллер КРОСС 1	Измерение									
	Управление									
	Сигнализация									
Щит КИПиА 2		PI 10		PI 30						CI 90
Контроллер КРОСС 2	Измерение									
	Управление									
	Сигнализация									
АРМ оператора										

Рис. 2. Функциональная схема системы регулирования скорости расхолаживания реакторной установки

Расход технической воды измеряется с помощью сужающего устройства 3а, далее сигнал поступает в уравнительный сосуд 3б, необходимый для нормальной работы преобразователя разности давлений 3в. Выходной сигнал с преобразователя 3в номиналом 4 - 20 мА поступает на блок преобразования сигналов 3г, а затем на микроконтроллер КРОСС 2. При недостаточной скорости расхолаживания микроконтроллер КРОСС 2 формирует сигнал, который поступает на пускатель 8а, необходимый для управления исполнительным механизмом 8б. На микроконтроллер

КРОСС 2 также приходит сигнал с датчика 9а о положении выходного вала исполнительного механизма 8б. Система автоматического регулирования скорости расхолаживания реакторной установки удовлетворяет заданным критериям качества и способствует повышению безопасности при эксплуатации атомных станций [3].

#### Литература

1. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта / С. А. Андрущечко, А. М. Афров, Б. Ю. Васильев [и др.] – М.: Логос, 2010. – 604 с.
2. Топчеев, Ю. И. Атлас для проектирования систем автоматического регулирования / Ю. И. Топчеев. – М.: Машиностроение, 1989. – 840 с.
3. Тепловые и атомные электрические станции: справочник / Под общ. ред. В. А. Григорьева, В. М. Зорина. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.

УДК 621.311

#### **Сравнительный анализ циклотрона и бетатрона как источника воздействия на экологию**

Табачкова Екатерина Дмитриевна, студент специальности  
«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;  
Кудашева Ирина Олеговна, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Атомная энергетика»

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

*В статье рассмотрены сравнение характеристик циклотрона и бетатрона, влияние их на окружающую среду, а также современные энергосберегающие технологии. Представлены достоинства и недостатки циклотрона и бетатрона в различных сферах применения.*

В наши дни современные технологии и научные достижения играют важную роль в развитии общества. Технологии в области медицины, энергетики и промышленности имеют значительное влияние на окружающую среду и природный баланс. При работе циклотрона и бетатрона исходят различные негативные последствия влияющую на окружающую среду, рассмотрим их подробнее [3].

Рассмотрим одинаковые аспекты бетатрона и циклотрона, влияющие на окружающую среду:

#### 1. Энергетическая активность.

Одной из основных проблем, связанных с использованием бетатрона и циклотрона является их высокая энергетическая активность. Кроме того, высокая энергетическая активность может приводить к радиационному загрязнению окружающей среды, а также негативно влиять на нервную систему человека и животных.

В случае с бетатроном образуемый катодный луч способен проникать сквозь различные материалы, включая ткани живых организмов. Это может вызывать различные изменения в клетках и тканях, вплоть до ракового заболевания [2].

Циклотрон в свою очередь, способен ускорять ионный поток различных элементов, что позволяет использовать его для создания различных изотопов и радиофармпрепаратов, широко применяемых в медицине.

#### 2. Вибрационное и шумовое воздействие.

Также стоит отметить влияние шума и вибраций от работы циклотрона и бетатрона. Постоянные звуковые и вибрационные воздействия могут негативно повлиять на флору и фауну вокруг установок [1].

Существуют различные методы и технологии, которые позволяют минимизировать негативное воздействие шума и вибраций ускорителей на окружающую среду. В первую очередь необходимо провести специальные звукоизоляционные и виброизоляционные работы для устранения и снижения уровня шума и вибраций.

Важной составляющей процесса предотвращения негативного влияния циклотрона и бетатрона на окружающую среду является также контроль уровней шума и вибраций по окончании выполненных работ. Это позволяет своевременно выявлять возможные несоответствия и проблемы, а также принимать меры по их устранению [2].

Но у циклотрона есть преимущество в том, что проводятся мероприятия по устранению и снижению вибраций, связанных с работой циклотрона. Для этого применяются специальные пружинные системы и амортизаторы, которые позволяют поглощать вибрации и предотвращать их передачу на стены и пол циклотрона.

Поэтому важно принимать меры для снижения шумовой и вибрационной нагрузки, например, использовать шумопоглощающие материалы и современные технологии для уменьшения вибраций.

Преимущества и недостатки определенных аспектов работы бетатрона и циклотрона, влияющие на окружающую среду:

1) Электроэнергетические потери.

Одним из главных аспектов, связанных с циклотронами, является высокое энергетическое потребление. Для работы этих устройств требуется большое количество электроэнергии, что может приводить к негативному влиянию на окружающую среду. Поэтому очень важно оценивать и оптимизировать энергетическую эффективность циклотрона, чтобы минимизировать его негативное воздействие на природу [3].

В свою очередь бетатрон способен работать на намного более низких энергиях, что позволяет снизить потребление электроэнергии и, следовательно, воздействие на окружающую среду.

2) Радиоактивность веществ.

Бетатрон не требует использования радиоактивных веществ, что значительно снижает риск утечки радиации в окружающую среду. Это особенно важно при работе с опасными или высокотоксичными веществами.

При работе циклотрона используются радиоактивные изотопы, которые должны быть правильно утилизированы или защищены от попадания в окружающую среду.

Любая утечка радиоактивных веществ может способствовать загрязнению воды, почвы и атмосферы, что сильно негативно сказывается на природе [4].

В табл. 1 указаны параметры циклотрона и бетатрона, а также их плюсы и минусы в различных сферах.

Исходя из табл. 1, можно сделать вывод о том, энергетическая активность и вибрационное воздействие у бетатрона и циклотрона одинаковы, но у бетатрона присутствуют электроэнергетические потери и радиоактивность веществ, при этом отсутствует удобство при транспортировке.

Таблица 1

Сравнительные аспекты бетатрона и циклотрона

Аспекты	Бетатрон	Циклотрон
Энергетическая активность	+	+
Вибрационное воздействие	+	+
Электроэнергетические потери	-	+
Радиоактивность веществ	-	+
Удобства транспортировки	-	+

Примечание: + Присутствует аспект, - отсутствует аспект.

В целом, выбор между Бетатроном и Циклотроном в контексте экологических параметров зависит от конкретной задачи и требований проекта. Оба ускорителя имеют свои преимущества и могут быть использованы в различных областях исследований. Важно учитывать все факторы, включая уровень безопасности, энергопотребление и воздействие на окружающую среду, чтобы выбрать наиболее подходящий вариант для конкретного проекта с учетом экологических аспектов.

В заключение, влияние бетатрона на природу является многогранным и требует серьезного анализа и регулирования. Необходимо учесть не только его негативные последствия, но и потенциал положительного воздействия данных технологий. Разработка и применение бетатрона и циклотрона должно сопровождаться всесторонним изучением и оценкой их экологического влияния, а также применением современных методов и подходов к устойчивому развитию для снижения рисков и сохранения природного мира.

#### Литература

1. Черняев, А. П. Введение в физику ускорителей заряженных частиц: учебное пособие / А. П. Черняев, М. А. Белихин, М. В. Желтоножская. – М.: ООП физического факультета МГУ, 2019. – 112 с.
2. Кульчин, Ю. Н. Ускорители заряженных частиц и синхротронное излучение: учебное пособие / Ю. Н. Кульчин. – Владивосток: Изд-во Дальневосточного федерального университета, 2021. – 106 с.
3. Черняев, А. П. Медицинское оборудование в современной лучевой терапии: учебное пособие / А. П. Черняев, Е. Н. Лыкова, А. И. Поподько. – М.: ООП физического факультета МГУ, 2019. – 101 с.

**Регулирование давления питательной воды от вспомогательных питательных электронасосов на атомной станции**

Трунян Нарине Суриковна, студент направления

«Управление в технических системах»;

Мефедова Юлия Александровна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Атомная физика и технологии»

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

*В статье представлена обзорная информация о системе вспомогательной питательной воды на АЭС с реактором ВВЭР-1000, а также о системе автоматического регулирования давления питательной воды от вспомогательных питательных электронасосов. На основании требований к работе САР разработана ее функциональная схема и подобраны элементы.*

Система трубопроводов питательной воды RL на АЭС с реактором ВВЭР предназначена для выполнения ряда функций, основными из которых являются:

- первоначального заполнения и обеспечения парогенераторов питательной водой в режимах пуска, работы блока на мощности, останова в состоянии «горячего» резерва, а также расхолаживания;
- поддержания уровня в парогенераторах;
- исключения подачи питательной воды в случае переполнения парогенератора;
- исключения подачи питательной воды в аварийный парогенератор в случае разрыва паропровода ПГ в неотключаемой части, питательного трубопровода или течи из первого контура во второй и др. [1].

Система питательной воды состоит из [2]:

- двух деаэраторов повышенного давления;
- четырех фильтров по питательной воде (3 находятся в работе постоянно, 1 – в резерве);
- двух главных питательных насосов (ТПН) и двух вспомогательных питательных электронасосов (ВПЭН);
- системы регенерации высокого давления (две нитки ПВД);



- узла питания, состоящего из регуляторов уровня парогенераторов (ПГ) с основными линиями подачи питательной воды в ПГ и байпасными линиями подачи питательной воды в ПГ с отсекающими арматурами на этих линиях.

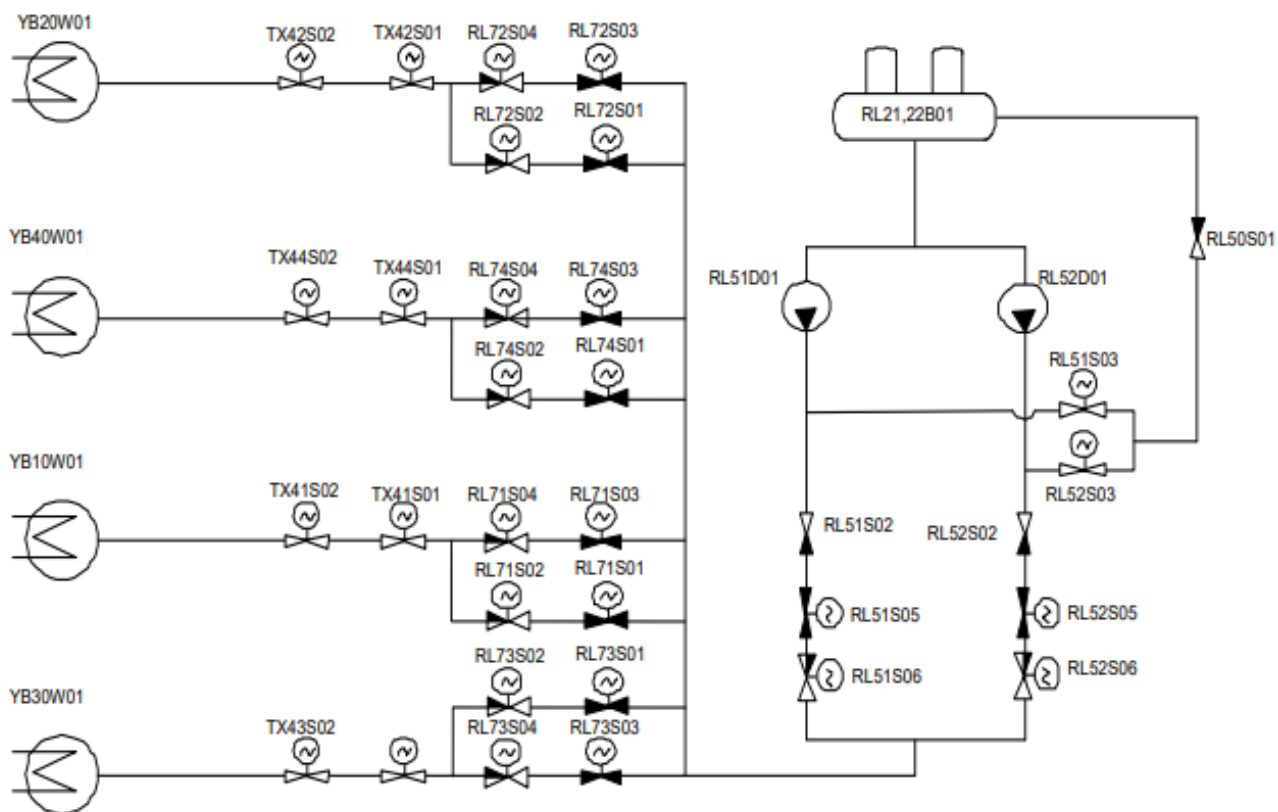


Рис. 1. Упрощенная технологическая схема системы вспомогательной питательной воды: ВПЭН – вспомогательные питательные электронасосы (RL51D01, RK52D02); YB10W01, YB20W01, YB30W01, YB40W01 – парогенераторы; 1,2RL71,72,73,74S04 – пусковые РК узла питания ПГ; 1,2RL51,52S06 – регулирующие клапаны САР

Система ВПЭН (рис. 1) обеспечивает:

- разогрев и расхолаживание Д-7 и трубопроводов питательной воды;
- отмывку системы питательной воды после ремонта;
- заполнение парогенераторов деаэрированной водой перед началом пуска блока после ремонта ПГ (блока);
- питание парогенераторов в ходе разогрева блока до номинальных параметров теплоносителя I контура и рабочего тела II контура;
- питание парогенераторов при наборе нагрузки с нуля до момента включения ТПН ( $N \leq 5\% \text{ от } N_{\text{ном}}$ );
- питание парогенераторов при снижении нагрузки, соответствующей моменту отключения ТПН, до нуля;

- дозаполнение парогенераторов до уровня 3700 - 3800 мм и их питание в ходе поддержания состояния блока «горячий останов» и при паровом расхолаживании блока.

При работе блока на мощности ВПЭН находятся в состоянии «готов к работе».

Для обеспечения постоянного перепада давления давлением в питательном коллекторе и давлением пара в главном паровом коллекторе (ГПК) на АЭС используется система автоматического регулирования (САР), которая обеспечит линейность расходных характеристик пусковых регулирующих клапанов узла питания 1,2RL71,72,73,74S04 парогенераторов при подаче питательной воды от вспомогательных питательных электронасосов при пуске энергоблока. Заданный перепад при этом составляет  $10 \text{ кгс/см}^2$ , с точностью  $\pm 3 \text{ кгс/см}^2$ .

Регулятор 1,2RL51(52)C06 САР поддерживает равным нулю рассогласование:

$$\varepsilon = \Delta P_{\text{зад}} - \Delta P_{\text{тек}}, \quad (1)$$

где  $\Delta P_{\text{зад}}$  – заданное значение перепада давления на пусковых РК узла питания ПГ;  $\Delta P_{\text{тек}}$  – текущее значение перепада давления на пусковых РК.

Текущий перепад давления на пусковых РК вычисляется по показаниям соответствующих датчиков давления по формуле:

$$\Delta P_{\text{тек}} = \alpha_1 P_{\text{пв}} - \alpha_2 P_{\text{гпк}}, \quad (2)$$

где  $P_{\text{пв}}$  – давление в коллекторе питательной воды;  $P_{\text{гпк}}$  – давление пара в ГПК;  $\alpha_1$  – масштабирующий коэффициент (1);  $\alpha_2$  – масштабирующий коэффициент (0,625), предназначен для приведения сигналов давления к одному диапазону измерений.

При наличии ошибки регулятор выдает дискретные команды на открытие/закрытие РК 1,2RL51,52S06, изменяя тем самым расход питательной воды и влияя на давление в коллекторе питательной воды.

Функциональная схема САР с подобранными элементами представлена на рис. 2.

Для обеспечения требуемых статических и динамических характеристик работы системы в регуляторе реализуется ПИ-закон регулирования. Модуль синхронизации позволяет обеспечить синхронную работу двух регулирующих клапанов. Расчет уставок и коэффициентов ПИ-регулятора, наладка САР давления питательной воды от ВПЭН производятся при вводе оборудования в работу, а также после модернизации или замены элементов САР давления питательной воды от ВПЭН.

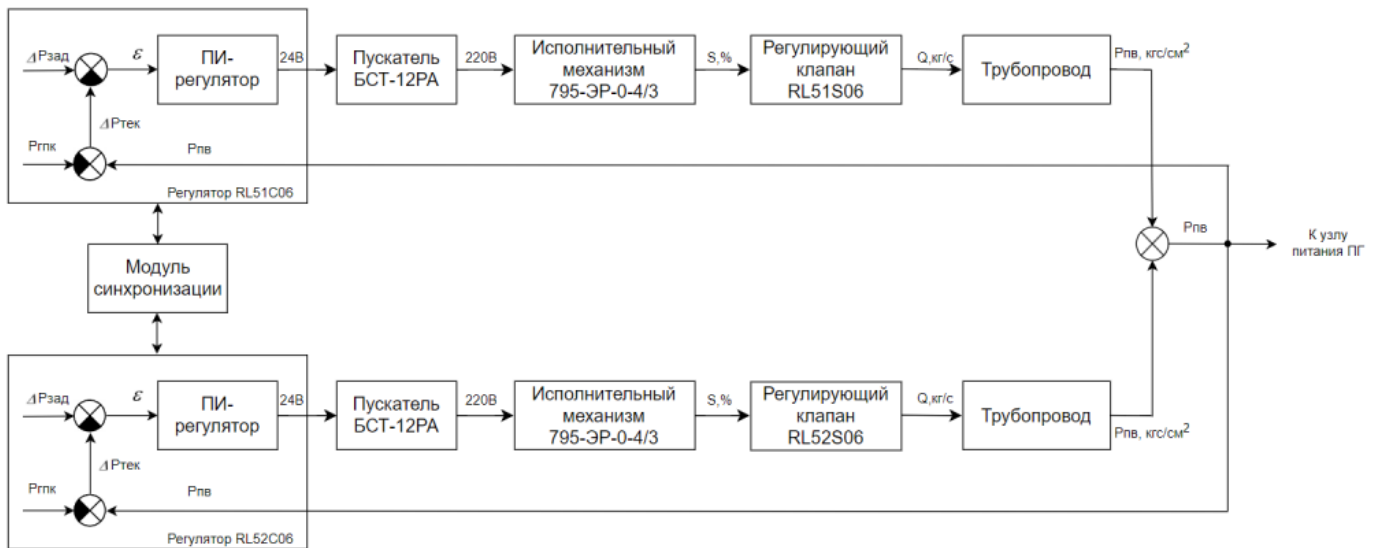


Рис. 2. Функциональная схема САР давления

Регулятор может находиться в одном из двух режимов работы: в режиме поддержания параметра и в стерегущем режиме.

При включении в автоматический режим регулятор переходит в режим поддержания параметра при наличии сигнала «Включен и открыта задвижка RL51(52)S05» и давления за ВПЭН более 75 кгс/см<sup>2</sup>.

При нахождении в стерегущем режиме регулятор переходит в режим поддержания параметра при наличии сигнала «Включен и открыта задвижка RL51(52)S05» и давления за ВПЭН более 80 кгс/см<sup>2</sup>.

Регулятор переходит в стерегущий режим при отсутствии сигнала «Включен и открыта задвижка RL51(52)S05» или при снижении давления за ВПЭН менее 75 кгс/см<sup>2</sup>.

В дальнейшем планируется провести расчет и осуществить моделирование системы в автоматическом режиме, разработать проектные схемы автоматизации и осуществить программирование контроллера, выполняющего функции регулятора.

#### Литература

1. Слободчук, В. И. Основные системы энергоблоков АЭС: учебное пособие / В. И. Слободчук, А. С. Шелегов, С. Т. Лескин. – Обнинск, 2010. – 215 с.
2. Якубенко, И. А. Технологические процессы производства тепловой и электрической энергии на АЭС: учебное пособие / И. А. Якубенко, М. Э. Пинчук. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2013. – 288 с.

### **Подходы к автоматизации энерготрейдинговой деятельности на ОРЭМ**

Фомин Игорь Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник;

Костерев Андрей Александрович, кандидат технических наук, руководитель;

Петров Дмитрий Юрьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник;

Иващенко Владимир Андреевич, доктор технических наук, учёный секретарь

Институт проблем точной механики и управления – обособленное

структурное подразделение Федерального государственного

бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра

«Саратовский научный центр Российской академии наук», г. Саратов

*Описываются результаты системного анализа процесса информационного обмена субъектов оптового рынка электроэнергии и мощности, а также основные функции информационной системы для энерготрейдинговой деятельности на ОРЭМ.*

Субъекты оптового рынка электроэнергии и мощности России (ОРЭМ) производят ежедневный информационный обмен, согласно регламентам Единой энергетической системы России (ЕЭС) и постановлениям Правительства РФ, формирующих отраслевую нормативную базу.

Предприятия, осуществляющие закупку электроэнергии на ОРЭМ для реализации её потребителям на розничном рынке, а также другие субъекты энергетического рынка в своей деятельности используют специализированные системы энерготрейдинговой деятельности, обеспечивающие обмен информационными сообщениями, сложными математическими расчетами и строгим соблюдении временных рамок подачи информации коммерческому и системному оператору ЕЭС.

В отрасли стоит задача ежедневного обмена данными с поддержкой функций планировщика, который может обеспечить наиболее точное совпадение прогнозируемого объема энергопотребления с фактическим.

Автоматизация этих функций является залогом бесперебойной работы ЕЭС России и элементом исполнения требований Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации [1] и Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации [2].

Процессы обмена стандартизированными пакетами данных между субъектами энергорынка, их обработка и распределение данных об энергопотреблении были рассмотрены в публикации [3]. Методы и инструменты биллинга электроэнергии были подробно рассмотрены в публикации [4]. В данной публикации впервые производится

системный анализ процесса обработки информации приёма заявок на рынок на сутки вперёд (PCB).

Согласно регламентам ОРЭМ, модель электроснабжения потребителей описывается в XML макетах 80000, и представляет собой множество субъектов оптового рынка, владеющих множеством ГТП, каждая из которых имеет одну систему коммерческого учёта электроэнергии (АСКУЭ). Каждая ГТП представляет собой множество энергообъектов, связанных как между собой, так и с энергообъектами ГТП смежных субъектов.

Системный анализ процессов энерготрейдинга в десятках энергосбытовых компаний показал, что энерготрейдинговая деятельность на ОРЭМ начинается с создания и актуализации расчётной и организационной модели в информационной системе и модели измерений объёмов закупленной и реализованной электроэнергии и мощности. Автоматизация энерготрейдинговой деятельности должна основываться на информационной системе, которая способна реализовать модель и модель измерений в виде соответствующей структуры базы данных, что и является одним из важнейших требований к информационной системе для управления энерготрейдинговой деятельностью.

Далее осуществляется сбор заявок от потребителей с данными об объёмах планового энергопотребления в разрезе групп точек поставки (ГТП) на ОРЭМ и их агрегации для дальнейшей обработки.

Контроллинговые процедуры на наличие данных по собственной генерации потребителей (форма XML 30038) и на величину отклонений объёмов от плановых потреблений позволяют рассчитывать остаток неотобранного планового объёма, производить сравнение с данными оператора торговой системы ОРЭМ (АТС).

Результат системного анализа процесса планирования энергосбытовой деятельности, обработки и отправки заявок системному и коммерческому оператору единой энергетической системы в нотации DFD показан на рис. 1.

Как показал анализ бизнес-процесса планирования энерготрейдинговой деятельности, прогнозирование электропотребления должно осуществляться на этапе *a4* с использованием массивов данных полученных заявок и ранее обработанных массивов данных, в которых уже произведено формирование временных рядов и получены результаты кластерного анализа объёмов энергопотребления в ретроспективе. Для этих целей можно использовать нейронные сети, как предложено в [5] или применять механизмы выделения среднеквадратичной функции [6, 7]. Главной задачей

такого прогноза должен стать учёт определённых на этапе  $a_{13}$  ошибок, к которым относятся:

- относительная ошибка:

$$\Delta_I = \frac{W_{oi} - W_i}{W_{oi}}, \quad (1)$$

где  $W_{oi}$  – фактическое энергопотребление за интервал  $i$ ,  $W_i$  – прогноз потребления за интервал  $i$ .

- средневзвешенная ошибка по модулю:

$$\Delta_{II} = \frac{\sum_{i=1}^n |A_i|}{n}, \quad (2)$$

- максимальная ошибка:

$$\Delta_{III} = \max(\Delta_i) \quad (3)$$

Функции прогнозирования информационной системы для энерготрейдинга должны обеспечивать прогноз значения ошибок в определенном фиксированном допуске для корректировки заявок на РСВ [8]. Корректировка заявки даёт возможность отправки суммарной заявки, которая отправляется по особому регламенту в виде трёх разных заявок коммерческому и системному оператору о собственной генерации, в разных формах (функциональные блоки  $a_6$ ,  $a_7$  и  $a_8$  на рис. 1).

При разработке новой информационной системы для энерготрейдинга стояла задача реализации функций формирования файла XML, на основе данных макетов 80000 и 60002 по данным автоматизированной системы коммерческого учёта (АСКУЭ) для отправки его в адрес АТС. Для этого было предложено осуществлять парсинг файлов XML, при котором сверяется структура данных в 80020 и 80040 с ранее принятыми макетами 80000 и 60002. В случае неактуальности расчётной модели программа генерирует соответствующее сообщение энерготрейдеру. При актуализации расчётной модели, например, при изменении канала измерения по той же точке измерения, меняется версия модели измерения, что приводит к изменениям в структуре базы данных программы.

Набор функционала платформы «1С: Предприятие» позволил реализовать особые методы планирования энергопотребления с использованием аналитических процедур, предлагаемых средой «1С». Используя такого рода встроенные обработки, было реализовано планирование энергопотребления по среднему (расчет среднего значения энергопотребления по часам нескольких прошедших операционных суток), а также была реализована такая структура хранения данных, которая при их накоплении позволит для целей прогнозирования электропотребления использовать такие встроенные методы анализа как поиск ассоциаций, поиск последовательностей, кластерный анализ и дерево решений [9, 10].

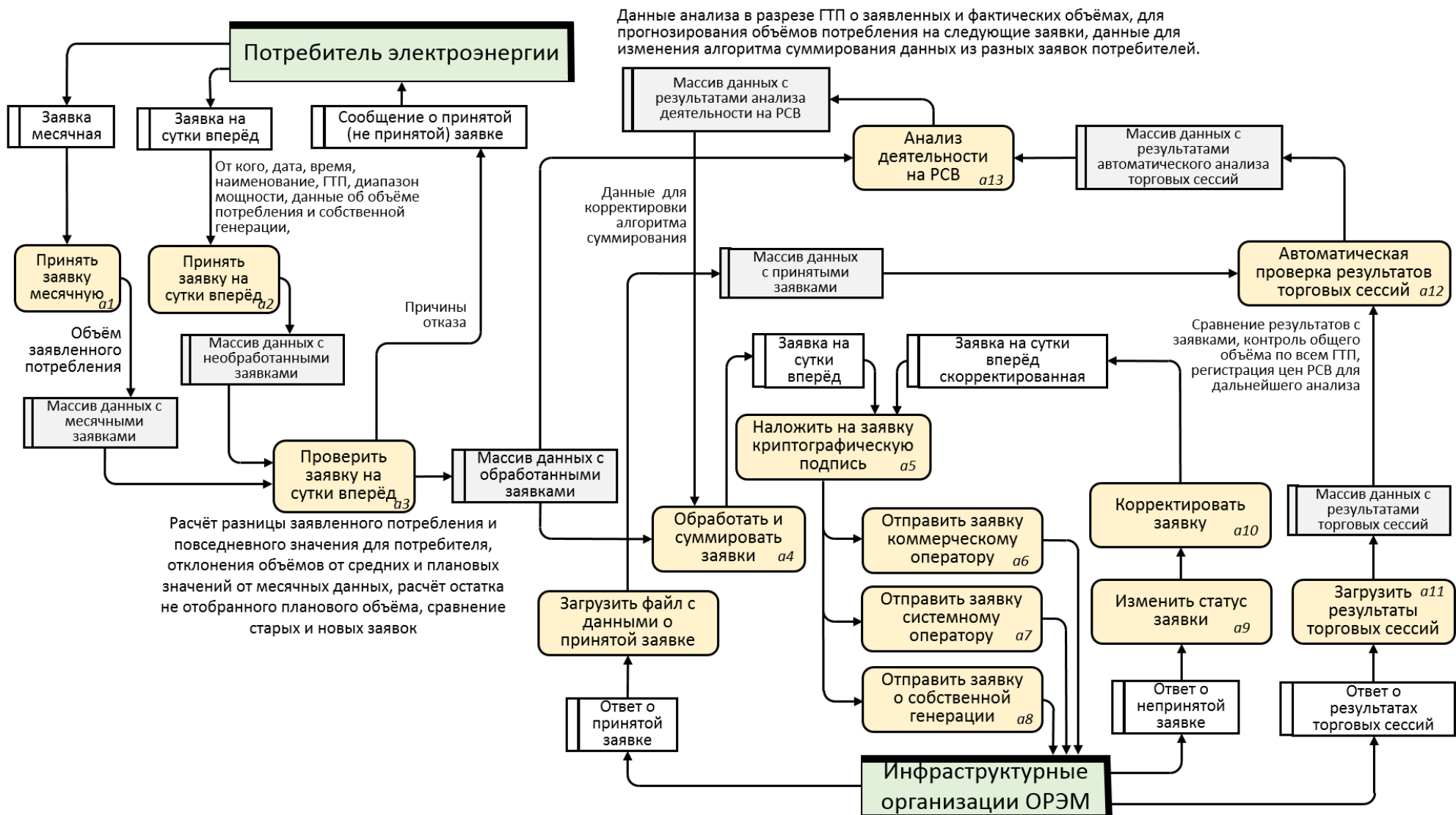


Рис. 1. Процесс обработки и отправки заявок системному и коммерческому оператору единой энергетической системы

Разработанная конфигурация платформы «1С» устраняет необходимость использования различных программных инструментов, концентрирует множество функций, определённых на рис. 1, в одно программное решение с набором удобных интерфейсов (рис. 2) и снижает многочисленные риски в системе взаимодействия между различными информационными инструментами энерготрейдера.

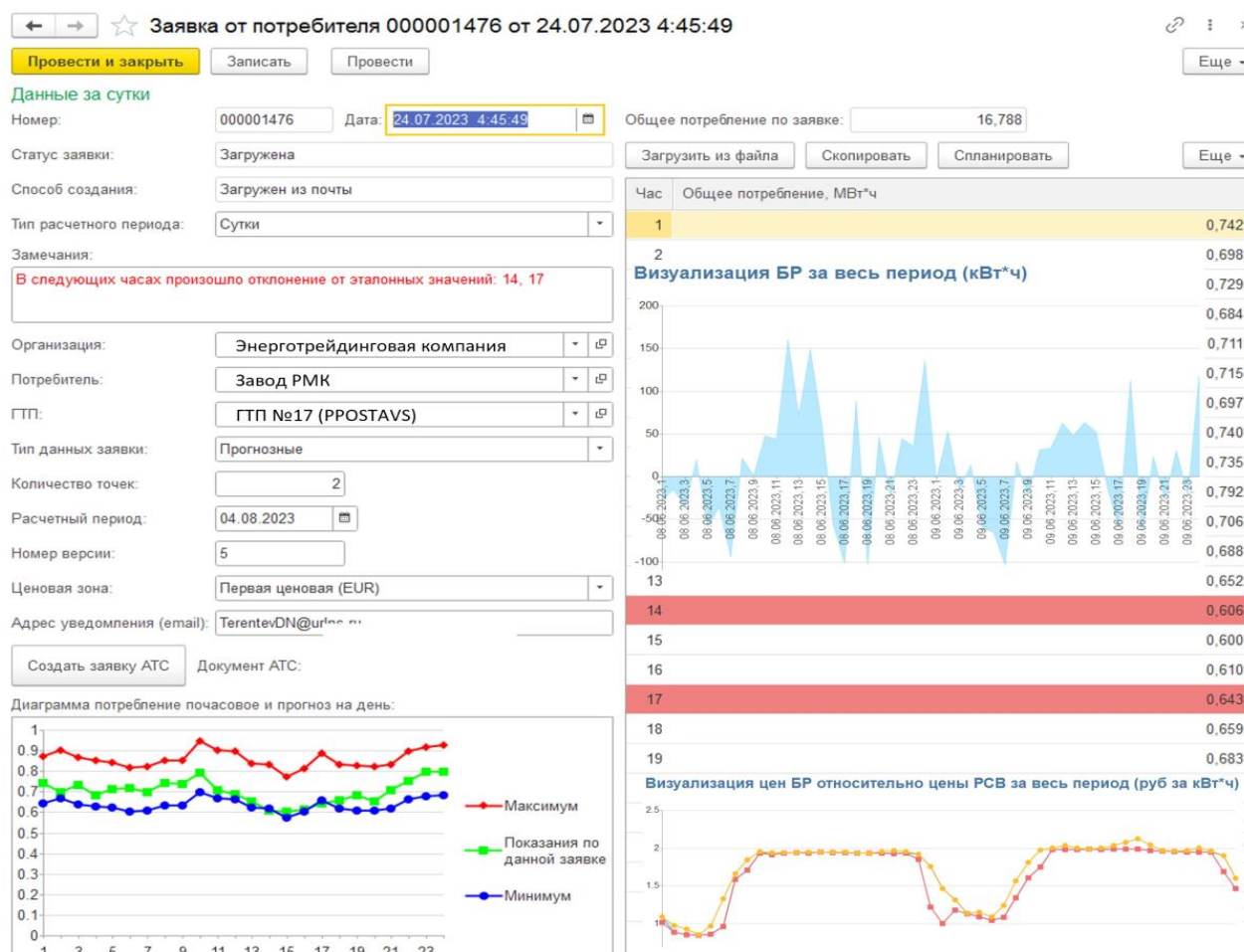


Рис. 2. Элементы интерфейса информационной системы для энерготрейдинга на платформе «1С: Предприятие»

Перспективной научной задачей станет системный анализ процессов обработки информации на этапе управления макетами данных и на этапе закрытия месяца и подготовки данных для биллинга.

Практической задачей инженеров на основе разработанных методик обработки данных станет реализация инструментов обработки стандартизированных макетов данных для автоматического распределения энергопотребления и потерь между субъектами энергорынка, а также для биллинга электроэнергии, и формирование регламентированной отчётности для инфраструктурных организаций ОРЭМ России.



## Литература

1. Правительство РФ, Стратегия развития электросетевого комплекса Российской Федерации // Распоряжение Правительства РФ № 511-р от 03.04.2013 г. (в ред. от 29.11.2017 г.). – Москва, 2017.
2. Указ президента РФ № 203 от 09.05.2017 г., О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 - 2030 годы // Собрание законодательства Российской Федерации от 15.05.2017 г. – Москва, 2017. – № 20. – 2901 с.
3. Фомин И.Н. Формализация регламента обмена информацией субъектов единой энергетической системы России / И. Н. Фомин // Математические методы в технологиях и технике. – 2023. – № 10. – С. 53-61.
4. Фомин, И.Н. Теоретико-множественный анализ технико-экономических показателей для задач структурно-параметрического синтеза расчётных моделей электроснабжения / И. Н. Фомин, Т. Э. Шульга, Н. В. Сердюкова // Труды Академэнерго. – 2016. – № 2. – С. 82-94.
5. Гужов, С.В. Прогнозирование спроса на электрическую энергию изолированной энергетической системой города / С.В. Гужов // Энергетическая политика. – 2020. – № 6(148). – С. 50-57.
6. Пальчиков, А.С. Существующие способы прогнозирования электропотребления объектов в металлургической отрасли / А.С. Пальчиков // Современные научные исследования и инновации. – 2012. – № 9.
7. Жичкин, С.В. Краткосрочное прогнозирование суточного электропотребления Нижнетагильского металлургического комбината / С.В. Жичкин, А.В. Мозгалин // Электрификация металлургических предприятий Сибири. – Томск: Изд-во Томского университета, 2005. – Вып. 12.
8. Билалова, А.И. Прогнозирование регионального энергопотребления с различными информационными базами / А.И. Билалова, В.И. Доманов // Материалы Международной научно-технической конференции «Автоматизация: проблемы, идеи, решения». – Тула: ТулГУ, 2015. – С. 63-64.
9. Глухова, Е.В. Анализ статистических данных с использованием платформы 1С / Е.В. Глухова // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 36-1. – С. 43-48.
10. Бутусин, Д.А. Анализ возможностей применения платформы «1С: Предприятие 8» для реализации технологии Data Mining / Д. А. Бутусин,

В.А. Степанцов // Сборник научных работ факультета компьютерных наук ВГУ.  
Воронеж: ВГУ, 2020. – С. 42-50.

УДК 620.179.1

**Технологические особенности ультразвукового контроля сварных соединений  
из стали аустенитного класса марки 10X15H9C361-Ш (ЭП302-Ш)**

<sup>1</sup>Щербань Александр Сергеевич, начальник отдела ОМНК

<sup>1</sup>Михайлевский Дмитрий Анатольевич, ведущий технолог по дефектоскопии;

<sup>1</sup>Павличенко Александр Викторович, инженер по дефектоскопии;

<sup>2</sup>Томилин Сергей Алексеевич, заместитель руководителя по инновационному  
и стратегическому развитию,

кандидат технических наук, доцент кафедры

«Машиностроение и прикладная механика»

<sup>1</sup>Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» г. Волгодонск,

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

*Актуальность выбранной темы обусловлена отсутствием унифицированной методики и особенностями ультразвукового контроля сварных соединений оборудования, изготавливаемого в соответствии с требованиями НП-107-21 для ядерных энергетических установок со свинцовым теплоносителем, выполненных из стали аустенитного класса марки 10X15H9C361-Ш (ЭП302-Ш).*

Неразрушающий контроль (НК) технического состояния оборудования является одним из ключевых инструментов обеспечения безопасности и надежности атомных станций. Неразрушающий контроль объектов атомной энергии проводится в соответствии с федеральными нормами и правилами и отраслевыми унифицированными методиками современной системы нормативного регулирования РФ.

Конструкторская документация металлической оболочки и корзины активной зоны для контроля сварных соединений из стали марки 10X15H9C361-Ш (ЭП302-Ш) устанавливает ультразвуковой контроль (УЗК) и радиографическую дефектоскопию, при этом проведение УЗК регулируется ГОСТ Р 50.05.04.

Вместе с тем пункт 1.2 ГОСТ Р 50.05.04 прямо указывает, что настоящий стандарт не распространяется на УЗК сварных соединений из стали марки

10X15H9C361-Ш (ЭП302-Ш). При этом согласно пункту 5.1.2 ГОСТ Р 50.05.04 применение методики УЗК, изложенной в данном стандарте, при изготовлении и монтаже допускается только в случае невозможности проведения контроля аустенитного сварного соединения (АСС) радиографическим методом. В дополнение пункт 5.1.5 ГОСТ Р 50.05.04 гласит, что ультразвуковому контролю подвергаются стыковые сварные соединения с номинальной толщиной свариваемых объектов контроля от 4,5 до 100 мм включительно с радиусом кривизны околошовной наружной поверхности не менее 100 мм для продольных швов и менее 25 мм для кольцевых.

Согласно требованиям конструкторской документации, металлической оболочки и корзины активной зоны УЗК угловых и тавровых сварных соединений выполняется только в порядке, определённом для стыковых сварных соединений с односторонним доступом со стороны привариваемого элемента.

Таким образом, в данный момент отсутствуют унифицированные методики НК сварных соединений из стали аустенитного класса марки 10X15H9C361-Ш (ЭП302-Ш) и аттестованные методики измерений в соответствии с требованиями п.4.2 СТО 95... В соответствии с СТО 95... данные сварные соединения должны подвергаться радиографическому контролю по ГОСТ Р 50.05.07.

Операции ультразвукового контроля.

В атомной энергетике существует проблема ультразвукового контроля изделий из сталей аустенитного класса, так как реализация таких испытаний сталкивается с рядом трудностей. Главными препятствиями для выполнения контроля является крупнозернистость и анизотропная структура материалов, которая искажает, ослабляет и рассеивает распространяющиеся частицы ультразвуковых колебаний.

Аустенитная сталь имеет свойство изменения скорости между сварным швом и основным металлом, что может привести к преобразованию мод и искажению луча ультразвукового преобразователя. В совокупности с другими характеристиками это усложняет определение размеров и локализацию потенциальных дефектов и, следовательно, снижает вероятность их обнаружения.

Согласно п. 5.1.7 ГОСТ Р 50.05.04 (со ссылкой на приложение А) возможность контроля АСС устанавливается на настроечных образцах с выполненными сварными соединениями и боковыми цилиндрическими отражателями. То есть достоверность установления контролепригодности сварных соединений для ультразвукового контроля зависит от наличия соответствующих образцов.

Контролепригодность АСС, в свою очередь, определяется по двум показателям:

– соотношение эхо-сигнал от несплошности – структурные шумы;



Для решения задачи контроля на предприятии Филиала АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск проведена научно-исследовательская работа и изготовлены:

- образцы контролепригодности по ГОСТ Р 50.05.04, позволяющие установить контролепригодность сварных соединений для ультразвукового контроля;

- настроечные образцы для УЗК АСС из стали марки 10X15H9C361-Ш (ЭП302-Ш) по ГОСТ Р 50.05.04 (рис. 1) для проверки (настройки) основных параметров ультразвукового контроля.

Ультразвуковой контроль качества сварных соединений, выполняемый эхо-импульсным методом продольными и головными волнами по ГОСТ Р 50.05.04 (УЗК АСС), имеет особенность: для сварных соединений толщиной свыше 20 мм невозможно выполнить контроль сечения сварного соединения поперечными волнами по причине рассеивания ультразвука, при этом дефектоскоп фиксирует только структурные шумы – полезный эхо-сигнал отсутствует.

Ультразвуковой контроль сварных соединений из сталей аустенитного класса основан на использовании отдельно-совмещенных преобразователей, конструктивно реализующих схемы типа «двует» или «тандем».

Примеры УЗК тавровых сварных соединений и кольцевых сварных соединений конусного перехода:

- эхо-методом продольными волнами наклонным отдельно-совмещенным ПЭП с углом ввода  $45^\circ$  (рис. 2 а, б);

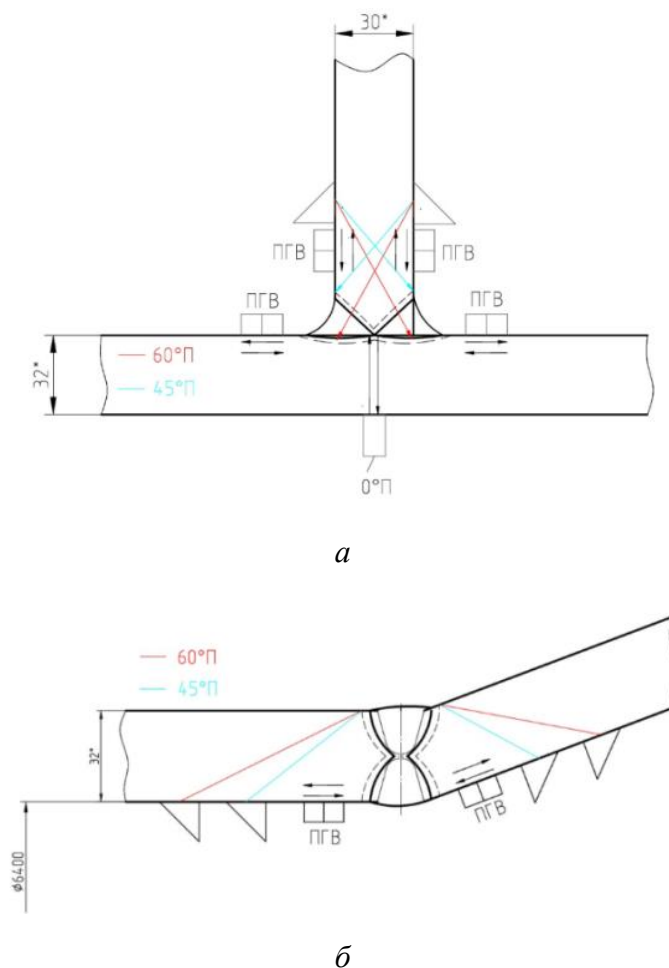
- эхо-методом продольными волнами наклонным отдельно-совмещенным ПЭП с углом ввода  $60^\circ$  (рис. 2 а, б);

- эхо-методом продольными волнами прямым или отдельно-совмещенным преобразователем (рис. 2а);

- эхо-методом головными волнами (рис. 2 а, б).

Также одним из путей преодоления сложностей в организации контроля АСС является применение продвинутых методов ультразвукового контроля.

На примере экспериментальных испытаний на нержавеющей стали марки 08X18H10T, наиболее распространенной в атомной отрасли, и образцах из стали 10X15H9C361-Ш (ЭП302-Ш) можно сделать выводы о потенциальном использовании методов на последней.



*Рис. 2. УЗК тавровых сварных соединений и кольцевых сварных соединений конусного перехода:*

- а – УЗК таврового сварного соединения. Швы сварки опоры с дном блока нижнего № 3-120 (тип сварного соединения - Т-2 согласно СТО 95...);*
- б – УЗК углового сварного соединения. Швы сварки конуса с кольцом № 2-1 (тип сварного соединения - У-8 согласно ГОСТ 23518-79)*

Контроль дифракционно-временным методом в большинстве случаев производится в соответствии с ISO 10863, ASME BPVC Sec.V и отдельным «кастомным» методикам контроля. Вследствие значительной зависимости дифракционно-временного метода ультразвукового контроля (TOFD) от зернистой структуры материала расшифровка данных сканирования нержавеющей объектов контроля невозможна из-за высокого уровня структурного шума по всей толщине, который скрывает за собой индикации дефектов.

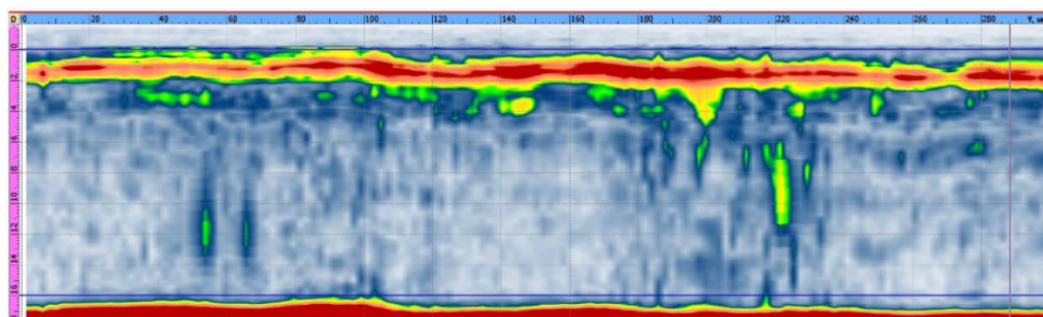
На практике при использовании ультразвукового контроля преобразователями на основе фазированных решеток (РАУТ) значительное влияние на качество изображения оказывает несколько факторов, основным из которых является конструкция преобразователя. Лучшим решением для сталей аустенитного класса

являются сдвоенные раздельно-совмещенные преобразователи фазированных решеток из-за наилучшего соотношения сигнал – шум.

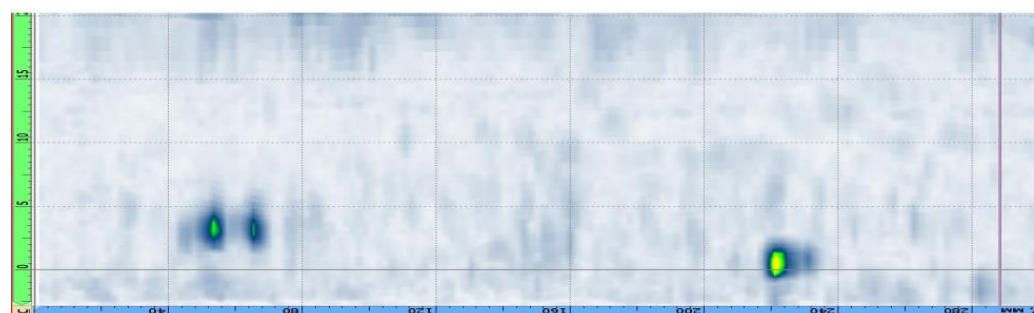
Сдвоенные раздельно-совмещенные матричные преобразователи на основе фазированных решеток (DMA) состоят из двух фазированных решеток, подключенных к одному разъему. Они способны генерировать продольные ультразвуковые волны в режиме излучатель-приемник (TRL). В DMA преобразователе элементы расположены в виде матрицы в несколько параллельных рядов, что позволяет им изменять точку фокусировки и направление центрального луча до 10 - 15 градусов в обе стороны.

Организация проведения ультразвукового контроля преобразователями на основе фазированных решеток главным образом осуществляется по ISO 13588, ASME BPVC Sec.V, методикам, разработанным в соответствии с ГОСТ Р 50.05.13 и прошедшим аттестационные испытания по ГОСТ Р 50.04.07, а также отдельным методикам, разработанным под конкретный ОК и условия.

По результатам испытаний все дефекты, обнаруженные ранее радиографией, были выявлены. Геометрические размеры индикаций сходятся на удовлетворительном уровне с учетом технологической разницы между методами, что позволяет получить официальный статус контроля DMA PAUT на соответствующих крупнозернистых материалах в будущем [1].



*a*



*б*

*Рис. 3. DMA PAUT образца из стали 10X15H9C361-III (ЭП302-III)  
(со сложением слоев): а – D-скан; б – C-скан*

Экспериментальный контроль образцов со сварными соединениями из стали аустенитного класса 10X15H9C361-Ш (ЭП302-Ш) показал результаты контроля, аналогичные полученным на 08X18H10T [2].

На виде сбоку прослеживаются сигналы от трех дефектов, которые без шумов отчетливо видны на виде сверху. Шум в верхней части D-скана вызван переотражениями от призмы преобразователя.

Вместе с относительно положительными итогами испытаний выполнение DMA PAUT изделий и деталей из нержавеющей сталей сталкивается с серьезными методическими трудностями. Во-первых, для обеспечения необходимого качества контроля необходимы множественные смещенные относительно центральной оси объекта контроля (сварное соединение в данном случае) сканирования, включая сканирование с двух сторон объекта контроля (внешней и внутренней). При этом искомые индикации могут быть обнаружены только на одной из записей. Второй проблемой является задание опорной чувствительности и получение размеров индикаций. В последнем случае остро стоит вопрос выбора между эквивалентными и геометрическими размерами. При выполнении всех условий контроль DMA PAUT может стать официальным в том числе для ответственных изделий АЭС и потенциально заменить радиографический контроль.

Заключение.

В настоящее время наиболее перспективным методом ультразвукового контроля для контроля объектов из сталей аустенитного класса является PAUT с применением сдвоенных матричных DMA преобразователей, который обладает рядом преимуществ в сравнении с традиционными эхо-импульсными методами и потенциально может заменить радиографический контроль.

К главным преимуществам ультразвукового контроля методом PAUT можно отнести:

- мобильность перемещения по производственной площадке (комплект оборудования может переноситься вручную или перемещаться с использованием тележки);
- универсальность применения (применение в качестве самостоятельного контроля, либо как замена ручного УЗК или радиографии);
- широкие возможности для автоматизации;
- при замене традиционных методов происходит уменьшение трудоемкости и сокращение финансовых затрат на последние;



- исключение «человеческого фактора» при поиске дефектов: ведется запись результатов контроля, которые могут быть просмотрены на компьютере в любое время;
- обеспечивается повторяемость и воспроизводимость результатов контроля на разных стадиях изготовления оборудования АЭС;
- привнесение нового способа визуализации и оценки фактического состояния контролируемых материалов;
- собранные данные сохраняются на ПК и могут быть просмотрены и проанализированы в любое время;
- упрощение порядка сдачи контрольных точек по планам качества инспекторам и представителям надзорных ведомств.

Принимая во внимание вышесказанное, использование преобразователей DMA RAUT для контроля изделий из нержавеющей стали класса 10X15H9C361-Ш (ЭП302-Ш) представляется более информативным и удобным относительно ручного УЗК, но вместе с тем и более трудным с точки зрения организации и формализации испытаний. Тем не менее, процессы внедрения в производственный цикл и получения официального статуса для данного метода контроля выглядят многообещающе.

#### Литература

1. Базулин, А. Е. Отчет о проведении приемо-сдаточных испытаний оборудования АВГУР-АРТ. 05.04.2023–14.04.2023 / А. Е. Базулин, А. В. Павличенко, А. С. Щербань. – Волгодонск: Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск, «Научно-производственный центр «ЭХО+»», 2023. – 22 с.
2. Павличенко, А. В. Отчет о проведении сравнительных испытаний образцов из стали 10X15H9C361-Ш между ультразвуковым контролем с применением матричных преобразователей на основе фазированных решеток и сканирующей контактной потенциометрией. 17.10.2023–18.10.2023 / А. В. Павличенко, А. С. Щербань, В.И. Сурин. – Волгодонск: Филиал АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск, «Научно-производственный центр «ЭХО+»», 2023. – 15с.

**Применение имитационного моделирования для оптимизации  
функционирования конвейерной линии**

Яковлев Денис Дмитриевич, аспирант;

Костерев Андрей Александрович, кандидат технических наук, руководитель;

Институт проблем точной механики и управления – обособленное  
структурное подразделение Федерального государственного

бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра

«Саратовский научный центр Российской академии наук», г. Саратов

*Рассмотрено применение имитационного моделирования для анализа функционирования конвейерной линии. В программном комплексе AnyLogic реализована структура имитационной модели и выполнено моделирование функционирования макета роботизированной производственной линии. Проведен анализ результатов имитационного моделирования и даны предложения по оптимизации функционирования конвейерной линии по количеству паллет в системе и по размеру партий изделий.*

На современных промышленных предприятиях конвейерные линии играют важную роль в процессе производства. Они являются неотъемлемой частью автоматизированных систем, обеспечивающих эффективное перемещение и обработку товаров. Конвейерные линии представляют собой комплекс механизмов, состоящих из различных модулей, таких как ролики, ленты и приводные устройства. Они способны передвигать товары и сырье с одного участка производства на другой без человеческого вмешательства. Такая автоматизация процесса существенно повышает эффективность производства и позволяет сократить затраты на трудовые ресурсы [1].

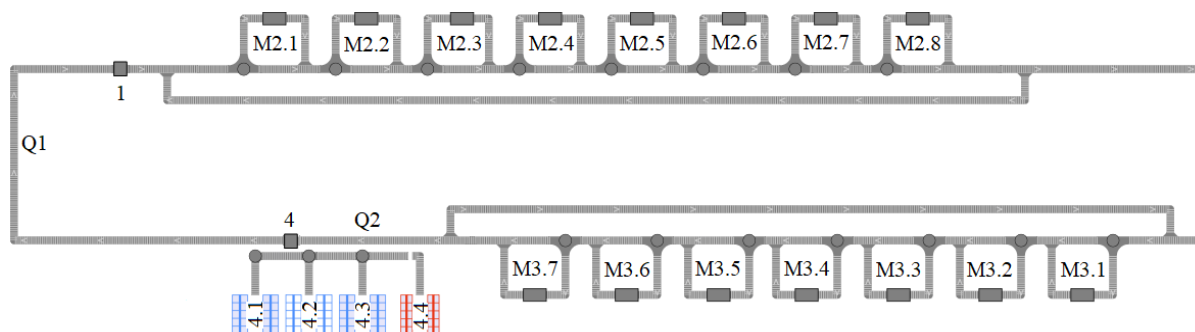
Применение конвейерных линий на предприятии целесообразно в случае создания оптимальной структуры производства, где все процессы будут максимально автоматизированы и рационально организованы. Это позволяет предприятиям увеличить объемы производства, снизить затраты и повысить конкурентоспособность на рынке [2, 3]. При этом одним из важных преимуществ конвейерных линий является возможность их модификации и сквозной автоматизации. Это позволяет предприятиям легко и быстро адаптировать линию под производственные потребности и рост объемов производства. Например, при необходимости можно добавить новые модули, изменить скорость перемещения или внедрить новые технологии.

Конвейерные линии на предприятии выполняют ряд функций. Они обеспечивают равномерное движение продукции или сырья, исключая возможность их

остановки или падения. Благодаря конвейерам исключается риск травмирования работников при перемещении тяжелых или габаритных грузов. Кроме того, они способствуют сокращению времени цикла производства и повышению качества продукции. Автоматическое перемещение и обработка товаров исключает возможность ошибок, связанных с человеческим фактором. Это особенно актуально в производстве, где точность и скорость играют решающую роль. Помимо этого, использование конвейерных линий на предприятии позволяет снизить затраты на энергию и сократить простой оборудования. Встроенные датчики и системы контроля автоматически регулируют скорость линии, исключая ненужные потери энергии и повышая ее эффективность.

Целью исследования является оптимизация производительности конвейерной линии с использованием имитационной модели.

Объектом моделирования является конвейерная линия [4, 5], на которой выполняется испытание коробок перемены передач автомобилей (в дальнейшем – изделий) 3-х типов: стандартная (изделие 1), шоссейная (изделие 2) и тяговая (изделие 3). Основой конфигурации линии является конвейерная система, с использованием которой осуществляется транспортировка изделий, установленных на специальных носителях (паллетах). На основе программного комплекса AnyLogic 8.8.5 Personal Learning Edition созданы дискретно-событийная и агентная модели [6, 7]. Конвейерная линия, составленная из секций роликового транспортера, представлена на рис. 1.



*Рис. 1. Общий вид конвейерной линии*

В системе организованы две специальные зоны ожидания, обозначенные на рис. 1 как очереди Q1 и Q2. Очередь Q1 располагается перед станцией 1 и в ней находятся ожидающие загрузки пустые носители. Очереди Q2 соответствует участок конвейера, соединяющий выход станций M3.1÷M3.7 со станцией 4.

Основным показателем эффективности функционирования конвейерной линии является ее производительность (пропускная способность), измеряемая как число изделий в час, снимаемых с носителей на станции 4.

Далее приведены результаты экспериментов с имитационной моделью. Исходные данные: скорость конвейера – 0.3 м/с, время обработки изделий на станциях М2.1÷М2.8 – 100 с, время обработки изделий на станциях М3.1÷М3.7 – 80 с, время ремонта станции – 800 с., время загрузки изделия на паллету – 8 с., время разгрузки изделия с паллеты – 5 с. Время проведения эксперимента – 8 часов. Данные моделирования представлены в табл. 1.

Для проведения эксперимента 1 все 3 типа изделий поступают на вход системы в виде одинаковых по размеру партий (в количестве 2 шт., т. е. вначале два изделия 1, потом два изделия 2, после два изделия 3).

Таблица 1

Результаты имитационного моделирования (эксперимент 1)

Число паллет, шт.	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Изделие 1, шт.	35	64	95	118	125	119	122	122	135	127	122
Изделие 2, шт.	35	65	89	119	128	125	131	132	125	123	131
Изделие 3, шт.	32	63	87	108	126	121	119	118	130	127	128
Количество готовых изделий, шт.	102	192	271	345	379	362	372	372	390	377	381
Количество бракованных изделий, шт.	5	18	39	45	54	63	58	65	66	61	58

На рис. 2. представлены результаты моделирования с разным количеством паллет, постоянно циркулирующих в системе, которые изменялись в пределах от 10 до 110 шт.

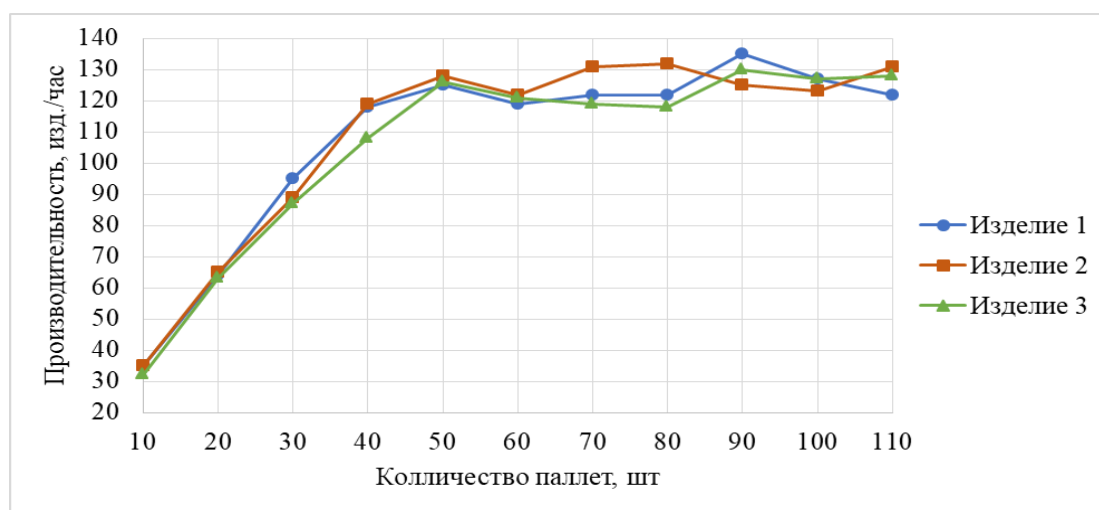


Рис. 2. Результат эксперимента 1: Изменение количества паллет в системе

На рис. 3. представлены результаты моделирования, показывающие количество наладок / ремонтов каждой станции для заданного количества паллет, при проведении эксперимента 1.

кол-во наладок / кол-во ремонтов станции для заданного кол-ва паллет	Станции														
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
10 шт.	37/1	26/2	10/0	2/0	-	-	-	-	35/2	33/1	10/0	3/0	-	-	-
20 шт.	33/4	32/3	28/1	24/1	10/0	3/0	1/0	1/0	39/3	42/1	28/2	19/3	8/0	2/0	1/0
30 шт.	38/4	35/5	39/3	37/2	31/2	15/3	5/1	1/0	37/4	36/4	32/6	36/1	22/3	12/1	2/0
40 шт.	39/3	40/2	36/5	34/5	36/3	30/2	28/2	15/2	37/3	36/4	37/4	35/4	36/1	29/2	19/2
50 шт.	40/3	40/3	43/1	35/5	32/6	26/5	31/4	33/2	36/6	38/4	40/2	33/5	33/4	37/2	36/2
60 шт.	37/4	38/4	40/3	40/3	38/3	34/2	33/4	31/4	39/4	36/5	36/5	38/4	38/4	33/7	37/5
70 шт.	40/3	38/4	41/2	42/2	35/5	32/3	35/4	32/6	39/3	38/3	39/3	29/7	37/4	35/3	29/3
80 шт.	36/5	40/2	41/3	39/3	38/3	29/6	29/8	38/3	34/7	39/4	34/5	34/3	39/3	39/2	30/5
90 шт.	40/3	42/2	41/2	35/5	40/2	30/5	36/4	36/4	33/7	36/6	35/5	28/7	40/2	40/2	31/3
100 шт.	42/2	38/4	34/7	39/3	40/2	33/4	33/6	43/1	38/4	35/6	41/2	34/5	39/3	38/3	31/5
110 шт.	36/4	37/5	40/3	42/2	39/2	31/5	34/6	40/2	43/2	42/2	33/7	36/5	39/3	30/8	35/4

Рис. 3. Результаты моделирования: количество ремонтов / наладок для каждой станции обработки при изменении количества паллет в системе

Для проведения эксперимента 2 все 3 типа изделий поступают на вход системы в виде одинаковых по размеру партий, но в этом случае размер партии будет меняться.

Таблица 2

Результаты имитационного моделирования (эксперимент 2)

Размер партии изделий, шт.	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Изделие 1, шт.	127	142	155	145	180	185	178	205	182	199	203
Изделие 2, шт.	124	142	141	148	153	162	162	154	169	168	146
Изделие 3, шт.	123	121	125	149	150	158	177	148	152	144	153
Количество готовых изделий, шт.	374	405	421	442	483	505	517	507	503	511	502
Количество бракованных изделий, шт.	61	65	75	80	76	79	79	75	78	80	82

Количество паллет, постоянно циркулирующих в системе, равно 50 шт. Результаты моделирования представлены в табл. 2.

На рис. 4. представлены результаты моделирования при варьировании размера партий изделий, которые изменялись в пределах от 10 до 60 шт.

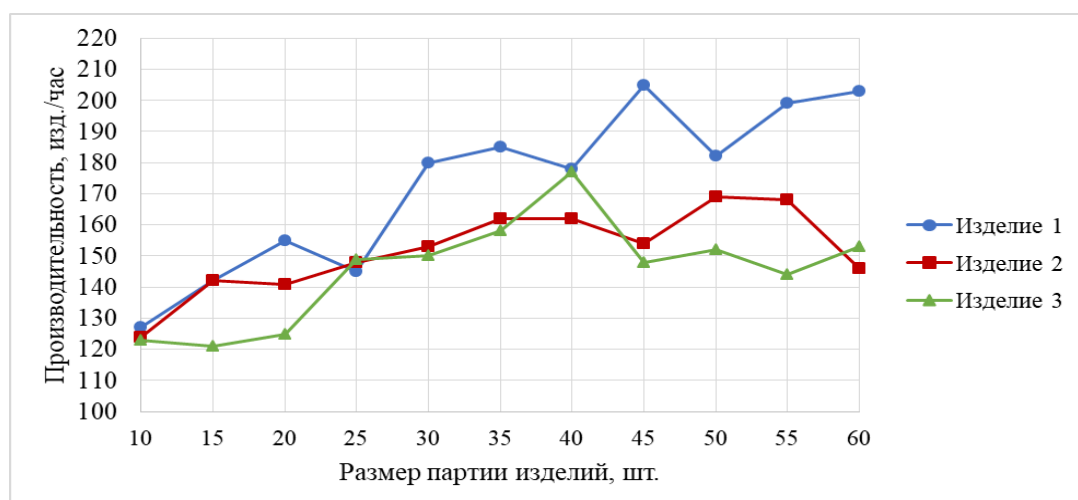


Рис. 4. Результат эксперимента 2: Изменение размера партии изделий

На рис. 5. представлены результаты моделирования, показывающие количество наладок / ремонтов каждой станции для заданного размера партии изделий при проведении эксперимента 2.

кол-во наладок / кол-во ремонтов станции для заданного размера партии изделий	Станции														
	М1	М2	М3	М4	М5	М6	М7	М8	М9	М10	М11	М12	М13	М14	М15
10	38/3	39/3	36/3	33/5	33/4	31/3	32/3	23/3	31/7	40/3	37/3	38/3	39/3	34/4	22/9
15	32/4	32/3	33/3	30/4	28/4	26/3	23/4	15/3	33/6	37/3	27/9	34/4	29/6	32/5	30/3
20	21/9	24/5	21/7	21/5	21/5	21/3	21/2	13/1	34/3	29/6	31/5	31/5	31/5	26/7	32/3
25	20/11	21/6	24/4	22/5	20/6	22/2	19/3	18/3	28/6	30/4	25/5	22/6	23/3	20/4	19/4
30	19/9	19/7	18/6	21/4	20/3	18/4	14/3	12/2	24/6	24/4	22/7	28/3	19/5	23/4	20/6
35	23/6	18/7	21/4	18/7	17/5	17/2	11/5	8/3	25/6	21/8	22/6	20/6	18/3	20/6	16/5
40	16/8	18/7	18/5	18/4	17/3	13/5	13/3	6/3	19/7	20/9	19/5	17/6	16/4	16/4	16/4
45	17/8	17/6	21/5	15/3	14/6	16/3	10/4	13/1	20/6	14/7	23/4	16/7	12/6	15/3	9/4
50	14/5	12/7	11/5	9/5	9/4	11/3	7/6	10/3	10/6	11/5	12/6	10/4	8/3	10/2	8/4
55	10/8	11/7	8/9	10/4	7/8	11/1	9/2	8/5	8/10	10/5	11/6	8/5	8/3	9/2	8/2
60	9/6	9/6	9/7	9/5	9/5	9/3	10/3	8/1	11/12	8/7	7/9	9/4	7/5	9/5	8/3

*Рис. 5. Результаты моделирования: количество ремонтов / наладок для каждой станции обработки при изменении размера партии изделий*

В результате проведенных экспериментов с имитационной моделью были получены оптимальные значения числа паллет в системе и размера партий изделий, которые составляют 90 паллет и партию из 40 изделий соответственно.

Работа выполнена в ИПТМУ РАН по государственному заданию Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FFNM-2022-0010 «Разработка интеллектуальных моделей и методов управления сложными человеко-машинными системами в условиях критических ситуаций»).

#### Литература

1. Бельш, К. В. Классификация основных методов и инструментов бережливого производства / К. В. Бельш // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика. – 2016. – №. 1. – С. 70-77.
2. Дмитриева, В. В. Использование современных программно-технических комплексов для автоматизации конвейерных линий / В. В. Дмитриева, И. Ф. Авхадиев, П. Е. Сизин // ГИАБ. – 2021. – № 2. – С. 150-163.
3. Петров, Д. Ю. Архитектура информационной системы управления жизненным циклом цифрового двойника для непрерывного производства / Д. Ю. Петров // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2021.–№ 57. – С. 98-104.
4. Скворцова, Д. А. Разработка гибридной имитационной модели сборочного цеха / Д. А. Скворцова, Е. Л. Чувильгин, А. В. Смирнов, Н. О. Романов // Компьютерные исследования и моделирование. – 2023 – Т. 15. – № 5. – С. 1359-1379.

5. Толуев, Ю. И. Модель производственной линии на базе сложной конвейерной системы / Ю. И. Толуев, Т. П. Змановская // Автоматизация в промышленности. – 2013. – С. 37-41.

6. Multimethod Simulation Modeling: [сайт]. – URL: <https://www.anylogic.com/use-of-simulation/multimethod-modeling/> (дата обращения: 20.12.2023). – Текст: электронный.

7. Coordinated control of multi-zone AVS/RS, conveyors and pick-up operations in warehouse system / N. Mustafee, S. Lazarova-Molnar, M. Rabe, C. Szabo [et al.] // Proceedings of the 2019 Winter Simulation Conference, 2019. – Pp. 2049-2060.

**СЕКЦИЯ 2**  
**«ИТ – ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ»**

УДК 378.147.88

**Симуляционное обучение как инструмент формирования  
профессиональных компетенций**

Анцибор Анна Васильевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры  
«Экономика и социально-гуманитарные дисциплины»;

Доблер Галина Артуровна, преподаватель техникума ВИТИ НИЯУ МИФИ;

Плотникова Ольга Александровна, преподаватель техникума ВИТИ НИЯУ МИФИ;

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

*Современная трансформация всех сфер деятельности связана, прежде всего, с внедрением цифровых технологий, которые позволяют перейти на новый уровень развития экономики. Цифровизация в образовании призвана реализовать несколько задач: развитие online-обучения, внедрение цифровых программ, обеспечение доступности качественного образования. В данной статье рассматривается одна из эффективных методик формирования практических навыков у обучающихся – симуляционная образовательная технология, позволяющая формировать необходимые компетенции без риска совершения ошибок в реальных условиях практики. Симуляционное обучение основано на реалистическом моделировании производственных и управленческих процессов с помощью симуляторов-тренажеров. В статье представлен широкий спектр симуляторов-тренажеров, используемых для подготовки специалистов в ВИТИ НИЯУ МИФИ, сделаны выводы об эффективности симуляционного обучения на примере демонстрационного экзамена по компетенции «Сварочные технологии».*

Современная трансформация всех сфер деятельности связана, прежде всего, с внедрением цифровых технологий, которые позволяют перейти на новый уровень развития экономики и технологий. Цифровизация в образовании призвана реализовать несколько задач: развитие online-обучения, внедрение цифровых программ, обеспечение доступности качественного образования. Кроме того, в настоящее время при подготовке специалиста на первый план выходит формирование устойчивых профессиональных компетенций, ядро которых составляют практические навыки. Уровень сформированности практических навыков студентов позволяет определить демонстрационный экзамен, который предусматривает моделирование реальных производственных условий для демонстрации выпускниками профессиональных



умений и навыков [1]. Отсюда и актуальность внедрения в образовательный процесс новейших технологий и эффективных методик обучения, направленных на формирование практических навыков у обучающихся.

Одной из таких технологий является симуляционное обучение. Симуляционное обучение – это технология, направленная на формирование профессиональных компетенций и их оценки, основана на реалистическом моделировании и имитации производственных и управленческих процессов. Именно для реализации этих целей и используются различные учебные модели. Современные симуляторы-тренажеры позволяют моделировать различные производственные ситуации. Они широко используются в различных отраслях, в том числе и в атомной отрасли. Компьютерные тренажеры рассматриваются в качестве особой разновидности технических средств обучения – «специализированных технических средств, предназначенных для использования в образовательном процессе в целях повышения качества и эффективности обучения» [3].

Наработан определенный опыт по внедрению и использованию симуляторов-тренажеров в образовательном процессе. В современной литературе выделяется несколько классов тренажеров, которые используются в учебном процессе: электронный программный экзаменатор; демонстрационный (иллюстративный) тренажер; тренажеры, обучающие моторным навыкам; тренажеры, обучающие распознаванию образов; тренажеры, обучающие работе по алгоритму; тренажеры, обучающие поведению в нештатных (и (или) аварийных) ситуациях; тренажеры, обучающие решению задач с разветвленным деревом допустимых решений.

Симуляционные образовательные технологии широко применяются при:

- ознакомлении со строением различных объектов и их элементов;
- формировании устойчивых практических навыков при работе с оборудованием;
- изучении технических схем и получении представлений об этапах технологического процесса;
- изучении инструмента и технологической оснастки;
- выявлении дефектов в работе оборудования и его узлов и т. д.

Кроме того, симуляционные технологии позволяют решить и ряд учебных задач:

- организация дифференцированного подхода к обучающимся;
- повышение мотивации учебной деятельности студентов;
- создание реальной среды и моделирование различных производственных процессов;

- использование различных сценариев проведения занятий, в том числе игровых;
- осуществление контроля качества подготовки специалистов;
- повышение безопасности учебного процесса [2].

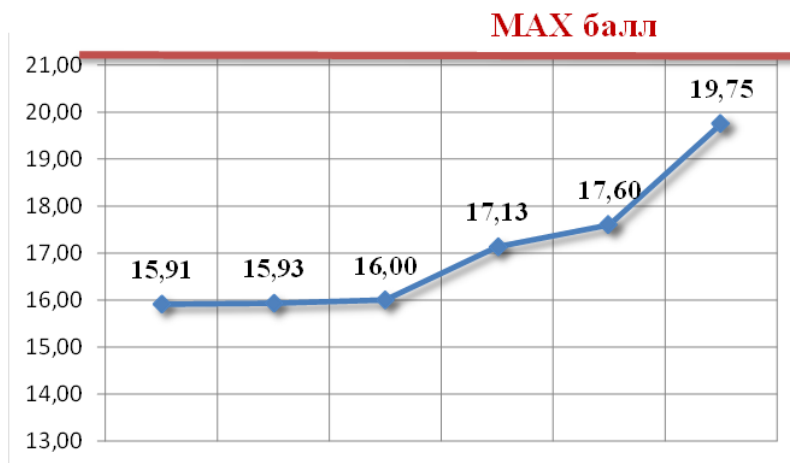
В Волгодонском инженерно-техническом институте – филиале федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» при подготовке специалистов по различным направлениям функционирует целый парк симуляторов-тренажеров. Так, при подготовке специалистов для атомных станций широко используется учебная лаборатория «Управление и эксплуатация АЭС ВВЭР-1000». Тренажер представляет собой комплекс динамических моделей активной зоны и технологических систем реакторного отделения позволяющий моделировать реальные производственные ситуации и воспроизводить различные методики обработки нештатных ситуаций для формирования профессиональных умений и навыков.

Визуальные тренажеры со специализированным программно-аппаратным комплексом, трехмерной графикой и интерактивным взаимодействием позволяют реализовать процесс обучения и контроля знаний студентов по специальности 08.02.01 Строительство и эксплуатация зданий и сооружений.

Обучение программированию токарной и фрезерной обработки осуществляется при помощи учебного интерактивного (мультимедийного) класса, состоящего из учебной клавиатуры, имитирующей станочный пульт станка системы ЧПУ, АРМ операторов станков с ЧПУ.

Подготовка техников по специальности 22.02.06 Сварочное производство осуществляется по следующей схеме: тренажер → реальное оборудование → производственная база предприятия-партнера. Тренажеры позволяют осуществлять более плавный переход к работе на реальном промышленном оборудовании, приобретать определенные практические навыки с меньшими материальными затратами и риском совершить ошибки, многократно отрабатывать обучающимся свои навыки, анализировать и делать выводы.

Об эффективности данной системы подготовки свидетельствуют высокие результаты демонстрационного экзамена по компетенции «Сварочные технологии» в 2021 г., представленные на рис. 1. (Максимальный балл – 21,5).



*Рис. 1. Результаты демонстрационного экзамена по компетенции «Сварочные технологии»*

Кроме того, с 2016 года ВИТИ НИЯУ МИФИ активно участвует в чемпионатном движении WorldSkills. Студенты техникума ежегодно становятся победителями и занимают призовые места на чемпионатах профессионального мастерства различного уровня, в том числе на отраслевом чемпионате ГК «Росатом» AtomSkills и Национальном чемпионате сквозных рабочих профессий высокотехнологичных отраслей промышленности Hi-tech. Подготовка осуществлялась на тренажерах в сварочной мастерской ВИТИ НИЯУ МИФИ, а также в Центре профессиональных компетенций по сварочным технологиям Филиала АО «АЭМ-технологии» «Атоммаш» в г. Волгодонск.

Обучающие системы эффективны, в первую очередь, там, где требуется выполнение безошибочных действий по алгоритму, когда требуется подготовить персонал к различным нештатным ситуациям (например, оператор атомной станции).

Современные компьютерные технологии позволяют изготовить учебные тренажеры, включающие мультимедийные компоненты – компьютерную мультипликацию, аудио и видеоэффекты. Использование этих средств усиливает ощущение реальности при работе с тренажером и открывает новые возможности в процессе обучения.

#### Литература

1. Алексеева, О. В. Симуляционные методики в учебном процессе медицинского вуза / О. В. Алексеева, М. Н. Носова, О. М. Улитина [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 5: [сайт]. – URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22506> (дата обращения: 11.12.2023). – Текст: электронный.

2. Дудырев, Ф. Ф. Симуляторы и тренажеры в профессиональном образовании: педагогические и технологические аспекты / Ф. Ф. Дудырев, О. В. Максименкова // Вопросы образования. – 2020. – № 3.

3. Векслер, В. А. Интерактивные тренажеры и их значение в учебном процессе / В. А. Векслер, Л. Б. Рейдель. – NovaInfo. – 2016. – № 41. – С. 205-211: [сайт]. – URL: <https://novainfo.ru/article/4403> (дата обращения: 11.12.2023). – Текст: электронный.

УДК 371.31

### **Эффективный веб-дизайн при разработке образовательного ресурса**

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

Жуматий Екатерина Витальевна, студент направления  
«Информатика и управление в технических системах»

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

*В статье представлен обзор эффективных веб-дизайнов образовательного ресурса. Рассмотрено назначение и принципы эффективного веб-дизайна. Рассмотрена классификация интерактивных подходов в обучении.*

Главная задача современного образования – не просто дать обучающегося фундаментальные знания, а обеспечить ему все необходимые условия для дальнейшей социальной адаптации, а также развить склонность к самообразованию.

Образовательные веб-ресурсы представляют собой специально разработанные интернет-платформы, веб-сайты, приложения или онлайн-курсы, которые предназначены для образовательных целей. Их назначение состоит в предоставлении пользователям (студентам, учащимся, преподавателям) доступа к образовательному контенту, материалам, урокам, тестам, методикам обучения и другим образовательным ресурсам через интерактивный онлайн-интерфейс [1-4].

Образовательные веб-ресурсы могут быть направлены на самообучение, дистанционное обучение, поддержку традиционного образования в учебных заведениях, обучение персонала в рабочей среде и другие обучающие цели. Они позволяют учащимся получать знания, развивать навыки и участвовать в образовательных процессах, не выходя из дома или вне учебного заведения. Для

преподавателей образовательные веб-ресурсы предоставляют возможность создавать интерактивные уроки, проводить тестирование знаний, отслеживать академические успехи учащихся и улучшать образовательный процесс в целом.

Таким образом, образовательные веб-ресурсы выступают важным инструментом в современной образовательной среде, обеспечивая доступность обучающего контента, персонализированные методики обучения и множество возможностей для эффективного и удобного образования при условии, если разработаны с учетом базовых принципов разработки учебных материалов [4-8].

В настоящее время образовательные веб-ресурсы становятся все более популярными, приобретая важное значение в области образования. Эффективный веб-дизайн играет решающую роль в определении успеха таких ресурсов, поскольку он оказывает прямое влияние на удобство использования и привлекательность сайтов для пользователей [8-11].

Исследования показывают, что образовательные веб-ресурсы с более качественным веб-дизайном имеют большую востребованность у пользователей. Пользователи охотнее проводят время на таких сайтах, чувствуя себя комфортно и получая более положительный опыт пользования. Это способствует повышению обучающей эффективности и обеспечению лояльности пользователей. Принципы эффективного веб-дизайна включает в себя ряд фундаментальных аспектов, которые направлены на создание веб-ресурсов, отвечающих потребностям пользователей и обеспечивающих им максимальный комфорт при взаимодействии с сайтом.

Принципы грамотного веб-дизайна в контексте образовательных ресурсов [2, 4, 5, 7]:

1) удобство использования: целью принципа удобства использования является создание сайта, на котором пользователи могут легко и интуитивно находить необходимую информацию. Это включает в себя удобную навигацию, интуитивно понятную структуру сайта, удобство заполнения форм и доступ к основным разделам сайта без лишних усилий;

2) удобная навигация: образовательный веб-ресурс должен обладать интуитивно понятной навигацией, позволяющей пользователям легко находить необходимый контент и перемещаться по сайту без лишних сложностей. Хорошо спроектированная навигация помогает пользователям легко перемещаться по веб-сайту и находить нужную информацию. Меню и ссылки должны быть четкими, состоять из понятных названий и быть легко доступными на всех страницах;

3) адаптивность и мобильность: учитывая разнообразие устройств, через которые пользователи могут получать доступ к образовательному контенту, веб-ресурс должен быть адаптирован для работы на различных устройствах, включая мобильные телефоны и планшеты. Учитывая разнообразие устройств, через которые пользователи получают доступ к сайту, важно создавать адаптивный и мобильный дизайн. Это позволяет сайту корректно отображаться на экранах разного размера, обеспечивая полноценное взаимодействие с сайтом независимо от устройства;

4) читаемость и доступность: важным аспектом является использование читаемых шрифтов, понятных цветовых схем, а также обеспечение доступности для пользователей с ограниченными возможностями (например, с цветовой слепотой) и использование семантически верной структуры HTML. Шрифты и размеры текста должны быть выбраны таким образом, чтобы текст был легким для чтения. Оптимальный контраст между фоном и текстом также необходим для обеспечения удобочитаемости;

5) визуальная привлекательность: качественные изображения, графика, видеоматериалы и гармоничное сочетание цветовых решений способствуют созданию привлекательного образовательного ресурса. Поддержка визуального привлекательного дизайна включает в себя использование качественных изображений, гармоничных цветовых решений, интуитивной графики и анимации. Важно создавать визуально привлекательные сайты, которые будут привлекать пользователя и способствовать удержанию его внимания;

6) доступность: веб-ресурсы должны быть доступны для широкого круга пользователей, включая людей с ограниченными возможностями. Это означает учет особенностей адаптивного дизайна, удобочитаемых шрифтов, контрастных цветовых схем, а также поддержку вспомогательных технологий для людей с ограниченными возможностями;

7) быстрая загрузка: принцип эффективного веб-дизайна также включает в себя обеспечение быстрой загрузки страниц сайта. Оптимизация изображений, минимизация использования скриптов и файлов, а также учет технических аспектов позволяют создать сайт, который быстро загружается на любом устройстве;

8) четкость и простота: главный принцип эффективного веб-дизайна – создание интерфейса, который легко понять и использовать. Веб-сайт должен быть удобным и интуитивно понятным для пользователя;

9) интерактивность: добавление элементов интерактивности, таких как анимации, слайдеры и формы, может сделать веб-сайт более интересным и привлекательным для пользователей;

10) совместимость с браузерами: веб-сайт должен быть совместимым с популярными браузерами, чтобы пользователи могли просматривать его без проблем на разных платформах.

Принципы эффективного веб-дизайна направлены на обеспечение максимального удобства, доступности и привлекательности сайтов для пользователей, что улучшает пользовательский опыт и способствует достижению поставленных целей веб-ресурса.

С каждым годом веб-дизайн продолжает развиваться, и новые тенденции и подходы появляются. Главное – следовать основным принципам и регулярно обновлять дизайн, чтобы быть в тренде и предоставлять лучший опыт для пользователей.

#### Литература

1. Штырова, И. А. Интерактивное Web-приложение по информатике / И. А. Штырова // Материалы конференции «Современные Web-технологии образовательного назначения: перспективы и направления развития». – Арзамас: ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2016. – С. 258-261.

2. Панина, Т. С. Современные способы активизации обучения / Т. С. Панина, Л. Н. Вавилова. – 4-е изд., стер. – М.: 2008. – 176 с.

3. Виштак, О. В. Интерактивный электронный образовательный ресурс по основам программирования / О. В. Виштак // Сборник статей участников Международной научно-практической конференции «Современные Web-технологии образовательного назначения: перспективы и направления развития». – Арзамас: ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2016. – С. 77-80.

4. Interactive learning web applications: the main stages of development and software implementation / O. Vishtak, N. Vishtak , I. Mikheyev [et al.] // Annual International Conference on Brain-Inspired Cognitive Architectures for Artificial Intelligence: The 13th Annual Meeting of the BICA Society, 2022. – С. 688-695.

5. Академия ФСИИ России. Отдел организации межвузовской учебно-методической работы: [сайт]. – URL: [http://apu-fsin.ru/service/omumr/material\\_int\\_form.html](http://apu-fsin.ru/service/omumr/material_int_form.html) (дата обращения: 15.12.2023). – Текст: электронный.

6. Виштак, О. В. Некоторые аспекты конструктивных критериев учебных материалов / О. В. Виштак // Вестник Московского университета. Серия 20: Педагогическое образование. – 2006. – № 2. – С. 55.

7. Виштак, О. В. Дидактические основы разработки педагогического сценария мультимедийного учебного пособия по информатике / О. В. Виштак // Информатика и образование. – 2004. – № 7. – С. 87-92.

8. Виштак, О. В. Интерфейс пользователя информационной обучающей системы / О. В. Виштак, В. П. Петченко // Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции «Проблемы развития регионов в условиях модернизации экономики, общества и образования». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2018. – С. 51-54.

9. Татаринцев, Е. М. Области применения виртуальной реальности / Е. М. Татаринцев, И. В. Михеев // В сборнике трудов III Всероссийской научно-практической конференции «Современные технологии в атомной энергетике». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ. – 2017. – С. 102-106.

10. Грицюк, С. Н. Система контроля и визуализации на основе 8-разрядных микроконтроллеров / С. Н. Грицюк, Д. А. Буянов // В сборнике трудов IV Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ. – 2018. – С. 70-74.

11. Очкур, Г. В. Обзор машинных методов обучения / Г. В. Очкур, И. В. Денисов // В сборнике трудов VIII Международной научно-практической конференции: «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ. – 2022. – Т. I. – С. 304-308.



## **Использование методологии гибкой разработки образовательных информационных ресурсов**

Виштак Ольга Васильевна, доктор педагогических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры «Информационные системы и технологии»;

Дорожкин Кирилл Алексеевич, 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 оптимизации этапов разработки современных образовательных интернет ресурсов. Рассмотрена значимость информационных ресурсов в образовании. Рассмотрены этапы разработки информационных ресурсов. Проанализировано использование методологии гибкой разработки для образовательных информационных ресурсов.*

Главная задача современного интернет-ресурса – предоставление пользователю информации, услуг или развлечений, которые соответствуют их потребностям и ожиданиям. Различные виды информации, представленные в электронном формате и доступные для использования и распространения через интернет или другие электронные средства. Это могут быть текстовые материалы, изображения, аудио- и видеофайлы, базы данных, программное обеспечение, веб-сайты, приложения и другие виды информации и технологий. Информационные ресурсы играют важную роль в образовании, научных исследованиях, бизнесе, общении и развлечениях, поэтому их разработка и поддержка имеют большое значение для общества [1-4].

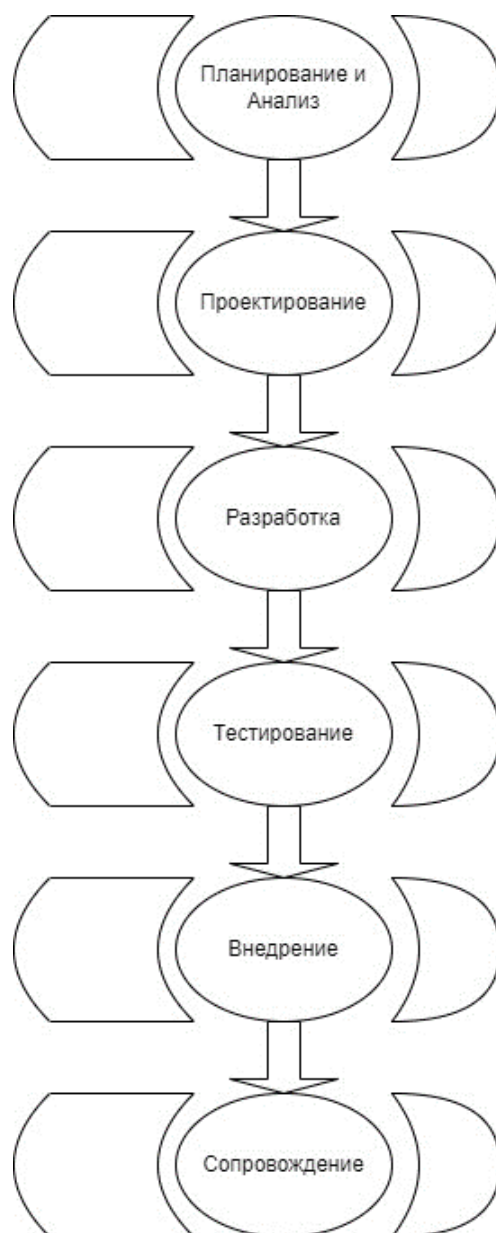
Информационные ресурсы играют значительную роль в образовании, так как они предоставляют доступ к большому объему знаний и информации. С развитием технологий, учащиеся и преподаватели могут использовать различные электронные и интернет-ресурсы для получения информации, изучения новых материалов, обмена знаниями и участия в различных образовательных проектах.

Информационные ресурсы позволяют учащимся самостоятельно изучать материалы, находить ответы на свои вопросы, а также развивать мышление и навыки поиска информации [2-5]. Они являются средством для предоставления интересных и

актуальных учебных материалов, предоставляют возможность онлайн-обучения и оценивания учебной деятельности обучающихся.

Благодаря информационным ресурсам образование становится более доступным и гибким, что позволяет учащимся из различных регионов и социальных групп получать качественное образование. Таким образом, информационные ресурсы играют важную роль в современной системе образования, способствуя его развитию и совершенствованию.

При разработке информационного образовательного ресурса требуется достаточно много времени работы команды разработчиков, которая, как правило, включает преподавателя в соответствующей предметной области и ИТ-специалиста.



*Рис. 1. Схема этапов разработки информационных ресурсов*

Поэтому в настоящее время становится актуальным использование гибких подходов к разработке программного обеспечения, которые позволяют повысить эффективность команды на протяжении всего процесса разработки [12, 13]. Гибкие методы разработки помогают оптимизировать каждый этап процесса создания информационного ресурса, начиная с этапа планирования до этапа внедрения.

Таким образом, вместо традиционного подхода к определению целей и задач, использование методологии Agile позволяет проводить постоянный анализ потребностей на каждом этапе разработки и оперативно вносить изменения в проект. Преподаватель получает возможность создания более гибкого и адаптивного интернет-ресурса, в котором можно актуализировать контент, исходя из потребностей учебного процесса и адаптации к обучающимся.

Важным этапом в процессе разработки современного интернет-ресурса является планирование и анализ [6-8]. На этом этапе определяются цели и задачи информационного ресурса, а также анализируются потребности пользователей. Определяются основные требования к функциональности, дизайну и содержанию ресурса [9-11]. На этом этапе следует особое внимание уделять соответствию ресурса требованиям, предъявляемым именно к образовательным ресурсам.

Также важным этапом в оптимизации разработки интернет-ресурса является этап проектирования [6, 8, 9]. На этом этапе разрабатывается структура информационного ресурса, создается макет и дизайн. Определяются основные разделы, страницы, функциональные элементы и интерфейс. Использование методологии гибкой разработки позволяет исключить разработку громоздкого ТЗ на этапе проектирования, при этом актуализировать цели и задачи ресурса. Применение методологии Agile, для оптимизации процесса создания макетов и дизайна, а также проведение тестирования прототипов с целью получения обратной связи от пользователей, обеспечивает учет потребностей образовательного процесса на ранних этапах разработки, что позволяет избежать дорогостоящих исправлений на более поздних этапах [12-14]. На этом этапе разработки создается программное обеспечение, контент и другие компоненты информационного ресурса. Происходит написание кода, создание графики, наполнение контентом и тестирование функциональности.

В соответствии методологии гибкой разработки предпочтительно запустить пилотную версию, чтобы с первых недель получать и учитывать обратную связь от обучающихся. Далее с учетом результатов обратной связи проводится наращивание функционала образовательного ресурса. После разработки новых компонентов

внедряем и вновь собираем обратную связь, далее проводится анализ и делаются выводы. То есть цикл разработки повторяется.

После завершения разработки информационного ресурса проводится тестирование всех его компонентов. В соответствии с методологией гибкой разработки тестирование проводится с участием реальных пользователей, то есть обучающихся. Они работают с ресурсом, что обеспечивает проверку на соответствие требованиям, исправление ошибок и устранение недочетов. На этапе тестирования необходимо проверить работоспособность всех новых функций, исправить ошибки и убедиться, что обновления не привели к появлению новых проблем. Также важно провести тестирование с участием пользователей, чтобы получить обратную связь и убедиться, что изменения соответствуют их ожиданиям и потребностям.

После успешного тестирования информационный ресурс готов к внедрению. Он размещается на сервере, настраивается для работы с пользователями и запускается в режиме реальной эксплуатации. По завершению этапа тестирования и внедрения информационный ресурс нуждается в постоянном сопровождении и поддержке. Это включает в себя обновление контента, исправление ошибок, улучшение функциональности и обеспечение безопасности.

Оптимизация интернет-ресурса по временным ресурсам включает в себя улучшение скорости загрузки сайта, упрощение процесса навигации по сайту, а также улучшение процесса оформления заказов или регистрации пользователей. Это может быть достигнуто путем оптимизации изображений, использованием кэширования, минимизации использования скриптов и стилей, а также улучшением пользовательского интерфейса.

Оптимизация интернет-ресурса по денежным ресурсам включает в себя оптимизацию затрат на хостинг, разработку и поддержку сайта. Это может включать в себя выбор более дешевого хостинга, использование бесплатных или дешевых шаблонов для дизайна сайта, а также использование бесплатных инструментов для аналитики и мониторинга сайта.

Оптимизация интернет-ресурса по человеческим ресурсам включает в себя улучшение пользовательского опыта, предоставление полезного и актуального контента, а также обеспечение хорошей поддержки пользователей. Это может быть достигнуто путем проведения тестирований пользовательского опыта, анализа статистики посещаемости и поведения пользователей на сайте, а также обратной связи от пользователей.

В целом, оптимизация интернет-ресурса по денежным, временным и человеческим ресурсам требует комплексного подхода и постоянного мониторинга эффективности принятых мер. Таким образом, использование методологии Agile позволяет проводить постоянный анализ потребностей на каждом этапе разработки, что обеспечивает оптимизацию всех этапов процессов создания образовательных интернет-ресурсов, создавать более эффективные образовательные инструменты, которые активизируют и мотивируют обучающихся к использованию в своей учебной деятельности современных авторских образовательных ресурсов.

#### Литература

1. Очкур, Г. В. Моделирование процесса обращения к информационному ресурсу образовательного учреждения / Г. В. Очкур // В сборнике статей I Международной научно-технической конференции Актуальные вопросы современной науки, технологии и образования. – Энгельс, 2020. – С. 412-415.

2. Штырова, И. А. Интерактивное Web-приложение по информатике / И. А. Штырова // Материалы конференции «Современные Web-технологии образовательного назначения: перспективы и направления развития». – Арзамас: ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2016. – С. 258-261.

3. Виштак, Н. М. Интерактивность как базовая характеристика электронных образовательных ресурсов нового поколения / Н. М. Виштак, Ю. А. Кох // Сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции «Современные технологии в атомной энергетике». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ. – 2017. – С. 72-81.

4. Виштак, Н. М. Современные электронные образовательные ресурсы в системе дополнительного образования / Н. М. Виштак, Ю. А. Кох // Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции «Проблемы развития регионов в условиях модернизации экономики, общества и образования». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ. – 2018. – С. 39-42.

5. Vishtak, N. M. Methodical and technological aspects of creation of interactive computer learning systems / N. M. Vishtak, D. A. Frolov // AIP Conference Proceedings. – 2017. – С. 040007.

6. Сухомлинов, А. И. Разработка информационных систем: учебное пособие / А. И. Сухомлинов. – Изд-во: Проспект, 2017. – С. 57-99.

7. Петченко, В. П. Анализ технологий разработки образовательных ресурсов дистанционного обучения персонала энергетических предприятий / В. П. Петченко,

О. В. Виштак // Сборник трудов научно-практической конференции «Современные технологии в атомной энергетике». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ. – 2016. – С. 80-82.

8. Виштак, О. В. Технологии разработки образовательных web-ресурсов / О. В. Виштак, И. А. Штырова, В. И. Жирнов // Сборник статей участников Международной научно-практической конференции «Развивающий потенциал образовательных Web-технологий». – Арзамас: ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2018. – С. 162-166.

9. Виштак, Н. М. Интерактивность как базовая характеристика электронных образовательных ресурсов нового поколения / Н. М. Виштак, Ю. А. Кох // Сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции «Современные технологии в атомной энергетике». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ. – 2017. – С. 72-81.

10. Виштак, Н. М. Система дидактических принципов как основа разработки цифровых образовательных ресурсов / Н. М. Виштак // Сборник статей участников Международной научно-практической конференции «Современные образовательные Web-технологии в реализации личностного потенциала обучающихся». – Арзамас: ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2020. – С. 259-262.

11. Затулин, А. Г. Требования к разработке информационных ресурсов центров дополнительного образования / А. Г. Затулин, Н. М. Виштак // Сборник трудов I Международной научно-практической конференции «Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ. – 2019. – С. 169-173.

12. Agile в разработке сайтов: [сайт]. – URL: <https://aevrika.ru/blog/gibkij-podhod-agile-v-razrabotke-i-prodvizhenii-sajtov/> (дата обращения: 22.11.2023). – Текст: электронный.

13. Эммануэль Акинола Методологии AGIL-разработки: основное руководство: [сайт]. – URL: <https://businessyield.com/ru/бизнес-стратегии/гибкие-методологии-разработки/> (дата обращения: 10.11.2023). – Текст: электронный.

14. Качков, М. С. Проектирование программного обеспечения с использованием методологии AGILE / М. С. Качков, Г. В. Очкур // Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции «Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ. – 2022. – С. 240-247.

### **Технология блокчейн в сфере образования**

Виштак Ольга Васильевна, доктор педагогических наук, кандидат технических наук,  
профессор кафедры «Информационные системы и технологии»;

Харламов Иван Михайлович, 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 описано понятие технологии блокчейна. Рассмотрены принципы построения блокчейна и механизмы его работы. Рассмотрен пример применения технологии блокчейна в сфере дополнительного образования.*

В настоящее время в организации учебного процесса активно используются современные информационные технологии, направленные на интенсификацию и практико-ориентируемость учебного процесса: технология виртуальной реальности, технология машинного обучения, технология интерактивного обучения, технологии визуализации реальных объектов и другие [8-12]. К таким современным информационным технологиям, позволяющим обеспечить формирование на своей платформе цифровые образов, является технология блокчейн. Блокчейн – это непрерывная цепочка блоков, выстроенная по определённым правилам, которая хранит в себе информацию.

Впервые что-то подобное данной технологии предложил американский криптограф Дэвид Чаум в своей диссертации «Компьютерные системы, созданные, поддерживаемые и пользующиеся доверием взаимно подозрительных групп» [2]. Затем спустя почти десять лет математики С. Хабер и У. Скотт Сторнетта в своих работах представили защищённую цепь блоков [3, 4].

Их цель была создать систему временных меток для документов с защитой от подделки. Далее к ним присоединился Дейв Бейер, и они смогли включить в свою разработанную технологию древо хешей, что позволило повысить эффективность в сборе нескольких подтверждающих сертификатов в один блок [5].

Исследователи поняли, какой заложен коммерческий потенциал в разработанной технологии, они создали сервис временных меток Surety, чтобы коммерциализировать свою разработку. Хеши сертификатов документов Surety с 1995 года еженедельно публикуются в New York Times [6].

В 2008 году некий Сатоши Накамото, личность которого до сих пор является загадкой, предложил общий алгоритм биткойна, ядром которого была система из непрерывной последовательной цепочки блоков информации, которая получила название blockchain (Блокчейн). Самым основным отличием от всех предшествующих вариантов подобных технологий объединение цепного хэша с формальным механизмом выработки консенсуса о корректности очередного блока, позволило во всей системе отказаться от подтверждения информации централизованным лицом, так называемым администратором, и система стала децентрализованной [3].

Разработка и использование блокчейна предоставляет следующие возможности:

- идентифицирование участника при помощи двух ключей: приватного ключа (должен быть строго засекречен и храниться у пользователя в надёжном месте, так как при его утрате доступ к данным восстановить не представляется возможным и участник потеряет их навсегда) и открытого ключа (виден всем участникам), а цифровая подпись точно идентифицирует отправителя и получателя, при этом личности их будут оставаться анонимными;

- сбор транзакций в блоки, после чего вычисляется хеш блока и в следующий блок этот хеш записывается. Благодаря данной последовательности записи хешей в блоки, технология блокчейна и получила своё название. Из-за этого невозможно незаметно удалить или изменить блоки и отдельные транзакции из этих блоков, что добавляет уверенность в неизменности уже внесённых данных в блокчейн;

- предотвращение мошенничества в виде двойной транзакции путём достижения консенсуса в сети блокчейн, то есть какие данные считать верными, а какие неверными;

- комиссия в блокчейне всё же остаётся, но она необходима для поддержания работы сети;

- технология блокчейн позволяет реализовать smart contracts – это бизнес-логика, «умные контракты»;

- обеспечение надежности сети состоит в публичности блокчейна, каждый её участник может запустить свою ноду, получить себе полную копию блокчейна и проверять правильность транзакций.

Поскольку в формировании хэша текущего блока, помимо других входных данных, участвует в том числе и хэш предыдущего блока, любое изменение любых входных данных предыдущего блока приведет к изменению как предыдущего хэша, так и хэша блока, следующего за ним, который из-за этого перестанет соответствовать



заданному условию, а следом за ним некорректной станет и вся последующая цепь. Более того, чем старше блок в цепи, тем сложнее его изменить.

Информация о транзакциях не передается в открытом виде, иначе каждый бы смог создать транзакцию, «представившись» в системе другим человеком, и таким образом отправить все средства самому себе. Данные об отправителях и получателях преобразуются в нечитаемый набор символов.

Каждый участник сети при регистрации в ней и установке необходимого программного обеспечения на рабочую станцию генерирует случайный набор чисел (приватный ключ), с помощью которого формируется другой, более сложный набор символов (публичный ключ). Получить приватный ключ из публичного невозможно, поскольку его длина очень велика и требует огромных вычислительных мощностей.

Приватный ключ принадлежит только тому пользователю, который сгенерировал его. Он не участвует в транзакциях, и его не следует разглашать никому. Он служит для осуществления подписи транзакции, однако в открытом виде не передается.

Для того, чтобы отправить транзакцию, каждый пользователь осуществляет подпись. В отправителях он вводит свой публичный ключ для обозначения своего кошелька, в получателях публичный ключ того кошелька, на который требуется перевести средства, и сумму, которую желает перевести.

На основе этих входных данных и приватного ключа формируется подпись, а затем отправляется другим участникам для проверки и внесения транзакции в блок.

Имея подпись и все входные данные, каждый пользователь системы может проверить, что транзакция, которую пытаются внести в блок, подписана пользователем, имеющим доступ к реальному приватному ключу.

Таким образом, блокчейн уже не имеет персональных данных о лицах, передающих средства тому или иному лицу, а имеет лишь некие ключи, представляющие собой кошельки, за которыми находятся те или иные лица и подписи к каждой транзакции.

Любое малейшее изменение входных данных, будь то номер кошелька отправителя или получателя, передаваемые средства или подпись, мгновенно приведет к изменению конечного хэша и некорректности всей цепи.

Таким образом, как отмечают В.П. Кузнецова, И.А. Бондаренко, «особенность блокчейна заключается в том, что данные, внесенные один раз, имеют свою историю, что позволяет проверить происхождение информации и ее подлинность. Эти данные не могут быть никем изменены, они многократно продублированы и хранятся в

распределенной сети, созданной и поддерживаемой всеми участниками. Информацию в базу данных можно только добавлять, но не перезаписывать. Достоверность документа легко прослеживается, так как каждый участник видит, кем он был записан в блокчейн-систему. Информация всегда доступна, ее нельзя подделать, она прозрачна, базы данных делают ее чрезвычайно устойчивой к хакерским атакам, у нее более низкая стоимость обслуживания [7].

Рассмотрим возможности технологии блокчейн в образовательном процессе [7, 8]. Составной частью вузовского дополнительного образования являются промежуточное оценивание в виде зачетов, экзаменов, защит рефератов и т. п., а также итоговая аттестация – междисциплинарный экзамен, защита итоговой аттестационной работы и др., в ходе которых слушатели демонстрируют свои знания, умения, навыки, компетенции. По результатам проводимых контрольных мероприятий слушателям выдаются соответствующие документы, подтверждающие успешное завершение обучения. Соответственно предусматриваются регламентированные процедуры фиксации, хранения и использования полученных результатов, а также предусматривается выдача соответствующих документов на бумажных носителях.

Применение технологии блокчейн позволит обеспечить цифровое портфолио каждого слушателя, включая хранения работ, результатов зачетов и экзаменов, удостоверений и дипломов в виде уникальных цифровых записей в распределённой базе данных. Неоспоримое преимущество этой технологии для образования состоит в том, что она гарантирует надежность и безопасность, позволяет значительно минимизировать «бумажный» документооборот, значительно ускорить все процессы делопроизводства.

#### Литература

1. Википедия: [сайт]. – URL:<https://ru.wikipedia.org/wiki/Блокчейн> (дата обращения: 10.12.2023). – Текст: электронный.
2. On the Origins and Variations of Blockchain Technologies / Alan T. Sherman; Farid Javani, Haibin Zhang, Enis Golaszewski // IEEE Security Privacy, 2019. – С. 72-77.
3. Bitcoin and cryptocurrency technologies: a comprehensive introduction / Arvind Narayanan, Joseph Bonneau, Edward Felten [et al.]. – Princeton: Princeton University Press, 2016.
4. Haber, Stuart How to time-stamp a digital document / Stuart Haber, W. Scott Stornetta. – Journal of Cryptology. – 1991. – Vol. 3(2). – Pp. 99-111.

5. Bayer, Dave. Improving the Efficiency and Reliability of Digital Time-Stamping / Dave Bayer, Stuart Haber, W. Scott Stornetta. – 1992. – Vol. 2. – Pp. 329-334.

6. Кузнецова, В. П. Блокчейн как инструмент цифровой экономики в образовании / В. П. Кузнецова, И. А. Бондаренко // Вопросы сферы образования. – 2018. – Т. 8. – № 1. – С. 102-109.

7. Нечитайленко, Р. А. Перспективные цифровые технологии в сфере online-образования: искусственный интеллект, виртуальная реальность и блокчейн / Р. А. Нечитайленко, А. И. Воробьёв // Современное образование: содержание, технологии, качество. – 2021. – Т. 1. – С. 203-206.

8. Татаринцев, Е. М. Области применения виртуальной реальности / Е. М. Татаринцев, И. В. Михеев // Сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции «Современные технологии в атомной энергетике». – М: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – С. 102-106.

9. Грицюк, С. Н. Система контроля и визуализации на основе 8-разрядных микроконтроллеров / С. Н. Грицюк, Д. А. Буянов // Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий». – М: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2018. – С. 70-74.

10. Очкур, Г. В. Обзор машинных методов обучения / Г. В. Очкур, И. В. Денисов // Сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции: «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий». – М: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2022. – С. 304-308.

11. Виштак, Н. М. Использование мобильных технологий в вузе / Н. М. Виштак, И. А. Штырова, С. А. Ремаренко // Сборник трудов V Международной юбилейной научной конференции «Проблемы управления, обработки и передачи информации». – СГТУ, 2017. – С. 615-618.

12. Виштак, Н. М. Интерактивные технологии как основа диалогового обучения / Н. М. Виштак, Е. А. Яковлева // Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции «Проблемы развития регионов в условиях модернизации экономики, общества и образования». – М: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2018. – С. 35-39.

**Автоматизированные системы тестирования знаний обучающихся по программам  
дополнительного образования**

Виштак Ольга Васильевна, доктор педагогических наук, кандидат технических наук,  
профессор кафедры «Информационные системы и технологии»;

Шестакова Екатерина Сергеевна, 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

*Статья посвящена важности оценки как мотивирующего фактора в обучении. Рассматриваются перспективы разработки мобильного приложения тестирования знаний обучающихся по программам дополнительного образования. Освещаются разнообразные типы вопросов, способствующие более эффективному оцениванию знаний.*

Современное общество насыщено информацией, и даже дети сталкиваются с миром цифровых технологий с самого раннего возраста. Дополнительное профессиональное образование (ДПО) в области информационных технологий становится неотъемлемой частью образовательного процесса для многих детей [1-4]. Однако, учитывая особенности восприятия и учебной мотивации детей, методика тестирования знаний в этой области требует особого внимания [6, 7, 9].

Дополнительное профессиональное образование в области информационных технологий представляет собой особую сферу обучения, требующую учета ряда уникальных особенностей [2, 5, 6, 12]. Эти особенности включают в себя не только технические аспекты, но и психологические и педагогические факторы, которые определяют успешность процесса обучения.

Одной из ключевых особенностей ДПО по информационным технологиям является акцент на интерактивность и практическую ориентированность обучения. Учащиеся в этой сфере нуждаются не только в теоретических знаниях, но и в реальном опыте работы с программным обеспечением, аппаратными средствами и решением практических задач. Данный подход не только способствует более глубокому усвоению материала, но и подготавливает к реальным вызовам сферы информационных технологий.

Информационные технологии являются одной из наиболее динамичных и быстро развивающихся областей. Поэтому, чтобы соответствовать современным требованиям индустрии, ДПО должно быть гибким и адаптивным. Регулярное обновление образовательных программ, введение новых тем и технологий позволяет получать актуальные и востребованные навыки.

Для эффективного обучения в области информационных технологий необходимо учитывать индивидуальные особенности обучающихся и поддерживать их мотивацию. Этого можно достичь через создание интересных задач, стимулирование творческого мышления и предоставление возможностей для самостоятельной работы. Индивидуальный подход в учебном процессе позволяет выявить сильные стороны каждого ребенка и развивать их.

Современные технологии также вносят свой вклад в ДПО в области информационных технологий. Использование элементов сетевого обучения и онлайн-ресурсов предоставляет учащимся гибкость в управлении временем, обеспечивает доступ к обучающему контенту в любом месте и создает виртуальное пространство для эффективного общения с преподавателями [5, 8, 14]. Такой подход делает образование более доступным и удобным.

В целом, эффективное ДПО в области информационных технологий требует комплексного подхода, включающего в себя практическую направленность, актуальность программ, мотивацию обучающихся и интеграцию современных технологий обучения.

Сейчас дети растут в мире, где информационные технологии стали неотъемлемой частью их повседневной жизни. Этот факт предоставляет уникальные возможности для образования, социализации, и развития, но также требует особого внимания и ответственности со стороны взрослых.

Современных детей часто называют «цифровым поколением», поскольку для них цифровые технологии – это нечто более естественное, чем для предыдущих поколений. С самого раннего возраста дети взаимодействуют со смартфонами, планшетами, компьютерами, игровыми консолями. Это создает уникальные возможности для обучения, развития логического мышления и креативности.

Информационные технологии предоставляют уникальные образовательные возможности. Обучающие приложения, онлайн-курсы, виртуальные лаборатории – все это расширяет границы традиционного образования. Дети могут обучаться, используя интерактивные ресурсы, что делает процесс обучения увлекательным и доступным.

Сбалансированное и ответственное взаимодействие детей с информационными технологиями требует от взрослых не только понимания технических аспектов, но и глубокого осознания образовательных и социальных аспектов использования цифровых технологий. Развивая цифровые навыки с самого детства и обеспечивая внимание к аспектам безопасности и психологическому благополучию, взрослые создают надежную основу для успешного взаимодействия детей с современными технологиями.

Оценка знаний в дополнительном образовании по информационным технологиям несет важное значение в формировании мотивации детей к изучению данной области. Эффективная оценочная система, помимо измерения уровня знаний, выступает как мощный стимул для интереса и стремления к обучению. Таким образом, подчеркивая успехи и используя тестирование как инструмент мотивации, мы активно поддерживаем желание детей к дальнейшему развитию и расширению своих компетенций в информационных технологиях.

В контексте ДПО, где формальных оценок может не быть, сохранение мотивации учащихся и оценку их знаний можно осуществлять через различные методы и подходы, направленные на стимулирование и поддержание интереса к обучению.

Учитывая, что обучающиеся ДПО могут иметь различные предпочтения, потребности и уровень подготовки, индивидуализация оценивания становится важным аспектом [7, 10, 13, 14]. Персонализированный подход к оцениванию позволяет адаптировать методы и формы оценивания под индивидуальные особенности каждого ученика, обеспечивая более точное измерение их успехов и потребностей.

Обратная связь, предоставляемая преподавателем, является неотъемлемой частью оценивания в ДПО. Эффективная обратная связь позволяет ученикам лучше понять свои сильные и слабые стороны, а также предоставляет рекомендации по улучшению. Важно, чтобы обратная связь была конструктивной, ориентированной на развитие, и способствовала максимальной реализации потенциала ребенка.

Интеграция геймификации в автоматизированные системы тестирования может создать более привлекательное и мотивирующее окружение для учащихся. Примером такой интеграции может послужить предоставление тестов в реальном времени с использованием интерактивных элементов. Системы тестирования, способные автоматически регулировать сложность вопросов в зависимости от уровня подготовки, обеспечивают более точное измерение знаний. А обратная связь преподавателя по результатам тестирования помогает понимать свой уровень подготовки и принимать соответствующие меры.

Использование автоматизированных систем тестирования в ДПО может не только эффективно измерять знания, но и поддерживать стимуляцию и мотивацию обучающихся через интерактивные и геймифицированные элементы.

С развитием цифровых технологий появляется возможность создания подобных автоматизированных систем тестирования знаний [6, 13, 14]. Такие системы позволяют проводить тестирование в интерактивной форме, что делает процесс более увлекательным и доступным для детей. Автоматизированные системы также обеспечивают более точную и быструю обработку результатов тестирования, что важно для оперативной обратной связи и коррекции учебного процесса.

Рассмотрим концепцию мобильного тестирующего приложения, способного исключить возможности списывания и предоставить персонализированный опыт, спроектированного с учетом особенностей ДПО, для его дальнейшей разработки.

Одной из важных характеристик такого приложения является возможность блокировки кнопок выхода из приложения во время тестирования. Этот функционал существенно снижает риск списывания, обеспечивая честность процесса тестирования [8]. Ученики могут сосредотачиваться на решении задач и получать объективную оценку своих знаний.

Важным аспектом является также возможность выбора конкретной темы для тестирования. После выбора темы, приложение предоставляет краткий теоретический материал для повторения. Этот шаг не только помогает восстановить базовые знания, но и подготавливает учащихся к успешному прохождению теста.

Система генерации теста из рандомных вопросов по выбранной теме, хранящихся в базе данных приложения, создает уникальный тест для каждого ученика. Это обеспечивает разнообразие вопросов, способствуя более глубокому усвоению материала.

После завершения теста каждый ученик получает мотивирующую краткую оценку своих знаний. Детальный отчет о прохождении теста отправляется на почту преподавателю, обеспечивая своевременную и компетентную обратную связь. Процесс взаимодействия между преподавателем и обучающимися, поддерживаемый этим приложением, создает дополнительные пространства для обсуждения результатов, задания вопросов и уточнения материала.

Таким образом, создание рассмотренного мобильного приложения в ДПО принесет значительную пользу образовательному процессу. Оно не только повышает уровень честности при проведении тестирования, но и поддерживает

персонализированный подход к обучению, обеспечивает мотивацию и удобство использования, делая образовательный процесс более современным и эффективным.

Также мобильное тестирующее приложение может включать разнообразные виды вопросов, чтобы оценить различные аспекты знаний [8, 10, 11, 13, 14]. Рассмотрим несколько типов вопросов, которые могут быть включены:

- одиночный выбор (Выбор из нескольких вариантов). Выбирается один правильный вариант ответа из предложенного списка. Применяется для оценки базовых знаний и понимания основных концепций;

- множественный выбор (Выбор из нескольких правильных вариантов). Выбирается один или несколько правильных ответов из предложенных вариантов. Позволяет оценить глубину понимания и способность к анализу;

- сопоставление. Тестируемый сопоставляет элементы из одной колонки с соответствующими элементами из другой. Используется для проверки умения устанавливать связи между различными концепциями;

- заполнение пропусков. Обучающийся заполняет пропуски в предложении. Позволяет оценить точное знание терминов и ключевых понятий;

- группировка. Ученик группирует элементы в соответствии с определенными критериями. Оценивает умение классифицировать информацию и видеть связи между элементами;

- порядок выполнения. Расставляются этапы процесса или последовательность событий в правильном порядке. Оценивает понимание последовательности действий;

- верно/неверно. Необходимо определить, является ли утверждение верным или неверным. Применяется для оценки основополагающих знаний;

Интеграция различных типов вопросов создает разнообразие в тестах, что способствует более полному оцениванию знаний учеников и поддерживает персонализированный подход в обучении [9, 11, 12].

Мобильные тестирующие приложения предоставляют не только технические инструменты для оценивания знаний, но и создают инновационную образовательную среду, которая соответствует современным требованиям и вызовам. Путем комбинирования современных технологий, благодаря этим приложениям, ДПО становится более доступным, интересным и востребованным, обеспечивая подготовку специалистов, готовых к быстро меняющемуся миру технологий.



## Литература

1. Черноскутова Марина Викторовна Роль дополнительного образования в профессиональном определении / Черноскутова Марина Викторовна: [сайт]. – URL: [https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/38956/1/po\\_2015\\_02\\_29.pdf](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/38956/1/po_2015_02_29.pdf) (дата обращения: 18.12.2023). – Текст: электронный.
2. Джичоная Марина Викторовна Роль дополнительного образование в современной системе образования / Джичоная Марина Викторовна // Образовательный центр «ЯПедагог.РФ»: [сайт]. – URL: <https://xn--80agabe1dc1k.xn--plai/> (дата обращения: 18.12.2023). – Текст: электронный.
3. Ганосова, Е. Ю. Применение цифровых технологий в дополнительном образовании детей / Е. Ю. Ганосова, И. А. Штырова // Сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий». – М: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2022. – С. 238-242.
4. Штырова, И. А. Формирование познавательной активности учащихся в условиях реализации ФГОС посредством цифровых образовательных ресурсов / И. А. Штырова, Е. А. Куликова // Сборник трудов I Международной научно-практической конференции «Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании». – М: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2019. – С. 213-216.
5. Виштак, Н. М Информационная система тестирования знаний обучающихся центра дополнительного образования на основе Web-технологий / Н. М Виштак // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Современные Web-технологии образовательного назначения: перспективы и направления развития». – Арзамас: Арзамасский филиал ННГУ им. Н.И. Лобачевского», 2016. – С. 40-43.
6. Виштак, Н. М. Электронные образовательные ресурсы в практике дополнительного образования / Н. М. Виштак, Е. А. Яковлева // Сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции «Современные технологии в атомной энергетике». – М: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – С. 86-92.
7. Виштак, Н. М. 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». – М: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2018. – С. 48-50.

8. Воронин, К. Ю. Правила создания и способы оценивания при конструировании тестов / К. Ю. Воронин, В. Ю. Петров // Материалы V Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум: [сайт]. – URL: <https://scienceforum.ru/2013/article/2013008069> (дата обращения: 18.12.2023). – Текст: электронный.
9. Тиссен, Е. Г. Рекомендации по разработке тестов / Е. Г. Тиссен, И. Г. Калугина, А. С. Спирина: [сайт]. – URL: <https://portal.edu.asu.ru/mod/book/tool/print/> (дата обращения: 19.12.2023). – Текст: электронный.
10. Синкина, Е. А. Современные подходы к контролю в системе обучения / Е. А. Синкина // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. – 2013. – № 3: [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-podhody-k-kontrolyu-v-sisteme-obucheniya> (дата обращения: 19.12.2023). – Текст: электронный.
11. Нестеренко, С. А. Преимущества и недостатки компьютерного тестирования / С. А. Нестеренко // Вологдинские чтения. – 2007. – № 63: [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/preimuschestva-i-nedostatki-kompyuternogo-testirovaniya> (дата обращения: 19.12.2023). – Текст: электронный.
12. Automated training system with advanced knowledge control / O. Vishtak, V. Zemskov, I. Mikheyev [et al.] // Annual International Conference on Brain-Inspired Cognitive Architectures for Artificial Intelligence: The 13th Annual Meeting of the BICA Society, 2022. – С. 400-406.
13. Архипов, А. Ю. Информационные системы для тестового контроля знаний обучающихся / А. Ю. Архипов, Н. М. Виштак // Сборник трудов I Международной научно-практической конференции «Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании». – М: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2019. – С. 149-153.
14. Ковалёв, А. А. Цифровые инструменты в образовании / А. А. Ковалёв, И. А. Штырова // Сборник статей V Всероссийской научно-практической конференции «Образование в России и актуальные вопросы современной науки». – Пенза, 2022. – С. 205-207.

### **Внедрение IT – технологий в систему образования**

Головки Мария Владимировна, доктор экономических наук, профессор кафедры

«Институциональная экономика и инвестиционный менеджмент»;

Заруба Даниил Сергеевич, студент направления «Экономическая безопасность.

Экономико-правовое обеспечение экономической безопасности»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет

имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар

*В данной статье изучается внедрение IT – технологий в систему образования. Изучаются основные понятия и виды IT – технологий. Освещаются ключевые проблемы, связанные с развитием информационных решений в образовательные стандарты. Также приводятся преимущества и перспективы развития данной области в современных условиях. Предметом данной работы является создание и поддержка соответствующей IT-инфраструктуры и предоставление новых возможностей для обучения всех слоев населения.*

С развитием цифровых и IT (Information technology, или информационные технологии) технологий, все субъекты деятельности имеют доступ широкополосный доступ в интернет и к информации, что расширяет возможности людей в понимании и развитии устройства мира.

Согласно данным НИУ ВШЭ, цифровая зрелость высшего образования и науки к 2024 году должна достичь 60 %. К 2030 году 90 % сотрудников вузов должны обладать цифровыми компетенциями. Данные целевые ориентиры активно поддерживаются государством, например, в рамках проекта развития российских вузов «Приоритет 2030», где предусмотрены направления цифровой трансформации и модернизации образовательного процесса.

Информационные технологии – процессы, методы поиска, сбора, хранения, обработки, предоставления, распространения информации и способы осуществления таких процессов и методов [1].

Вовлеченность в инновационную деятельность необходима для дальнейшей жизнедеятельности в современном мире, где повседневно все личные данные людей хранят в информационных системах (Портал Госуслуг, ПФР России, МВД России, Мой налог, 2ГИС, Гос-Культура, Гос-Авто) [2].

В современном мире используют несколько видов IT-технологий (рис. 1).

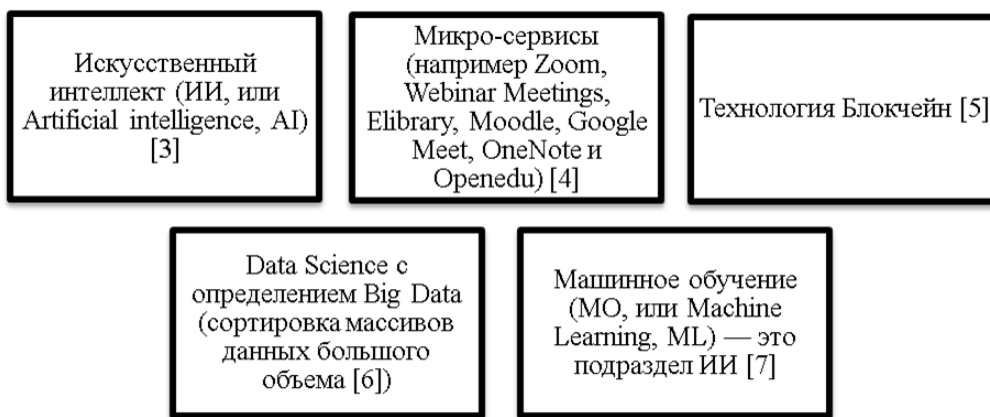


Рис. 1. Виды IT-технологий

Цифровые тренды активно вовлекаются в процессы трансформации системы образования. Образовательные организации используют цифровые технологии не только для организации учебного процесса, но также и научной и административной работы. По данным исследований НИУ ВШЭ, образовательная деятельность в цифровизации доминирует (рис. 2).

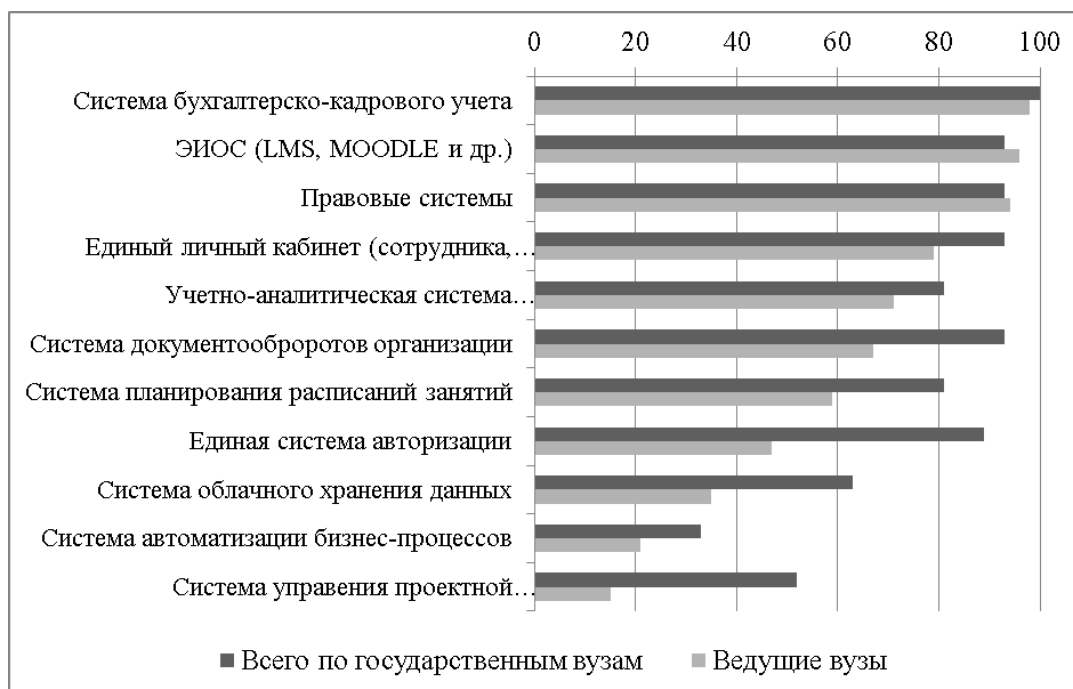


Рис. 2. Применение цифровых сервисов в образовательных организациях высшего образования (% от численности опрошенных руководителей IT-подразделений в государственных вузах) [3]

Также выделяют преимущества внедрение IT-технологий в образование, что, соответственно, помогает взглянуть на цифровое развитие общества:

1. В конкретных системах люди на базе искусственного интеллекта могут проводить необходимое число испытаний в опытах различных дисциплин и тестов в симуляциях [9].

2. IT-технологии предоставляют возможности общаться, взаимодействовать, выступать онлайн (дистанционно) на различных конференциях и мероприятиях, также оперативно обмениваться данным моментально в режиме реального времени, что способствует развитию коммуникационных навыков, или личных Soft skills (надпрофессиональные навыки) [10].

3. Автоматизация процесса минимизирует возникновение ошибки при создании заданий, проектов и оптимизирует объективное оценивание работ студентов.

4. Внедрения информационных решений способствует повышению цифровой грамотности населения, что позволяет эффективнее использовать инновационные системы [11].

Данные технологии в образование радикально меняют процесс обучения и улучшают интерактивные навыки подрастающего поколения.

Преимущества и проблемы, которые встречаются на пути внедрения IT решений в систему образования, представлены на рис. 3. Как видно из рисунка, проблемы на данном этапе доминируют и требуют скорейшего разрешения.



Рис. 3. Основные проблемы внедрения IT-технологий (составлено по [4, 5])

Необходимо учитывать все вышеперечисленные недостатки и ограничения IT-технологий для избегания стагнации в сфере развития информационных технологий и социального совершенствования общества. Достаточно серьезной проблемой является не столько материально-техническая оснащенность вузов, позволяющая интегрировать цифровые технологии в учебный процесс, сколько недостаточно развитые цифровые навыки преподавателей и их неготовность брать на себя дополнительную нагрузку, которая неизбежна при формировании электронной образовательной среды. В то же время, эксперты отмечают, что большинство преподавателей и профессоров (65 %)

способны применять обучающие программы по отдельным дисциплинам, по крайней мере, на базовом уровне. В то же время, лишь 46 % имеют опыт работы со статистическими пакетами программ, и только 38 % использовали программы для автоматизации документооборота. По результатам опроса преподавателей вузов, проведенного экспертами НИУ ВШЭ, получены следующие результаты (рис. 4).



*Рис. 4. Доля преподавателей вузов, определяющих свой уровень владения цифровыми навыками как продвинутый [3]*

Для успешной цифровизации образовательного процесса необходимо активно поддерживать внедрение и модернизацию технической инфраструктуры.

Во-первых, нужно постоянно проводить амортизацию оборотных средств (компьютеры, ноутбуки, моноблоки, электронные доски, сетевые средства и проекторы). Это позволит обеспечивать производительность, быстродействие и постоянный доступ системы к ресурсам на современном уровне.

Во-вторых, организация мероприятия с цифровой тематикой и повышение квалификации преподавателям и учителям способствует их эффективному вовлечению в образовательный процесс. Поддержка технической и инновационной грамотности важна для того, чтобы можно было максимально раскрывать возможности цифровых решений.

В-третьих, стоит создать открытый информационный центр поддержки и предоставить доступ всем людям, вовлеченным в учебный цикл, где возможно будет также в режиме реального времени задавать вопросы, искать необходимую информацию и решать проблемы и технические неполадки. Следовательно, образовательная работа станет проще и комфортнее для всех её субъектов [4, 7].

Сегодня высшие учебные заведения должны активно заниматься заменой западных технологий собственными, отечественными. По оценкам министерства образования и науки, более четырехсот связанных с министерством учебных заведений в 2022 году потеряли более 80 % лицензий на программное обеспечение, главным образом от западных компаний. Следовательно, одной из основных задач является создание общедоступного реестра отечественных программных решений для вузов [6].

Таким образом, внедрение IT-технологий в систему образования является необходимостью современного общества. Данные технологии существенно увеличивают скорость передачи данных и вовлеченность студентов в обучение.

Успешное внедрение цифровых технологий становится на сегодняшний день важным и неотделимым элементом дальнейшего развития всей системы образования в целом, что требует серьезных реформирований в традиционных методах обучения.

#### Литература

1. Федеральный закон от 27.07.2006 N 149-ФЗ (ред. от 02.11.2023) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»: [сайт]. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_61798/c5051782233acca771e9adb35b47d3fb82c9ff1c/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61798/c5051782233acca771e9adb35b47d3fb82c9ff1c/) (дата обращения: 18.12.2023). – Текст: электронный.

2. Перечень государственных информационных систем: [сайт]. – URL: <https://minvr.gov.ru/about/svedeniya-o-gosudarstvennykh-informatsionnykh-sistemakh/perechen-gosudarstvennykh-informatsionnykh-sistem/> (дата обращения: 18.12.2023). – Текст: электронный.

3. Масштабы и перспективы цифровизации образовательной, научной и административной деятельности в государственных вузах: [сайт]. – URL: [https://www.hse.ru/data/2023/04/18/2029435433/release\\_3\\_2023.pdf?ysclid=lqgl02qrv3598319298](https://www.hse.ru/data/2023/04/18/2029435433/release_3_2023.pdf?ysclid=lqgl02qrv3598319298) (дата обращения: 19.12.2023). – Текст: электронный.

4. Искусственный интеллект в образовании: [сайт]. – URL: <https://skillbox.ru/media/education/iskusstvennyu-intellekt-v-obrazovanii-izuchaem-realnuyu-praktiku/> (дата обращения: 18.12.2023). – Текст: электронный.

5. Головкин, М. В. Цифровые тренды и трудовые ресурсы: анализ взаимосвязей / М. В. Головкин, В. А. Плотников // Ученые записки Международного банковского института. – 2022. – № 1(39). – С. 91-102.

6. Формирование цифровой грамотности обучающихся: Методические рекомендации для работников образования в рамках реализации Федерального проекта «Цифровая образовательная среда» / Авт.-сост. М. В. Кузьмина [и др.]. – Киров: ИРО

Кировской области, 2019. – 47 с.: [сайт]. – URL: [https://nsosh86.gosuslugi.ru/netcat\\_files/192/2589/Methodicheskie\\_rekomendatsii\\_po\\_formirovaniyu\\_tsifrovoy\\_gramotnosti.pdf](https://nsosh86.gosuslugi.ru/netcat_files/192/2589/Methodicheskie_rekomendatsii_po_formirovaniyu_tsifrovoy_gramotnosti.pdf) (дата обращения: 18.12.2023). – Текст: электронный.

7. Поддержка проектов «сквозных» цифровых технологий: [сайт]. – URL: [https://digital.gov.ru/ru/appeals/faq/394/?utm\\_referrer=https%3a%2f%2fyandex.ru%2f](https://digital.gov.ru/ru/appeals/faq/394/?utm_referrer=https%3a%2f%2fyandex.ru%2f) (дата обращения: 18.12.2023). – Текст: электронный.

8. Заруба, Д. С. Криптовалюта как объект налогообложения / Д. С. Заруба, О. А. Левшукова, И. В. Павлоградский // Вестник академии знаний. – 2023: [сайт]. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54262721> (дата обращения: 18.12.2023). – Текст: электронный.

УДК 004.8

### **Искусственный интеллект – друг или враг? Сравнение ИИ-технологий в нашей современной жизни**

Григорьев Артём Эдуардович, студент направления  
«Информационные системы и технологии»;

Гляненок Анастасия Андреевна, студент направления  
«Информационные системы и технологии»;

Захарова Любовь Васильевна кандидат социологических наук,  
доцент кафедры «Иностранные языки»

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

*Настоящая статья исследует использование искусственного интеллекта в различных областях человеческой деятельности, оценивая его достоинства, недостатки и потенциальные риски. Авторы рассматривают применение ИИ в бизнесе, медицине, образовании, маркетинг, автоматизации производства и другие, анализируя влияние на повседневную жизнь людей. Освещаются преимущества ИИ, такие как точность в принятии решений и снижение риска при выполнении определенных задач, а также негативные аспекты, включая высокую стоимость, потенциальные угрозы приватности и социальной несправедливости. Также рассматриваются риски проявления самоуправства машин и, как следствие, причинение необратимого ущерба человеческой цивилизации [1].*

Развитие технического прогресса привело к формированию искусственного интеллекта (ИИ) – комплекса программ, способных воспроизводить навыки человека:



планировать, решать конкретные задачи, информировать, а также обучаться и совершенствовать его функционирование по мере накопления объема проделанной работы.

Развитие систем и программного обеспечения искусственного интеллекта происходило в рамках и в процессе решения множества важных задач и вопросов [2]. Сегодня ИИ проникает во все сферы жизни и становится неотъемлемой частью современного общества.

Искусственный интеллект используется в бизнесе и финансах. Банки и кредитные учреждения используют искусственный интеллект для анализа кредитных рисков, определения цен на акции и прогнозирования экономических тенденций. Это позволяет им принимать более точные решения и улучшать свои финансовые показатели. Например, компания JP Morgan внедрила технологии машинного обучения и анализа данных для разработки систем прогнозирования рыночной активности и определения оптимальных инвестиционных стратегий [3].

Маркетинг. ИИ используется в целевой рекламе путем анализа поведения пользователей в Интернете, их интересов, поисковых запросов и других данных для показа релевантной рекламы. ИИ также может помочь в стратегическом планировании. Компания Netflix использует алгоритмы машинного обучения для анализа данных о том, как пользователи смотрят контент, чтобы рекомендовать им фильмы и сериалы, наиболее соответствующие их предпочтениям [4].

Медицина. Для этой области применения технологий искусственного интеллекта особенно актуальна его способность собирать, анализировать информацию и делать логические выводы. Благодаря этому ИИ может использоваться для диагностики, записи данных и выполнения функции фельдшера. Помимо этих обязанностей, на ИИ можно возложить определение предрасположенности пациента к развитию конкретных патологий, прогнозирование течения хронических заболеваний и раннее выявление заболеваний. Также совершенно здоровые люди могут использовать сервисы искусственного интеллекта для консультирования и мониторинга состояния своего здоровья. В настоящее время активно развиваются отечественные технологии Botkin.AI и «Третье мнение». Botkin.AI позволяет определить злокачественные новообразования на ранних стадиях (когда размер новообразования не превышает 1 см) [5]. Цель «Третьего мнения» состоит в создании инновационных ИИ-сервисов для повышения системы здравоохранения (осуществление мониторинга пациентов с помощью ИИ, обнаружение семиотических признаков на рентгенах, КТ и

МРТ, обнаружение симптомов диабетической ретинопатии на снимках глазного дна) [6].

Образование. Сегодня перед сектором образования поставлена задача по развитию адаптивного обучения и прокторинга. С помощью ИИ планируется автоматизировать подбор учебных материалов и методов обучения, подходящих конкретному ученику, чтобы облегчить процесс усвоения материала для всех категорий учащихся. Функция прокторинга – наблюдение за студентами во время экзаменов. Роботу поручено следить за происходящим, записывая ряд факторов, которые он не может «видеть» вокруг веб-камеры. Хотя, надо признать, не все в сфере образования можно доверить технологиям. Большую роль в обучении играет личность преподавателя, его харизма, умение строить настоящие отношения с учениками. Платформа Coursera использует технологии машинного обучения для анализа данных обучения студентов и предлагает персонализированные рекомендации курсов и материалов на основе уникальных потребностей каждого учащегося [7].

В этой области мощный искусственный интеллект меняет подходы компаний к разработке новых продуктов, позволяя инженерам быстро исследовать пространство для проектирования и оценивать десятки кандидатов, отвечающих требованиям производительности и производства. Компания GeneralElectric (GE) применяет алгоритмы машинного обучения для мониторинга состояния оборудования на своих предприятиях, что позволяет предсказывать потенциальные отказы и проводить профилактические работы до возникновения проблем [8].

Обслуживание клиентов. ИИ может анализировать взаимодействие со службой поддержки клиентов, быстро находить информацию, необходимую агентам службы поддержки для решения проблем, и отображать ее на экранах компьютеров. ИИ также может помочь в диалоговой аналитике и роботизированной автоматизации. Компания Zendesk предлагает интегрированную систему поддержки, которая использует технологии машинного обучения для анализа запросов клиентов и предоставляет агентам поддержки рекомендации по наилучшим способам решения проблем.

Научные исследования. ИИ может ускорить исследовательские процессы и этапы, такие как сбор и обработка данных, проверка гипотез и даже их генерация с помощью нейронных сетей. В 2020 году исследователи из MIT разработали нейросетевую систему под названием «Timecraft», способную анализировать огромные библиотеки научных статей и выделять связи между различными исследованиями и открывать новые научные концепции [9].

Дом. Многие слышали о существовании «умных» домов. С помощью системы «умный дом» становится проще контролировать и экономить энергоресурсы и расходные материалы. Функция одновременно выполняет задачи прачки, уборщицы, охранника, курьера, домработницы и дворецкого. Компания «Яндекс» разработала систему «Алиса» для умного дома. Этот голосовой помощник может управлять устройствами в доме, открывать двери, включать свет, регулировать температуру, запускать бытовую технику и многое другое. Она также может отвечать на вопросы, например, давать информацию о погоде, заказывать такси, просматривать расписание общественного транспорта и выполнять другие задачи [10].

Преимущества и недостатки использования ИИ приведены в сравнительной табл. 1.

Таблица 1

Преимущества и недостатки ИИ

Преимущества	Недостатки
Никакой человеческой ошибки. Машины принимают точные решения на основе предварительной информации, которую они собирают с течением времени, применяя определенные наборы алгоритмов. Это уменьшает погрешность и увеличивает точность.	Машины искусственного интеллекта имеют высокую стоимость. Глядя на сложность управления машиной искусственного интеллекта, становится понятно, что инициативы, основанные на искусственном интеллекте, могут оказаться финансово недешевыми. Создание машины, способной имитировать человеческую логику и рассуждения, требует много ресурсов и времени, что делает его довольно дорогим.
Нулевой риск. Использование машин в задачах, которые могут представлять риск для людей, может быть весьма полезным. Например, предоставление машинам возможности справляться со стихийными бедствиями может привести к более быстрому восстановлению и снизить нагрузку на человеческие команды.	Машинам не хватает креативности. Проблема с машинами в том, что они работают так, как запрограммировано. Хотя искусственный интеллект сделал машины способными к обучению с течением времени, они не могут научиться мыслить нестандартно. Машина всегда анализирует ситуацию с точки зрения заранее введенных данных и предыдущего опыта. Машине трудно стать творческой.
Круглосуточная доступность. Машины не устают и могут работать без перерывов, а также повторять одну и ту же информацию бесконечное количество раз.	Машины искусственного интеллекта могут уничтожить рабочие места. ИИ заменяет большинство повторяющихся задач ботами. Потребность во вмешательстве человека снижается, поскольку предприятия стремятся к более безопасной и безошибочной работе. Это привело к потере многих рабочих мест, которые когда-то были широко распространены. Должностные обязанности, такие как простой ввод данных или общение с клиентами в первой точке контакта, т.е. поддержка чата теперь осуществляется ботами, которые могут делать это более эффективно и круглосуточно.

<p>Машины с искусственным интеллектом могут быстро принимать решения. Использование искусственного интеллекта и других технологий может помочь создать машины, способные принимать решения на основе данных, но гораздо быстрее, чем люди. ИИ лишен каких-либо эмоций и предвзятых взглядов. Когда человек принимает решение, оно во многом определяется эмоциями. С другой стороны, машина очень практична и рациональна в своем подходе. Это позволяет принимать более точные и ориентированные на результат решения.</p>	<p>Машины ИИ не понимают этики. Еще одна человеческая характеристика, которую трудно интегрировать в машину, – это этика. Машине не хватает морали, ее сложно спроектировать и передать с помощью технологий. Искусственный интеллект может помочь предприятиям сократить время, необходимое для выполнения монотонной задачи, но ожидать, что машина будет следовать этическим ценностям, – не лучшая идея.</p>
---	--

Заключение. В целом, ИИ – это технология, которая потенциально может изменить мир, и в будущем ее применение будет только расширяться. Однако необходимо учитывать потенциальные риски и разрабатывать ИИ с соблюдением этических и правовых норм, чтобы обеспечить безопасность и благополучие всех людей.

#### Литература

1. Бостром, Н. Искусственный интеллект: Этапы. Угрозы. Стратегии / Н. Бостром; перевод с английского С. Филина. – Москва: Манн, Иванов и Фербер, 2016. – 496 с.
2. Люгер, Дж. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Перевод с английского Н. И. Галаган, К. Д. Протасова. – М.: Вильямс, 2003. – 864 с.
3. Дигнан, Л. JPMorgan Chase: стратегия цифровой трансформации, искусственного интеллекта и данных создает генеративный искусственный интеллект / Ларри Дигнан. – Constellation Research: [сайт]. – URL: <https://www.constellationr.com/blog-news/insights/jpmorgan-chase-digital-transformation-ai-and-data-strategy-sets-generative-ai> (дата обращения: 24.11.2023). – Текст: электронный.
4. Как Нетфликс использует ИИ – Argoid Analytics Inc.: [сайт]. – URL: <https://www.argoid.ai/blog/netflix-ai> (дата обращения: 24.11.2023). – Текст: электронный.
5. Последние новости – Botkin.AI: [сайт]. – URL: <https://botkin.ai/news> (дата обращения: 24.11.2023). – Текст: электронный.
6. Технологии искусственного интеллекта для системы здравоохранения – ООО «Платформа Третье Мнение»: [сайт]. – URL: <https://thirdopinion.ai/#rec354556522> (дата обращения: 22.11.2023). – Текст: электронный.

7. Coursera объявляет о новом контенте и инновациях в области искусственного интеллекта – CourseraБлог: [сайт]. – URL: <https://blog.coursera.org/trusted-content-and-ai-innovations-to-drive-organizational-agility-for-learning-leaders/> (дата обращения: 21.11.2023). – Текст: электронный.

8. GE исследования. Искусственный интеллект – GE Research: [сайт]. – URL: <https://www.ge.com/research/technology-domains/artificial-intelligence> (дата обращения: 25.11.2023). – Текст: электронный.

9. Как ученые используют ИИ – The Economist: [сайт]. – URL: <https://www.economist.com/science-and-technology/2023/09/13/how-scientists-are-using-artificial-intelligence> (дата обращения: 27.11.2023). – Текст: электронный.

10. Умный дом – Яндекс: [сайт]. – URL: <https://yandex.ru/alice/smart-home> (дата обращения: 27.11.2023). – Текст: электронный.

УДК 004.9

**Автоматизация процесса поддержания влажности почвы  
с использованием API прогноза погоды и датчиков влажности**

Коломиец Максим Андреевич, студент направления

«Информационные системы и технологии»;

Мотков Александр Геннадьевич, старший преподаватель кафедры

«Информационные системы и технологии»

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

*В статье рассматривается возможная реализация системы дождевальной машины, датчика влажности почвы и API прогноза погоды для оптимального использования ресурсов.*

Осадки, выпадающие на земную поверхность, подвергаются испарению как непосредственно из почвы (физическое испарение), так и через растения (транспирация). Влага также испаряется с поверхности растений и других объектов (вода, задерживающаяся на их поверхности после дождя, росы, снега или инея). Эти разнообразные процессы испарения, согласно гидрологической терминологии, объединяются под общим термином эвапотранспирация, что означает «суммарное испарение». Особенный интерес для агрономов представляет физическое испарение,

являющееся наиболее заметной составляющей непродуктивных потерь почвенной влаги.

Для поддержания необходимого уровня влажности почвы используют дождевание – один из способов орошения, используемых на сложных рельефах и местах с недостаточным естественным увлажнением. Искусственное дождевание с использованием дождевальных машин различного типа, схоже по воздействию на дождь небольшой интенсивности, но так как длительность его регулируется с учетом установки оптимального режима – это способствует созданию наилучших условий для роста и развития растений [1].

Тем не менее, дождевальные машины хоть и полезны, но имеют одну особенность, которую нужно учитывать при подборе их параметров работы – фиксированное потребление количества воды за единицу времени. Эта особенность заставляет задуматься об эффективном использовании потребляемого объема воды. Вместе с этим не стоит забывать и о наличии погодных условий, которые также могут внести свой вклад в орошение сельскохозяйственных культур.

Анализ влажности почвы и погодных условий является ключевым моментом определения параметров работы дождевальной машины. Анализ необходимых данных для работы можно реализовать с помощью датчиков.

Для получения показателей влажности почвы используют датчики влажности. Они выполнены в виде вилки с двумя электродами, которыми погружается в грунт. При подключении питания на электродах создаётся напряжение. Если почва сухая, её сопротивление велико и через датчик между электродами протекает слабый ток. Если земля влажная – её сопротивление становится меньше, а ток датчика между электродами соответственно увеличивается.

Узнать о погодных условиях можно при помощи различных измерительных приборов: термометр, барометр, гигрометр и другие. Но есть и другой способ, позволяющий получить достоверные данные – использование API прогноза погоды. Принцип действия такого API прост: со стороны клиента отправляется GET-запрос, в результате которого пользователь получает большое количество метеорологической информации [2]. Среди этого массива данных можно узнать информацию не только об актуальных погодных условиях, но и о предстоящих. Это, в свою очередь, позволит поддерживать уровень влажности почвы с учётом будущих погодных условий. Подобные API можно найти в свободном доступе. Главное – смотреть на число доступных запросов, так как разные разработчики предоставляют разное количество запросов в единицу времени.

Работа системы, состоящей из дождевальнoй машины, датчика влажности почвы и АРІ прогноза погоды, разделяется на несколько этапов.

В первом этапе программа дождевальнoй машины собирает данные о погодных условиях и состоянии влажности почвы. Этим данным в ходе действия программы будет придан весовой коэффициент, суммарный результат которого будет влиять на состояние дождевальнoй машины.

После получения всех данных происходит расчет интенсивности испарения влаги из почвы и поверхности листьев. Интенсивность испарения позволит понять примерное количество воды, необходимое для поддержания нужного уровня влажности.

Для расчёта интенсивности испарения влаги использовалось комбинированное уравнение Пенмана-Монтейта [3], которое имеет следующий вид.

$$\gamma_{ET} = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left[ 1 + \frac{r_s}{r_a} \right]}, \quad (1)$$

где  $\gamma_{ET}$  – скрытый тепловой поток;  $R_n$  – чистая радиация;  $G$  – тепловой поток почвы;  $e_s - e_a$  представляет дефицит давления паров в воздухе (величина равная влажности воздуха);  $\rho_a$  – средняя плотность воздуха при постоянном давлении;  $c_p$  – удельная теплота воздуха;  $\Delta$  – зависимость давления насыщенного пара от температуры;  $\gamma$  – психрометрическая постоянная;  $r_s$  и  $r_a$  – совокупное поверхностное и аэродинамическое сопротивление.

Метод Пенмана–Монтейта включает все параметры, управляющие обменом энергии и соответствующий скрытый поток тепла с однородного растительного покрова. Большинство параметров могут быть измерены или рассчитаны из метеоданных. Уравнение может быть использовано для прямого расчета эвапотранспирации любой культуры при специфическом поверхностном и аэродинамическом сопротивлении.

Ниже представлены элементы, участвующие при расчете интенсивности испарения.

Перенос тепла и паров воды с испаряющей поверхности в воздух поверх крон определяется аэродинамическим сопротивлением:

$$r_a = \frac{\ln \left[ \frac{z_m - d}{z_{om}} \right] \ln \left[ \frac{z_h - d}{z_{oh}} \right]}{k^2 + u_z}, \quad (2)$$

где  $r_a$  – аэродинамическое сопротивление [с/м<sup>-1</sup>];  $z_m$  – высота измерения ветра [м];  $z_h$  – высота измерения влажности [м];  $d$  – высота смещения нулевой плоскости [м];  $z_{om}$  – длина шероховатости, определяющая передачу момента [м];  $z_{oh}$  – длина

шероховатости, управляющая переносом тепла и пара [м];  $K$  – постоянная фон Кармана, 0,41;  $u_z$  – высота ветра на высоте  $z$  [м/с<sup>-1</sup>].

Принимая высоту растений постоянной, равной 0,12 м и стандартную высоту измерения скорости ветра, температуры и влажности воздуха 2 м ( $z_m = z_h = 2$  м), аэродинамическое сопротивление  $r_a$  становится равным:

$$r_a = \frac{208}{v},$$

где  $v$  – скорость ветра на высоте 2 метра;

$$r_s = \frac{r_1}{0,5Th},$$

где  $h$  – высота культуры [м],  $T$  – интервал времени [ч].

Сопротивление испарения одного листа имеет значение около 100 [с/м<sup>-1</sup>] в условиях хорошего увлажнения. Принимая высоту культуры 0,12 м, сопротивление испарения поверхности для эталонной травяной поверхности становится равным:

$$r_s = \frac{100}{0,5(24)(0,12)} \approx 70 \text{ [с/м}^{-1}\text{]}$$

Психрометрическая постоянная определяется из формулы ( $\gamma$ ):

$$\gamma = \frac{c_p P}{\varepsilon \lambda} = 0,665 \times 10^{-3} P, \quad (3)$$

где  $\gamma$  – психрометрическая постоянная [кПа];  $P$  – атмосферное давление [кПа],  $\lambda$  – скрытая теплота парообразования, 2,45 [МДж/кг<sup>-1</sup> С<sup>-1</sup>];  $\varepsilon$  – отношение молекулярных весов водяного пара и сухого воздуха = 0,622;  $c_p$  – удельное тепло при постоянной температуре 1,013 × 10<sup>-3</sup> [МДж/кг<sup>-1</sup> С<sup>-1</sup>].

Почвенный тепловой поток ( $G$ ):

$$G = c_s \frac{T_i + T_{i-1}}{\Delta t} \Delta z, \quad (4)$$

где  $G$  – почвенный тепловой поток  $\left[ \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2} \text{сут}^{-1} \right]$ ;  $c_s$  – тепловая емкость почвы [МДж/м<sup>-3</sup> С<sup>-1</sup>];  $T_i$  – температура воздуха во время  $i$  [С]  $\left[ \frac{\text{МДж}}{\text{кг}^{-1}} \text{С}^{-1} \right]$ ;  $T_{i-1}$  – температура воздуха во время  $i-1$  [С];  $\Delta t$  – продолжительность временного интервала [сут];  $\Delta z$  – эффективная глубина почвы [м].

Поскольку температура почвы запаздывает за температурой воздуха, следует рассматривать среднюю температуру при определении суточного теплового потока, т. е.  $\Delta t$  должно превышать одни сутки. Эффективная глубина почвы  $\Delta z$  равна лишь 0,10 - 0,12 м для интервала в один или несколько дней, но может быть и 2 м для периодов, измеряемых месяцами. Почвенный тепловой поток зависит от минерального состава почвы и ее влажности.



Остальные данные для определения интенсивности испарения влаги являются аналогами показателей с датчиков, либо табличными данными.

После подсчёта интенсивности испарения получается число, отражающее примерное количество влаги, необходимое для поддержания влажности почвы в нужных границах.

Последним этапом будет передача значений дождевальнoй машине. В зависимости от погодных условий и состояния почвы переменным внутри программы придаётся вес, сумма которых будет влиять на передаваемые данные дождевальнoй машине. Условно вес влажности почвы можно разделить на несколько значений: 1 – показатель недостатка влаги, 0,5 – показатели в пределах нормы, 0 – избыток влаги. Аналогично представлены весовые коэффициенты и для погодных условий, опираясь на данные интенсивности испарения: 0, если интенсивность испарения меньше 3000 миллилитров в час; 0,5 – интенсивность испарения больше или равна 6000 миллилитров в час; 1 – интенсивность испарения больше 9500 миллилитров в час. Дополнительно полученные веса умножаются на коэффициенты 0,6 для влажности почвы и 0,4 для погодных условий.

После получения суммы полученных весовых коэффициентов принимается решение о выключении, включения машины или изменении её скорости движения. Дождевальнoй аппарат работает, если суммарный коэффициент больше 0,5. В этом случае скорость машины считается как частное количества потребляемой воды дождевальнoй машиной на интенсивность испарения.

Таким образом, подобная система способна анализировать внешние факторы, такие как влажность почвы и данные API прогноза погоды, для дальнейшего принятия решения о количестве необходимой в данный момент влаги с учётом возможных будущих изменений погодных условий. Данный функционал позитивно скажется как на почвенных ресурсах, предотвращая вымывание полезных веществ лишним количеством поступающей влаги, так и состояние сельскохозяйственных культур.

#### Литература

1. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е доп. и перераб. изд. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
2. Арно Лоре Проектирование веб-API / Перевод с английского Д. А. Беликова. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 440 с.
3. Food and Agriculture Organization of the United Nations. – Rome, 1998. – 300 p.

## Приложения поиска маршрута в трехмерном пространстве

Колпаков Егор Леонидович, 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

*Во многих организациях с большим ежедневным потоком людей существует проблема нахождения местоположения, которую можно решить при помощи программных приложений, в том числе и мобильных. В статье приведены результаты проектирования программного приложения, которое позволит пользователям создавать трехмерные пространства, редактировать их и отображать маршруты между созданными точками интереса.*

В настоящее время на рынке программных продуктов представлено множество программных приложений, позволяющих осуществлять поиск маршрута, ниже представлен обзор некоторых из них.

– Google Maps – самое популярное приложение для геолокации на Android. Оно предлагает широкий спектр функций, включая поиск мест, навигацию, прокладывание маршрутов и отображение актуальной информации о трафике.

– Yandex.Maps – альтернативное приложение для геолокации на Android, предлагающее похожий набор функций как Google Maps. Оно предлагает навигацию, поиск мест и прокладывание маршрутов. Благодаря партнерству с сервисом «Яндекс.Такси», Yandex.Maps позволяет заказывать такси прямо из приложения.

– 2ГИС – приложение для прокладывания коротких пеших маршрутов и ориентации на местности. Использует подробную актуализируемую картографическую основу, содержащую сведения о переходах, шлагбаумах, препятствиях на пути, внутриквартальных проездах и т. д.

Видится актуальной разработка программного приложения, которое позволит различным категориям пользователей определять оптимальные маршруты в сложных трехмерных пространствах. Такое приложение должно иметь следующий функционал:

– возможность создания и редактирования карт для пользователей, с добавлением точек маршрута;

- возможность выбора карт и необходимых точек интереса, до которых хочет добраться пользователь;
- демонстрация трёхмерной сцены, на которой будут отображаться все объекты и маршруты;
- реализация алгоритма поиска маршрута с помощью двумерных массивов.

Для описания функционального предназначения и границ системы можно создать диаграмму вариантов использования системы (прецедентов), взаимодействующих с заинтересованными сторонами или внешними системами [1]. Для эффективного создания диаграмм прецедентов оптимальным выбором является использование бесплатного web-сервиса Draw.io. Разработанная диаграмма прецедентов представлена на рис. 1.

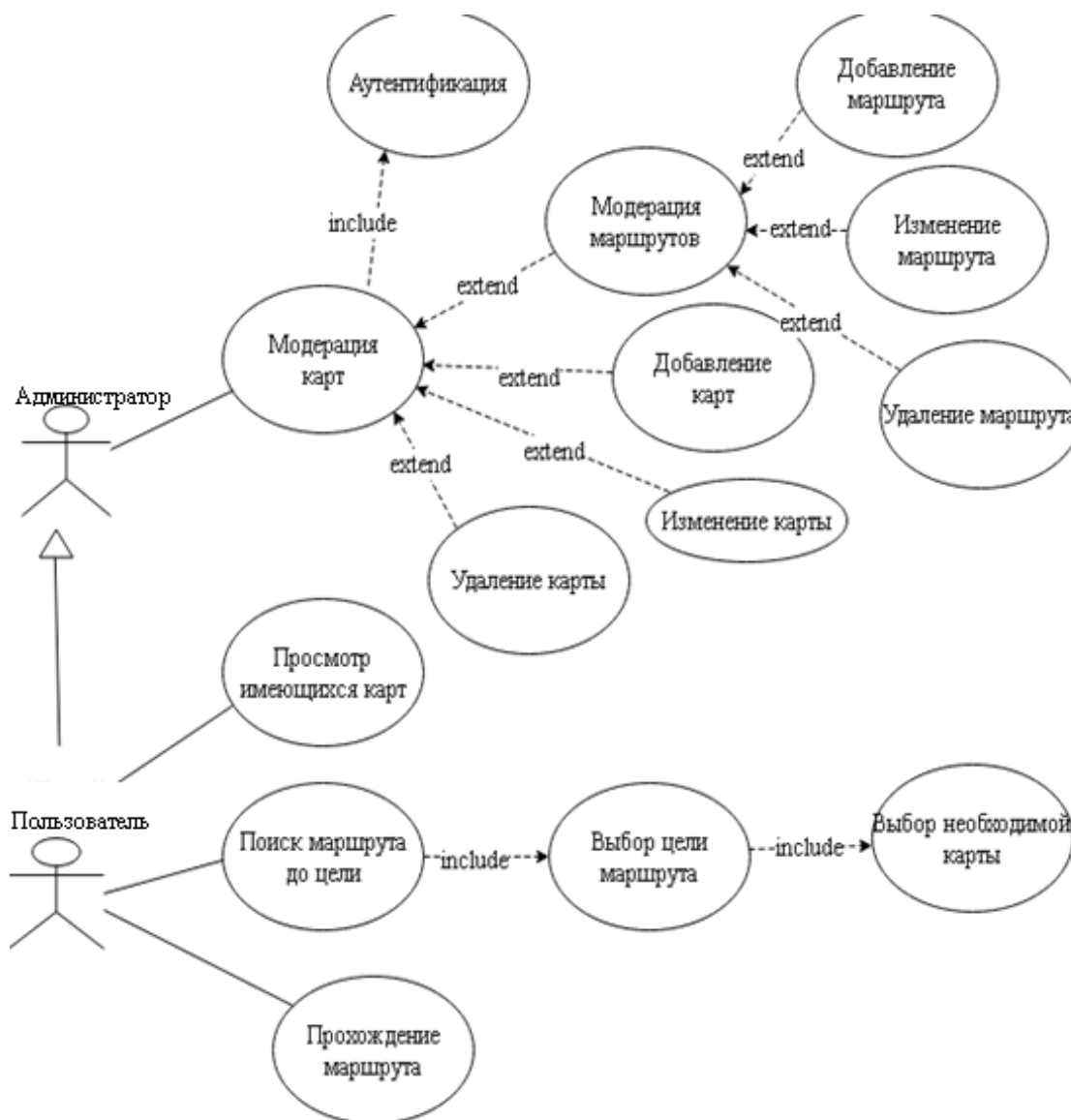


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования приложения

Эскизы экранных форм приложения, которые называются прототипами, представляют собой упрощенное изображение интерфейса, ориентированное в основном на функциональные аспекты, не обращая особого внимания на визуальное оформление и стилизацию. Однако функциональное содержание прототипа полностью соответствует функционалу конечной версии интерфейса [2].

Для реализации прототипов необходимо описать пользовательские сценарии, которые будут использоваться чаще всего, то есть список задач, которые может выполнять пользователь в рамках интерфейса. Для пользователя главным в приложении является возможность поиска с его помощью маршрута, администратор приложения может всё то, что могут пользователи, но также имеет возможность изменения карт и маршрутов:

1) Пользователь:

- выбирает необходимую карту;
- выбирает точку назначения;
- инициирует функцию поиска маршрута;
- может рассмотреть модель и созданный маршрут.

2) Администратор:

- проходит авторизацию на сайте;
- создает новые карты;
- редактирует существующие карты.

На рис. 2 изображен прототип страниц редактирования карт. Пользователь может выбрать нужный инструмент на панели справа и изменить выбранную карту.

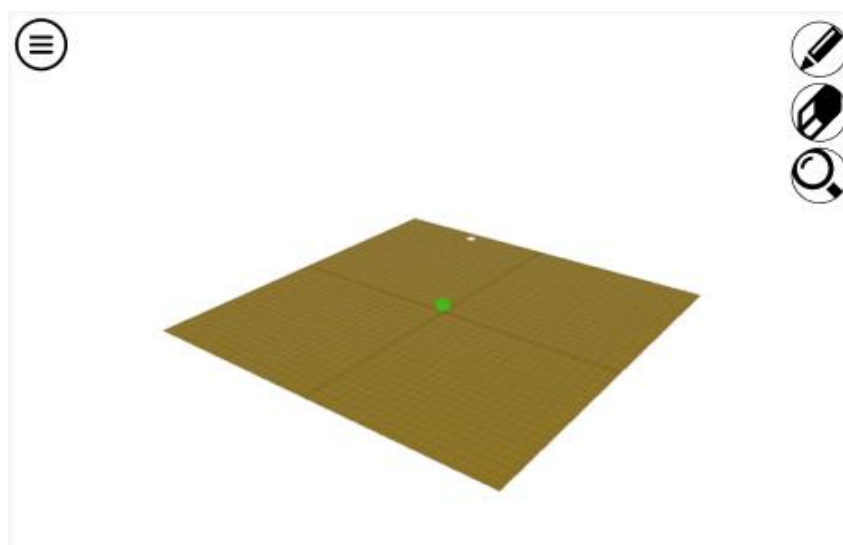
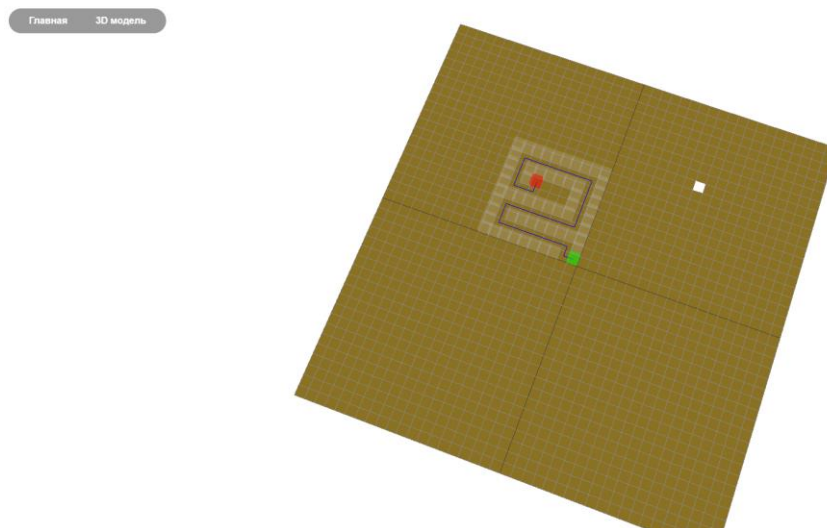


Рис. 2. Режим редактирования карты

На рис. 3 изображен прототип режима поиска маршрута, на котором можно увидеть начальную и конечную точки маршрута, в виде зелёной и красной точек, соответственно. Полупрозрачные точки представляют собой стены, которые блокируют путь. Синяя линия показывает маршрут от начальной до конечной точки по кратчайшему пути.



*Рис. 3. Режим поиска маршрута*

Программное приложение позволит автоматизировать процесс поиска маршрута и позволит пользователям лучше ориентировать в незнакомых для себя обстоятельствах.

#### Литература

1. Завьялов, А. В. Диаграммы UML для анализа и проектирования информационных систем: учебно-методическое пособие / А. В. Завьялов. – М.: РТУ МИРЭА, 2021. – 65 с.
2. Малышев, К. В. Построение пользовательских интерфейсов / К. В. Малышев. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 268 с.

### **Искусственный интеллект и умный дом, умный город**

Михеев Иван Васильевич, старший преподаватель кафедры

«Информатика и управление в технических системах»;

Маркин Вячеслав Витальевич, студент направления

«Информатика и управление в технических системах»

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

*Статья посвящена теме искусственного интеллекта и его связи между умным домом и городом, а также их влиянию на жизнь человека. Будут рассмотрены преимущества и недостатки использования умных домов и городов для человека. Также будет рассмотрено влияние ИИ на умные технологии и сравнение старых и современных умных домов. Кроме того, будет произведён анализ количества населения умных городов, рынка умных технологий и примеры создания умных городов.*

На протяжении всей истории, человечество развивает свои технологий, позволяя людям делать то, что ранее казалось невозможным. Однако конечная цель технологического развития является упрощение жизни человека. И одним из проявлений этого утверждения является создание концепции умного дома, умного города, использование в образовании, в производстве искусственного интеллекта, которые и будут рассматриваться в данной статье [5, 6, 8, 9, 10]. На сегодняшний день данная тема крайне популярна из-за удешевления и развития цифровых устройств, а также программного обеспечения.

Перед непосредственным рассмотрением темы умных домов, городов и ИИ, сначала стоит рассказать о том, на чем базируются выше упомянутые вещи, а именно – на умных устройствах. Умное устройство – это устройство, взаимодействующее с другими вещами через беспроводную сеть или интернет, имеющее различные датчики и цель которого подстраиваться под предпочтения пользователя и внешние условия. Умные устройства позволяют упростить жизнь человека, выполняя некоторую рутинную работу за него. Это может быть умная колонка, датчики движения или вовсе лампа. Вообще, умные устройства можно разделить на самодостаточные и зависимые. Самодостаточные устройства могут работать независимо от наличия других умных вещей и управляться напрямую (например, Яндекс станция), зависимые же ровно наоборот, не могут использоваться без централизованной системы управления (умные

лампы, к примеру). Тем не менее, преимущества использования умной техники наиболее проявляются в связке с другими устройствами.

Умный дом – это дом, в котором установлены автоматизированные системы управления, позволяющие контролировать и управлять различными вещами в доме, такими как освещение, отопление, кондиционирование воздуха, безопасность, готовку пищи и другие вещи [1]. По сути, умный дом представляет из себя грамотно организованную связку умных устройств, при которой должно выполняться главное условие – наличие центральной системы управления этими устройствами [2]. Центральной системой умного дома называют хабом или контроллером, которые обычно поставляются в комплекте с другими устройствами умного дома или покупаются отдельно. Управление экосистемой дома может производиться через телефон, колонку, компьютер или даже пульт.

С недавних пор началось активное развитие искусственного интеллекта. Искусственный интеллект – это универсальный термин для систем, выполняющих сложные задачи, которые когда-то требовали участия человека, например, общение с человеком на естественном языке. Ключевая особенность ИИ от обычных алгоритмов является возможность обучаться на наборах данных и предсказывать поведение событий.

Искусственный интеллект играет важную роль в умных домах, так как он может управлять различными системами дома автоматически и по сути, именно эта технология стала переломным моментом в развитии этого рынка. ИИ может анализировать данные с различных датчиков и устройств, чтобы принимать более эффективные решения по управлению системами умного дома. Кроме того, ИИ может обучаться предпочтениям и поведению жильцов и предлагать рекомендации для улучшения опыта использования, например, предложив музыку на фон. К примеру, он может автоматически настраивать освещение и температуру в соответствии с предпочтениями человека. ИИ также может интегрироваться с голосовыми помощниками Siri, Alex и Google Assistant, чтобы люди могли управлять системами умного дома голосом [3]. Ещё одним примером работы ИИ в умном доме можно заметить на роботах-пылесосах, которые изучают местность дома и реагируют на разные раздражители.

Тем не менее, организация системы умного дома имеет как ряд преимуществ, так и недостатки. Стоит начать с преимуществ:

- 1) управление различными устройствами дистанционно;
- 2) повышение комфорта жизни;

- 3) повышение ценности дома при продаже;
- 4) улучшение безопасности;
- 5) оптимизация использования ресурсов, например, электроэнергии или воды.

Недостатки умного дома:

- 1) высокая стоимость установки и обслуживания системы;
- 2) необходимость постоянного подключения к Интернету;
- 3) необходимость обучения пользователей использованию системы управления;
- 4) ограниченная совместимость с различными устройствами;
- 5) возможность программного взлома систем умного дома, возможность слежки.

Согласно данным исследования объема рынка устройств умного дома от НТЦ ФГУП «ГРЧЦ» [4], в 2021 году общие затраты в данном сегменте составили 104,4 млрд долларов, в 2022 году 126,1 млрд долларов, а в 2023 прогнозируется увеличение рынка до 146,7 млрд долларов. Тенденция развития рынка положительная, в основном люди покупают умную бытовую технику, устройства управления и связи, а также системы безопасности.

Следующей рассматриваемой вещью в данной работе является концепция умного города. Умный город – это город, который использует ИИ и другие технологии для управления своей инфраструктурой и услугами, такими как транспорт, энергетика, коммуникации, здравоохранение и т. д. [5]. Умный город должен иметь развитую цифровую инфраструктуру, быть связанным между собой и иметь систему управления.

В умных городах искусственный интеллект играет огромную роль. Именно благодаря ИИ стало возможным организовать систему беспилотного транспорта и роботизированной доставки, поскольку во время передвижения по дорогам, машине нужно понимать пространство и объекты в нем [6]. Искусственный интеллект может отвечать за управление светофорами, учитывая степень загруженности трафика в точках города. Искусственный интеллект может использоваться в камерах слежения, чтобы распознавать преступников и предпринимать нужные действия [7]. Кроме того, ИИ может использоваться для автоматического обслуживания клиентов по вопросам подачи заявлений в различные органы (подача документов через интернет).

Самыми популярными примерами умных городов можно отнести:

- Сингапур: является одним из самых умных городов в мире. В городе используются различные технологии ИИ, такие как беспилотный транспорт, датчики загруженности дорог, генерация цифровой модели города, системы контроля за загрязнением воздуха и система управления отходами. Также в данном городе часть электроэнергии обеспечивают солнечные панели.



- Пекин: умный город, в котором была решена проблема нехватки мест для автомобилей благодаря системам умной парковки, имеющих много беспроводных наземных и подземных датчиков. Главным производителем таких датчиков является компания Nedap.

- Иннополис: умный город, в котором была организована доставка еды и небольших товаров с помощью роботов, а также реализованы беспилотные такси и погрузчики. Данный город расположен в России под Казанью и ориентирован для проживания IT специалистов.

Перейдем к преимуществам умного города:

- 1) улучшение качества обслуживания граждан;
- 2) эффективное использование природных ресурсов;
- 3) эффективное управление городской инфраструктурой;
- 4) улучшение безопасности;
- 5) стимуляция развития инноваций.

Недостатки умных городов:

- 1) требование большого вложения средств на этапе строительства;
- 2) потенциальная уязвимость к кибер-угрозам;
- 3) нарушение конфиденциальности личной жизни граждан;
- 4) сомнительная полезность в некоторых сферах деятельности;
- 5) Сложность освоения технологий некоторыми гражданами.

Также было проведено исследование на влияние количества населения городов и потенциальной возможности стать умным городом. Было рассмотрено 20 известных умных городов и подсчитано их население на период 21 декабря 2023 года. Данные приведены в табл. 1.

Из приведённых выше данных можно сделать вывод, что размер населения города не играет ключевой роли в создании инфраструктуры умного города, поскольку смысл её создания заключается в решении определённых проблем города или проведении экспериментов. Например, в Пекине с численностью в 21,5 млн человек, существует проблема с парковкой автомобилей, и умные технологии позволяют решить её. В тоже время есть новые города, в которых создается умная инфраструктура сразу, для обеспечения проживания богатого слоя населения или работников IT секторов. Примером такого города можно назвать Иннополис с численностью 3500 человек, где большая часть людей работает в IT секторе.

Подсчет количества населения двадцати умных городов

Город	Население (чел.)
Сингапур	5454000
Цюрих	402762
Осло	634293
Тайбэй	2646000
Лозанна	137810
Хельсинки	631695
Копенгаген	602481
Женева	198979
Окленд	1657000
Бильбао	345821
Амстердам	821752
Сидней	5312000
Пекин	21540000
Токио	13960000
Иннополис	4589
Абу-Даби	1450000
Чикаго	2697000
Монреаль	1780000
Кремниевая долина	2000000

В целом, использование искусственного интеллекта в умных домах и городах может значительно улучшить качество жизни людей и повысить эффективность городской инфраструктуры. Однако, необходимо учитывать риски, связанные с кибербезопасностью, конфиденциальностью данных и доступностью технологий. Для успешной реализации умных городов требуется активное участие государства, а также достаточное финансирование и инфраструктура. На данный момент решения умных городов и домов требуют доработок и что самое главное – удешевления технологий. Однако данная сфера развивается с каждым днём.

#### Литература

1. Богданов, С. В. «Умный дом» / С. В. Богданов. – М: СПб.: Наука и Техника, 2011. – 180с.
2. Давиденко, Ю. Н. 500 схем для радиолюбителей. Современная схемотехника в освещении. Эффективное электропитание люминисцентных, галогенных ламп, светодиодов, элементов «Умного дома» / Ю. Н. Давиденко // Наука и техника. – 2008. – 320 с.

3. Дворянкин, О. А. Голосовой помощник в интернете. Куда ведут нас информационные технологии / О. А. Дворянкин // Молодой ученый. – 2021. – № 18(360). – С. 17-24.
4. Рынок технологий Умного дома 2021 г.: [сайт]. – URL: [https://rdc.grfc.ru/2022/02/smart\\_home\\_market](https://rdc.grfc.ru/2022/02/smart_home_market) (дата обращения: 12.12.2023). – Текст: электронный.
5. Лагутенков А. «Умный город»: от концепции к воплощению: [сайт]. – URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/34224/> (дата обращения: 12.12.2023). – Текст: электронный.
6. Лебедев, А. Умный транспорт как часть экосистемы технологий умного города / А. Лебедев // Системы безопасности. – 2019. – № 4(148). – С. 26-28.
7. Умные камеры как элемент общественной безопасности: [сайт]. – URL: <https://www.anti-malware.ru/analytics/Technology> (дата обращения: 12.12.2023). – Текст: электронный.
8. Рябенков, Р. А. Искусственный интеллект и его потенциал / Р. А. Рябенков, И. В. Михеев // Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2020. – Т. I. – С. 229-233.
9. Штырова, И. А. Использование методов интеллектуального анализа данных в обучающих системах / И. А. Штырова, О. Н. Губатенко // Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Проблемы развития предприятий энергетической отрасли в условиях модернизации российской экономики и общества». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – С. 116-119.
10. Князев, А. А. Информационное обеспечение интеллектуальных контроллеров / А. А. Князев, С. Н. Грицюк // Сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2022. – С. 67-71.

### **Об индивидуализации обучения программированию в вузовской практике**

Михеев Иван Васильевич, старший преподаватель кафедры

«Информатика и управление в технических системах»;

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

*В статье определено текущее состояние рынка труда и представлены ключевые аспекты выпускников вузов. Рассмотрены основные определения индивидуализации обучения и технология индивидуализированного обучения. Рассмотрены основные особенности технологии индивидуализации обучения. Сформулированы и предложены аспекты для реализации программного комплекса для индивидуализированного обучения.*

Современные подходы и методы обучения достаточно многообразны и многочисленны. Некоторые методы обучения, такие как классические, актуальны в современных реалиях с учетом адаптации к текущим условиям, некоторые методы обучения являются относительно новыми и постоянно развиваются. Как правило, новые подходы к обучению и методики обучения появляются в ответ на возникающие новые потребности в образовании.

В текущей ситуации, учитывая изменение требований рынка труда, основной приоритет образовательных учреждений заключается в подготовке конкурентоспособных выпускников через качественное создание образовательных программ и эффективную организацию учебного процесса. Ключевым аспектом становится формирование высококвалифицированных выпускников в ИТ-области, что достижимо при эффективной организации процесса обучения, построенного на принципах личностно-ориентированных технологий [2-6]. Сейчас современному обществу необходимы выпускники, которые обладают как обширными теоретическими, так и практическими знаниями, причем реализовывать процесс обучения можно с помощью технологий индивидуализации обучения, что в свою очередь является гуманизации образования.

Проблема индивидуализации обучения обсуждается во многих исследованиях, среди которых следует выделить работы таких авторов, как: Я.И. Ковальчук, В.М. Монахова, Я.А. Коменский, Ю.К. Бабанский и др. Отметим, что вопреки обширности проведенных исследований, изучение педагогических аспектов индивидуализации обучения в высшем учебном заведении оказалось недостаточным и термин

«индивидуализация обучения» в контексте высшего образования лишен четкого определения в рамках научного контекста [10].

Проблемы индивидуализации учебного процесса приобретают особое значение, поскольку от её реализации зависит создание условий для раскрытия творческого потенциала и индивидуальных способностей студентов. Отметим, что реализация индивидуализации позволяет повысить успеваемости каждого студента, содействует активному саморазвитию, углублению знаний и расширению образовательных возможностей.

Термин «Технология индивидуализированного обучения» Унт Инге определяет как организацию учебного процесса, при которой индивидуальный подход и индивидуальная форма обучения являются приоритетными [8].

Далее рассмотрим основные особенности технологии индивидуализации обучения. Главенствующую позицию среди исследований [1, 7, 8, 10] занимают следующие факторы:

- формирование адекватной самооценки студентов необходимых общеучебных навыков и умений;
- стимулирование мотивации студентов;
- структурирование образовательного процесса, в рамках которого определение методов, подходов и темпа обучения зависит от индивидуальных особенностей каждого учащегося;
- формирование психолого-педагогических условий, направленных не только на общее развитие всех студентов, но и на индивидуальное развитие каждого студента.

Основу индивидуализации обучения составляют два аспекта [11]: в первую очередь, принцип развития студентов, и, во-вторых, процесс воплощения данного принципа через индивидуализированные и дифференцированные подходы.

Исследователи отмечают, что адаптивные и разнообразные компьютерные обучающие программы играют значительную роль в процессе индивидуализации обучения [2, 3, 4, 9, 12].

Индивидуализированное обучение представляет собой систему многоуровневой подготовки специалистов, которая учитывает индивидуальные особенности обучающихся, предоставляя каждому возможность полного раскрытия своих способностей для получения соответствующего образования. Процесс индивидуализации обучения включает в себя отбор содержания, которое подлежит корректировке и синтезу в индивидуальные программы и элективные учебные дисциплины, а также стимулирование научно-исследовательской деятельности

обучаемых [5, 6, 10].

Таким образом, используя современные мультимедийные технологии и достижения современной науки в виде программных инструментов, имеется возможность построить программное решение для реализации технологий индивидуализированного обучения.

Рассмотрим некоторые аспекты реализации программного комплекса для реализации технологий индивидуализированного обучения в сфере информационных технологий.

Реализация программного комплекса для индивидуализированного обучения в сфере информационных технологий требует учета множества аспектов, начиная от проектирования курсов и заданий, заканчивая мониторингом и адаптацией обучения в реальном времени. Важным элементом является также система оценки и обратной связи, которая должна быть моментальной и учитывать индивидуальные достижения. Перечислим несколько ключевых аспектов, которые, по нашему мнению, необходимо учесть при реализации такого программного комплекса:

1) анализ потребностей и целевой аудитории. В рамках данного аспекта считаем необходимым определить целевую аудиторию, их уровень подготовки и индивидуальные потребности. Для выстраивания индивидуальной траектории обучения необходимо проанализировать текущий уровень знаний и навыков студентов, таким образом, начало использования программного комплекса должно начинаться с соответствующего каждому студенту уровня сложности задач;

2) интерактивные образовательные материалы. Современные технологии позволяют разрабатывать разнообразные интерактивные образовательные материалы, причем разнообразие их видов достаточно большое: интерактивные лекции, видеоматериалы, тексты, интерактивные практические задания и проекты. Возможно также применение геймификации учебного процесса;

3) адаптивные алгоритмы обучения и образовательной траектории. Данный аспект предполагает использование или разработку алгоритма для адаптации индивидуальной учебной траектории для каждого обучающегося. Таким образом, в зависимости от способностей, умений и успехов обучающегося, алгоритм сможет предоставить для каждого студента индивидуальную образовательную траекторию с уникальными для его уровня знаний заданиями и материалами. Отметим, что внедрения в данный аспект механизма обратной связи позволяет повысить уровень адаптации;

4) оценка и работа над ошибками. По нашему мнению, программный комплекс

должен иметь систему объективной оценки, которая должна учитывать индивидуальные достижения и способности студентов. Кроме этого, необходимо обеспечить возможность работы над ошибками, чтобы студенты могли корректировать свои ошибки;

5) средства и технологии реализации. Современное состояние развития языков программирования и технологий позволит реализовать программный комплекс с широким функционалом. Кроме того, использование современных инструментов реализации позволят обеспечить работоспособность образовательной платформы с различными устройствами и браузерами;

6) анализ и аналитика данных. Массовое использование программного решения позволяет накапливать данные о процессе обучения студентов и использовать их для повышения эффективности обучения и выстраивания уникальной траектории обучения. Анализ полученных в ходе использования данных может позволить выявить текущие тенденции в результатах обучения студентов;

7) виртуализация и визуализация. Применение комплексного программного решения позволяет реализовывать виртуальные лаборатории и среды для практического обучения. Таким образом, можно реализовать некоторые работы, которые требуют виртуализации среды. В совокупности с предыдущим пунктом возможна реализация методики, при которой студенты, в процессе обучения могут получать доступ к реальным проектам и задачам, чтобы получить альтернативные пути решения задач;

8) взаимодействие при групповом обучении. Использование программного решения в группе и применение механизмов взаимодействия между участниками обучения позволят обмениваться опытом и предоставят возможности для общения с преподавателями;

9) актуализация и адаптация. Программный комплекс должен обладать механизмами обновления и адаптации информации. Необходимость регулярного обновления контента и дополнительных учебных материалов в соответствии с последними трендами в области изучаемой дисциплины является обязательным условием и позволит процессу обучения оставаться актуальным на протяжении длительного времени.

Реализация программного комплекса для индивидуализированного обучения в сфере ИТ требует взаимодействия многих компонентов, и успешная реализация зависит от качественной реализации всех этапов разработки.

Таким образом, в работе рассмотрены основные определения и особенности

индивидуализации обучения в высшей школе. Определены и описаны аспекты, которые, по нашему мнению, являются обязательными при построении программного решения для реализации технологий индивидуализированного обучения учебных дисциплин из сферы ИТ-технологий в высшей школе.

Применение современных педагогических инструментов и автоматизированных программных комплексов позволит оптимизировать этот процесс, особенно удачным является применение таких инструментов в процессе самообучения.

#### Литература

1. Смирнова, Ж. В. Технология организации проектной деятельности студентов / Ж. В. Смирнова, О. И. Ваганова, А. В. Макеева // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. – 2018. – № 6(32). – С. 204-208.

2. Михеев, И. В. Современные подходы к реализации практико-ориентированного подхода в обучении программистов / И. В. Михеев, О. В. Виштак // Сборник научных трудов: ФИЗИК: УЧЕНЫЙ, ПЕДАГОГ, НАСТАВНИК. – Саратов – СГУ, 2023. – С. 246-248.

3. Виштак, Н. М. Особенности обучения программированию в высшей школе / Н. М. Виштак, И. В. Михеев // Тезисы докладов XV Международной научно-практической конференции «Будущее атомной энергетики – AtomFuture 2019». – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2020. – С. 132-134.

4. Виштак, О.В. Педагогические инструменты оценки знаний обучающихся по программированию и информационным технологиям / О.В. Виштак // Сборник материалов исследовательских работ преподавателей и студентов педагогического вуза, учителей общеобразовательной школы «Инновационные и традиционные технологии естественнонаучного и математического образования детей дошкольного и младшего школьного возраста». – Ульяновск, 2022. – С. 7-8.

5. Виштак, О.В. Подготовка к профессии программиста как синтез искусства и науки / О.В. Виштак, М.А. Кулагин, И.В. Михеев // Материалы научной конференции с международным участием «Неделя науки СПбПУ». – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – С. 16-18.

6. Виштак, О.В. Межпредметная интеграция при изучении специальных дисциплин подготовки бакалавров в области ИТ-технологий / О.В. Виштак, А. Н. Токарев // Научно-методический электронный журнал Концепт. – 2014. – № Т20. – С. 4836-4840.



7. Технология индивидуализации обучения / О.И. Ваганова, Е.С. Павлова, О. Г. Шагалова, И. Р. Воронина // БГЖ. – 2020. – № 2(31).

8. Унт, И. Технологии индивидуализации обучения / И. Унт, А.С. Границкая, В.Д. Шадриков: [сайт]. – URL: [https://lyceum1.ru/sites/default/files/\\_\\_\\_128.pdf](https://lyceum1.ru/sites/default/files/___128.pdf) (дата обращения: 14.12.2023). – Текст: электронный.

9. Саляева, Е.Ю. Проектные технологии в подготовке бакалавров по направлению подготовки 43.03.01 «Сервис» / Е.Ю. Саляева, Л.И. Кутепова, О.И. Ваганова // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2017. – Т. 6. – № 3(20). – С. 217-219

10. Юрловская, И.А. Проблема индивидуализации подготовки студентов в условиях современной ситуации / И.А. Юрловская // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2014. – Вып. 1.

11. Хубиева, Ф.М. Индивидуализация обучения как психолого-педагогическая проблема / Ф.М. Хубиева // Вестник КГУ. – 2009. – № 4.

12. Виштак, О.В. Интерактивный электронный образовательный ресурс по основам программирования / О.В. Виштак // Сборник статей участников Международной научно-практической конференции «Современные Web-технологии образовательного назначения: перспективы и направления развития». – Арзамас: Арзамасский филиал ННГУ, 2016. – С. 77-80.

УДК 004.932.2

**Приложение с дополненной реальностью для отображения  
разнообразной информации на буклете**

Наранович Оксана Ивановна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры

«Информационные технологии и физико-математические дисциплины»;

Калько Алексей Игоревич, старший преподаватель кафедры

«Информационные технологии и физико-математические дисциплины»;

Хадарович Олег Дмитриевич, студент направления

«Информационные системы и технологии»

Учреждение образования Барановичский государственный университет,

г. Барановичи, Республика Беларусь

*Статья рассматривает разработку приложения с дополненной реальностью (AR), предназначенного для взаимодействия с буклетом и отображения разнообразной*

*информации. Основная цель проекта – создание интерактивной и информативной AR-системы, способной предоставлять дополнительную информацию при взаимодействии пользователя с буклетом в реальном времени. В статье подробно рассматриваются этапы разработки, включая систему распознавания логотипа, библиотеку 3D моделей продукции, пользовательский интерфейс, интеграцию технологий AR и тестирование приложения. Используются программы Unity и Blender, а также платформа Vuforia для реализации функционала дополненной реальности. Приведены результаты работы приложения на реальных буклетах и пользовательских тестах для оценки производительности и удовлетворения потребностей пользователей.*

Разработка приложения с дополненной реальностью (AR), предназначенного для отображения разнообразной информации на буклете, является необходимой частью новой эры в маркетинговых направлениях. Главной целью проекта является создание интерактивной и информативной AR-системы, способной в режиме реального времени отображать дополнительную информацию при взаимодействии пользователя с буклетом.

Необходимо выполнить:

- разработку и внедрение системы распознавания логотипа предприятия на буклете, которая будет активировать AR-отображение книги с подробной информацией о предприятии при наведении на логотип;
- создание библиотеки 3D моделей продукции предприятия, которые будут доступны для отображения при взаимодействии с различными объектами буклета. Каждая 3D модель должна быть интерактивной, позволяя пользователю поворачивать, увеличивать и рассматривать продукцию в деталях;
- разработку пользовательского интерфейса приложения, обеспечивающего удобное взаимодействие пользователя с AR-содержимым. Пользователи должны иметь возможность легко переключаться между различными 3D моделями продукции и просматривать информацию о предприятии;
- интеграцию технологий дополненной реальности, таких как маркерное распознавание и трекинг объектов, для точного и стабильного отображения AR-контента на буклете;
- тестирование приложения с использованием реальных буклетов и пользователей с целью определения его производительности, стабильности и удовлетворения потребностей пользователей.



*Рис. 1. Отображение композиции из трёх виртуальных 3D-объектов хлеба*

Для реализации задачи была использована программа Unity – межплатформенная среда разработки компьютерных игр, разработанная американской компанией Unity Technologies, содержащая текстовый редактор, компилятор, отладчик и так далее [1].

Также при разработке приложения была использована платформа Vuforia, которая была добавлена в Unity в качестве package файла. Vuforia – это платформа дополненной реальности и инструментарий разработчика программного обеспечения дополненной реальности (Software Development Kit – SDK) для мобильных устройств, разработанные компанией Qualcomm. Vuforia использует технологии компьютерного зрения, а также отслеживания плоских изображений и простых объёмных реальных объектов (к примеру, кубических) в реальном времени [2].

Vuforia обеспечивает:

- Простоту создания сценариев работы с объектами AR на базе самого популярного и свободно-распространяемого «движка» AR.
- Неограниченное повторное использование 3D-данных.
- Удобство загрузки таргетов и последующую работу с ними в проекте.

Приложения дополненной реальности, созданные на платформе Vuforia, совместимы с широким спектром устройств, включая iPhone, iPad, смартфоны и планшеты на Android с версии 2.2 и процессором, начиная с архитектур ARMv6 или 7 с возможностью проведения вычислений с плавающей запятой [3].

Vuforia отвечает за отслеживание приложением пространственного размещения и распознавания. Виртуальный 3D-объект привязывается к сцене через таргет. Размещение точки взгляда пользователя и масштаб 3D-объекта регулируются

многочисленными элементами управления. Данное решение оптимально для работы с массовым сектором и создания маркетинговых и игровых приложений [3].

При создании трёхмерных моделей была использована программа Blender. Blender – мощная бесплатная программа для трёхмерного моделирования, которая предоставляет широкий набор инструментов для создания и редактирования трёхмерных моделей. Некоторые преимущества Blender:

- Blender имеет множество функций и инструментов для создания различных моделей, включая анимации, текстуры и эффекты;
- Blender имеет встроенный движок для создания физических эффектов, таких как жидкости, дым, взрывы и т. д.;
- поддержка множества форматов файлов, включая FBX, OBJ, STL, 3DS, Collada и многих других;
- кроссплатформенность – Blender доступен на Windows, Mac и Linux, что позволяет пользователю работать в любой среде.
- При нажатии на этот виртуальный 3D-объект хлеба он сменится моделью хлеба, имеющего другой вкус.

Схема работы мобильного приложения – это описание основных компонентов и процессов, которые составляют приложение и определяют его функциональность.



*Рис. 2. Отображение виртуального 3D-объекта хлеба и текста*

Основные процессы работы мобильного приложения включают:

– инициализация – это процесс запуска приложения. Он включает в себя создание пользовательского интерфейса, загрузку данных и регистрацию обработчиков событий.

– Взаимодействие с пользователем – это процесс обработки пользовательских действий, таких как нажатия на кнопки, ввод текста или использование голосовых команд.

– Обработка данных – это процесс работы с данными, включая чтение, запись, изменение и передачу данных.

– Реакция на события – это процесс обработки событий, таких как нажатия кнопок, получение вызовов или уведомлений, изменение состояния устройства.

– Завершение работы – это процесс остановки приложения. Он включает в себя сохранение данных и освобождение ресурсов.

Для создания виртуального 3D-объекта книги с анимацией пролистывания страниц был использован ассет «Book – Page Curl Version 2.0», разработанный Abdullah Aldandarawy [3].

Для удобства был создан пользовательский интерфейс, а кнопкам были назначены необходимые действия.

Данный ассет был модифицирован путём добавления всех страниц книги. Объект сделан интерактивным, чтобы пользователь мог с ним взаимодействовать (перелистывать страницы) не только при помощи кнопок, а и нажатием на экран в нижней части страницы. После чего объект полностью принял необходимый вид. Также реализована возможность закрепления книги на экране в 2D-формате для удобства чтения.

Все трёхмерные модели были созданы самостоятельно в программе Blender с использованием фотографий реальных объектов, использованных в качестве текстур.



*Рис. 3. Созданные трёхмерные модели*

Для реализации взаимодействия с виртуальными 3D-объектами (вращения и масштабирования) был использован ассет «Lean Touch» разработанный Carlos Wilkes, а именно скрипты «Lean Pinch Scale» и «Lean Twist Rotate Axis» [3].

#### Литература

1. Калько, А.И. AR приложение для отображения медиаинформации с позиционированием на таргет-ссылку / А.И. Калько, О.Д. Хадарович // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию ММФ «Трансформация механико-математического и IT-образования в условиях цифровизации». – Минск: Белорусский государственный университет, 2023. – Ч. 2. – С. 54-58.

2. Калько, А.И. Приложение с дополненной реальностью демонстрации виртуальных 3D-объектов и возможности их сетевого взаимодействия / А.И. Калько, Р.В. Мазура, О.Д. Хадарович // Материалы 73-ей Международной студенческой научно-технической конференции. – Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2023. – С. 717-718.

3. Калько, А.И. макет приложения для демонстрации виртуальных 3D-объектов с дополненной реальностью средствами Unity / А.И. Калько // Материалы докладов 56-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2023. – Т. 2. – С. 46-48.

УДК 004(075)

#### **Применение модели Transformer для решения задач обработки естественного языка (NLP)**

Подгорнов Александр Александрович, кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры «Физика и естественнонаучные дисциплины»

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

*Статья посвящена применению модели Transformer для решения задач обработки естественного языка (NLP) на основе библиотеки Hugging Face Transformers. Hugging Face предоставляет библиотеку Transformers, которая*

*является одной из наиболее широко используемых библиотек для работы с трансформерами. Она предоставляет предварительно обученные модели, инструменты для их загрузки и использования, а также обширное сообщество, создавшее множество ресурсов и примеров кода.*

Архитектура трансформера была представлена в июне 2017 года. Трансформер – это архитектура нейронной сети. Основная идея трансформера является механизм внимания (attention mechanism) [1]. Этот механизм позволяет модели фокусироваться на различных частях входных данных с разной степенью внимания. Вместо того чтобы последовательно обрабатывать входные данные, как это делается в рекуррентных нейронных сетях, трансформер позволяет сети одновременно учитывать все элементы последовательности. Он позволяет модели «учиться» взаимодействовать с контекстом, что делает ее способной к обработке длинных текстов и улавливанию сложных зависимостей в данных.

GPT (Generative Pre-trained Transformer) GPT в названии ChatGPT переводится как Generative Pre-trained Transformer. На русском это значит «натренированная модель, которая генерирует текст». Модели трансформеров (GPT, BERT, BART, T5 и т. д.) были предварительно обучены как языковые модели. Это означает, что они обучались на больших объемах сырых текстовых данных в режиме обучения без учителя, что позволяет приобрести обширный лингвистический опыт. Затем, после этапа предварительного обучения, модель может быть дообучена на конкретных задачах для выполнения различных функций.

Обучение без учителя – это тип обучения, при котором цели (или иными словами – метки), автоматически вычисляются на основе входных данных модели. Это означает, что для разметки данных не требуется человеческого участия [2, 3].

Такой тип модели развивает статистическое понимание языка, на котором она обучена, но она не очень полезна для конкретных практических задач. Из-за этого общая предварительно обученная модель проходит процесс, называемый переносом обучения (transfer learning). Во время этого процесса модель дополнительно настраивается в управляемом режиме, то есть с использованием человечески-аннотированных меток – на данной задаче.

Одна из интересных особенностей GPT – это его способность генерировать текст, имитирующий стиль и тон, представленный в обучающих данных. Это позволяет модели подстраиваться под различные стили общения, что делает ее универсальной для множества приложений [4].

Предварительное обучение – это процесс обучения модели с нуля: веса случайным образом инициализируются, и обучение начинается без каких-либо заранее существующих знаний.

Предварительное обучение языковой модели требует много времени и денег, обычно проводится на очень больших объемах данных. Поэтому оно требует очень большого корпуса данных, и обучение может занять до нескольких недель.

Дообучение (Тонкая настройка), происходит после предварительного обучения модели. Для выполнения дообучения вы сначала приобретаете предварительно обученную языковую модель, затем проводите дополнительное обучение с набором данных, специфическим для вашей задачи. Положительные стороны этого метода:

1. Предварительно обученная модель уже обучалась на наборе данных, который имеет некоторые сходства с набором данных для дообучения.

2. Процесс дообучения таким образом может использовать знания, полученные начальной моделью во время предварительного обучения (например, в задачах обработки естественного языка, предварительно обученная модель будет иметь некоторое статистическое понимание языка, который вы используете для вашей задачи).

3. Так как предварительно обученная модель уже обучалась на большом объеме данных, дообучение требует гораздо меньше данных для получения приемлемых результатов.

4. Также объем времени и ресурсов, необходимых для получения хороших результатов, гораздо меньше.

Например, можно использовать модель, предварительно обученную на английском языке, и затем дообучить ее на корпусе Arxiv, что приведет к появлению модели, основанной на научно-исследовательских данных. Дообучение потребует только ограниченного количества данных: знания, приобретенные предварительно обученной моделью, «переносятся», отсюда и термин «перенос обучения».

Дообучение языковой модели дешевле предварительного обучения как по времени, так и по финансовым затратам. Это также быстрее и проще для итераций по различным схемам дообучения, поскольку обучение менее ограничено, чем полное предварительное обучение.

Этот процесс также дает лучшие результаты, чем обучение с нуля (если у вас нет большого объема данных), поэтому вы всегда должны пытаться использовать предварительно обученную модель – насколько это возможно близко к задаче, которую вы решаете – и дообучать ее.



Общая архитектура модели состоит преимущественно из двух блоков:

Encoder (или кодировщик) получает входные данные и создает представление их особенностей. Это означает, что модель оптимизирована для понимания входных данных.

Decoder (или декодировщик) использует представление encoder вместе с другими входными данными для генерации целевой последовательности. Это означает, что модель оптимизирована для генерации выходных данных.

Каждая из этих частей может использоваться независимо.

Модели только с encoder: хороши для задач, которые требуют понимания входных данных, таких как классификация предложений и распознавание именованных сущностей.

Модели только с decoder: хороши для генеративных задач, таких как генерация текста.

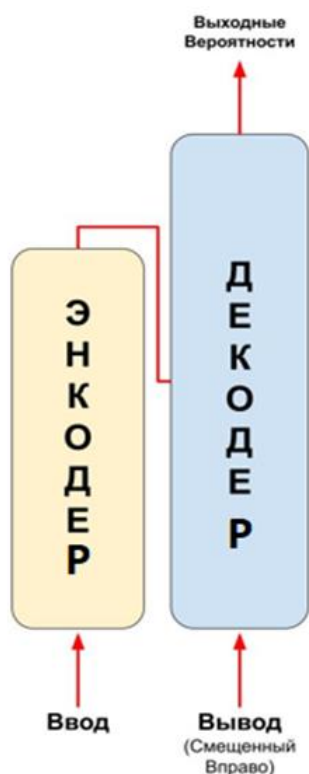
Модели encoder-decoder или модели sequence-to-sequence: хороши для генеративных задач, которые требуют ввода, таких как перевод или суммаризация.

Ключевой особенностью моделей Transformer является то, что они построены с использованием специальных слоев, называемых слоями внимания. Название научной статьи, в которой была впервые представлена архитектура Transformer, звучало как «Внимание – это все, что вам нужно» [1]. Слой внимания скажет модели обратить особое внимание на определенные слова в предложении, которое ей передали (а также как игнорировать остальные слова), когда речь идет о представлении каждого слова.

То же самое относится ко всем задачам, связанным с естественным языком: слово само по себе имеет значение, но это значение глубоко зависит от контекста, который может быть любым другим словом (или словами) до или после изучаемого слова.

Архитектура Transformer изначально была разработана для перевода. Во время обучения encoder получает входные данные (предложения) на определенном языке, в то время как decoder получает те же предложения на целевом языке. В encoder слои внимания могут использовать все слова в предложении. Однако, decoder работает последовательно и может обращать внимание только на слова в предложении, которые он уже перевел (то есть только на слова перед словом, которое в данный момент генерируется).

Например, когда мы предсказали первые три слова переведенного целевого предложения, мы передаем их в decoder, который затем использует все входные данные encoder'a, чтобы попытаться предсказать четвертое слово.



*Рис. 1. Архитектура Transformer*

Чтобы ускорить процесс обучения (когда модель имеет доступ к целевым предложениям), decoder'у передается весь целевой текст, но ему не разрешается использовать будущие слова (если бы у него был доступ к слову на позиции 2 при попытке предсказать слово на позиции 2, задача была бы не очень сложной!). Например, при попытке предсказать четвертое слово, слой внимания будет иметь доступ только к словам на позициях от 1 до 3.

Оригинальная архитектура Transformer выглядела так (рис. 1), с encoder'ом слева и decoder'ом справа:

Библиотека Huggingface Transformers предоставляет функциональность для создания и использования различных моделей. Model Hub содержит тысячи предварительно обученных моделей, которые можно скачать и использовать любой. Вы также можете загрузить свои собственные модели в Hub.

Рассмотрим несколько примеров того, как трансформеры могут быть использованы для решения некоторых интересных задач обработки естественного языка.

Базовым объектом в библиотеке Huggingface Transformers является функция `pipeline()`. Она соединяет модель с необходимыми шагами предварительной и

последующей обработки, позволяя нам напрямую вводить любой текст и получать понятный ответ:

```
from transformers import pipeline
classifier = pipeline("sentiment-analysis" , model='seara/rubert-tiny2-russian-sentiment')
classifier("Ура! Этот курс - то, что надо!")
[{'label': 'positive', 'score': 0.989378035068512}]
Мы даже можем передать несколько предложений!
classifier(
    ["Этот курс - то, что надо!", "Самое время освоить трансформеры!"]
)
[{'label': 'neutral', 'score': 0.8088666200637817},
 {'label': 'neutral', 'score': 0.5620061755180359}]
```

По умолчанию этот пайплайн выбирает определенную предварительно обученную модель, которая прошла тонкую настройку (fine-tuning) для анализа эмоциональной окраски (сентимента) текста на английском языке. Модель загружается и кэшируется при создании объекта classifier. Если вы повторно выполните этот скрипт, будет использоваться кэшированная модель, и снова загружать модель не потребуется.

Однако, для работы с другими языками, в том числе и с русским, мы указываем необходимую нам модель вторым параметром в функции pipeline(), в данном случае это:

```
'seara/rubert-tiny2-russian-sentiment'
```

При передаче текста в пайплайн происходит три основных события:

1. Текст предварительно обрабатывается в формат, который модель может понять.
2. Предобработанные входные данные передаются модели.
3. Предсказания модели обрабатываются после, чтобы вы могли их понять.

Примеры некоторых доступных пайплайнов:

- feature-extraction (получить векторное представление текста);
- fill-mask ner (распознавание именованных сущностей);
- question-answering (вопросно-ответная модель);
- sentiment-analysis (анализ сентимента текста);
- summarization (суммаризация);
- text-generation (генерация текста);
- translation (перевод текста);

– zero-shot-classification (классификация с "нулевым выстрелом", т.е. без тонкой настройки).

Давайте рассмотрим некоторые из них.

Распознавание именованных сущностей (NER) – это задача, в которой модель должна определить, какие части входного текста могут быть определены как сущности, такие как люди, локации или организации. Рассмотрим пример:

```
from transformers import pipeline
ner = pipeline("ner", aggregation_strategy='simple')
ner("Меня зовут Александр и я работаю в Балаково.")
[{'entity_group': 'PER',
  'score': 0.8694602,
  'word': ' Александр ',
  'start': 11,
  'end': 20},
 {'entity_group': 'LOC',
  'score': 0.92615527,
  'word': 'Балаково',
  'start': 36, 'end': 44}]
```

Здесь модель правильно определила, что Александр – это человек (PER), а Балаково – локация (LOC).

Мы передаем параметр `aggregation_strategy='first'` в функцию пайплайна, чтобы сказать, что нужно сгруппировать вместе и следует ли группировать токены, соответствующие одной и той же сущности вместе в предсказаниях или нет.

Пример. Ответ на вопрос. Такой пайплайн (для ответов на вопросы) позволяет отвечать на вопросы, используя информацию из заданного контекста (рис. 2).

```
[ ] from transformers import pipeline

question_answerer = pipeline("question-answering")
question_answerer(
    question="Где я работаю?",
    context="Меня зовут Александр и я работаю в Балаково.",
)

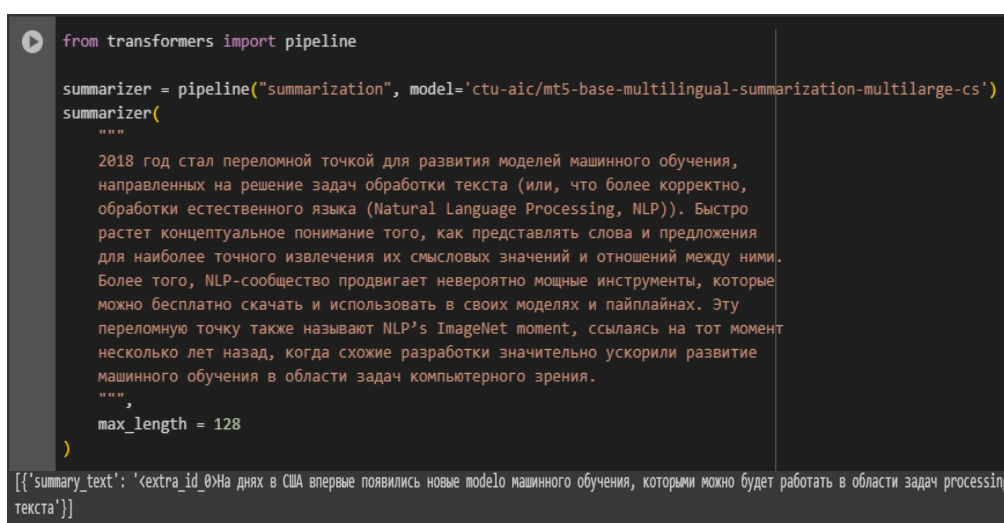
No model was supplied, defaulted to distilbert-base-cased-distilled-squad and revision 626af31
Using a pipeline without specifying a model name and revision in production is not recommended.
{'score': 0.027160324156284332, 'start': 33, 'end': 43, 'answer': 'в Балаково'}
```

Рис. 2. Пример пайплайна «Ответ на вопрос»

Обратите внимание, что этот пайплайн работает за счет извлечения информации из предоставленного контекста; он не генерирует ответ.

Пример. Суммаризация – это задача сокращения текста до более короткого варианта, сохраняя все (или большинство) важных аспектов, упомянутых в тексте (рис. 3). Вы можете указать `max_length` или `min_length` для определения длины результата.

Рассмотренные пайплайны служат в качестве демонстрации. Тем не менее, стоит отметить, что, несмотря на все свои возможности, GPT и другие модели трансформеров также имеют свои ограничения. Например, они могут создавать содержание, которое кажется логичным, но не всегда соответствует реальности, и не всегда способны понимать и учиться из контекста в том же объеме, что и человек.



```
from transformers import pipeline

summarizer = pipeline("summarization", model='ctu-aic/mt5-base-multilingual-summarization-multilarge-cs')

summarizer(
    """
    2018 год стал переломной точкой для развития моделей машинного обучения,
    направленных на решение задач обработки текста (или, что более корректно,
    обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP)). Быстро
    растет концептуальное понимание того, как представлять слова и предложения
    для наиболее точного извлечения их смысловых значений и отношений между ними.
    Более того, NLP-сообщество продвигает невероятно мощные инструменты, которые
    можно бесплатно скачать и использовать в своих моделях и пайплайнах. Эту
    переломную точку также называют NLP's ImageNet moment, ссылаясь на тот момент
    несколько лет назад, когда схожие разработки значительно ускорили развитие
    машинного обучения в области задач компьютерного зрения.
    """
    ,
    max_length = 128
)

[{'summary_text': '<extra_id_0>На днях в США впервые появились новые модели машинного обучения, которыми можно будет работать в области задач processing текста'}]
```

Рис. 3. Пример пайплайна «Суммаризация»

Трансформеры представляют собой эффективный подход к обработке последовательностей в нейронных сетях, который преодолевает ограничения традиционных моделей и демонстрирует существенные результаты в различных задачах. Этот подход активно развивается, предпринимаются попытки связать ИИ-трансформеры с другими технологиями искусственного интеллекта, чтобы обеспечить более продвинутые возможности принятия решений.

### Литература

1. Достижения в области нейронных систем обработки информации: [сайт]. – URL: <https://arxiv.org/abs/1706.03762> (дата обращения: 11.12.2023). Текст: электронный.
2. Пател Анкур Прикладное машинное обучение без учителя с использованием Python / Перевод с английского А. Г. Гузикевич. – СПб.: ООО «Диалектика», 2020. – 432 с.
3. Шолле Франсуа Глубокое обучение на Python / Шолле Франсуа. – СПб.: Издательский дом «Питер», 2018. – 400 с.

4. Сбоев А. Г. Нейросетевое моделирование и машинное обучение на основе экспериментальных и наблюдательных данных: специальность 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сбоев Александр Георгиевич; Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт». – Москва, 2021.

УДК 371.31

### **Применение искусственного интеллекта в учебном процессе**

Штырова Ирина Анатольевна, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Информационные системы и технологии»;

Каверзина Кристина Васильевна, студент направления  
«Информатика и управление в технических системах»

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

*В статье подробно анализируется понятие искусственного интеллекта, а также рассматривается его роль и влияние в сфере образования.*

Использование современных информационных технологий в образовании сегодня становится нормой для преподавателей, которые тем самым для обучающихся обеспечивают быстрый доступ к информации, мотивируют студентов на изучение и использование в учебной деятельности новых для них образовательных технологий, что способствует повышению эффективности учебного процесса [2-7]. Искусственный интеллект – это область компьютерных наук, которая направлена на создание программных средств, способных к самообучению, рефлексии и принятию решений, которые обычно требуют участия человека [1, 2, 8, 9, 10]. Искусственный интеллект использует такие технологии, как машинное обучение, компьютерное зрение, обработка естественного языка и робототехника. Искусственный интеллект используется в различных областях, включая медицину, транспорт, банковское дело, производство, образование и многое другое [1, 2, 10, 11, 12]. Одним из основных принципов искусственного интеллекта является способность алгоритмов адаптироваться и совершенствоваться с учетом опыта и новых данных. В целом,

искусственный интеллект – это мощный инструмент, который при правильном применении может принести много пользы обществу. Однако также важно учитывать этические, юридические и социальные аспекты разработки искусственного интеллекта, чтобы обеспечить его безопасное и эффективное использование.

Искусственный интеллект обладает огромным потенциалом для преобразования образования [1, 2, 8, 10, 11]. В последние годы его использование в образовании значительно расширилось, предоставляя новые возможности для персонализации обучения, анализа данных, автоматизации процессов и повышения эффективности образовательных систем.

Одним из ключевых моментов роста искусственного интеллекта в образовании является возможность создавать персонализированные учебные программы. Используя данные обучающихся, искусственный интеллект позволяет создавать уникальные учебные планы, адаптированные к потребностям каждого учащегося. Это помогает студентам получать более эффективное и индивидуализированное образование, соответствующее их уровню знаний и темпу обучения.

Другим ключевым аспектом использования искусственного интеллекта в образовании является возможность обеспечить непрерывный мониторинг образовательных достижений и предоставлять обратную связь. Анализируя данные обучающихся, искусственный интеллект может предоставлять персонализированную обратную связь и рекомендации по дальнейшему обучению, что может значительно улучшить качество образовательного процесса.

Кроме того, использование искусственного интеллекта в образовании также может повысить эффективность административных процессов в образовательных учреждениях. Автоматизация рутинных операций, таких как административное планирование, расписание занятий, управление учебными материалами и многое другое, позволяет сотрудникам образовательных учреждений уделять больше времени индивидуальной работе с учащимися и разработке образовательных программ.

Однако внедрение и использование искусственного интеллекта в образовании также сталкивается с определенными проблемами и ограничениями, такими как конфиденциальность данных, отсутствие нормативных правил и этических стандартов, а также необходимость повышения компетентности учителей для работы с новыми технологиями.

При использовании искусственного интеллекта в образовании важно не потерять баланс между технологией и ролью преподавателя. Преподаватели всегда будут играть ключевую роль в образовании, поскольку они могут вдохновлять, мотивировать и

создавать эмоциональные связи с обучающимися, что является не менее важным аспектом обучения.

Искусственный интеллект может широко использоваться студентом университета в области программирования. Взаимодействие с искусственным интеллектом может значительно облегчить и улучшить процесс обучения, а также повысить эффективность практических задач программирования. Во-первых, искусственный интеллект можно использовать для обеспечения персонализированного обучения. Студенты могут получить рекомендации по курсу и учебные материалы, основанные на их предпочтениях и индивидуальных потребностях. Искусственный интеллект может анализировать данные о предыдущих успехах и неудачах студента, чтобы определить наиболее эффективные методы обучения и предложить соответствующие ресурсы.

Кроме того, искусственный интеллект может помочь студентам в процессе решения задач программирования. Например, искусственный интеллект может предоставлять подсказки и рекомендации по отладке кода, оптимизации алгоритмов и структур данных. Это поможет студентам избежать распространенных ошибок и сэкономить время, которое можно использовать для решения более сложных задач.

Искусственный интеллект также можно использовать для создания сред разработки с расширенными возможностями. Например, искусственный интеллект может предлагать автозаполнение кода, анализировать синтаксис и структуру программы и предоставлять рекомендации по лучшим практикам и стандартам кодирования. Это поможет студентам повысить качество и эффективность их кода.

Важным применением искусственного интеллекта является область машинного обучения и анализа данных [2, 6, 10, 11, 12]. Обучающиеся могут использовать искусственный интеллект для выполнения задач классификации, кластеризации и прогнозирования на основе больших объемов данных. Интеллектуальные алгоритмы могут помочь обучающимся обнаружить скрытые закономерности и использовать их для создания более эффективных и инновационных программных решений.

Кроме того, искусственный интеллект можно использовать для автоматизации рутинных задач, таких как генерация кода, тестирование программного обеспечения или создание документации. Это позволит студентам сосредоточиться на более творческих и сложных аспектах программирования, вместо того чтобы тратить время на рутинные операции.

Однако, необходимо учитывать как плюсы, так и минусы использования искусственного интеллекта в образовании, чтобы эффективно внедрять его в учебные



заведения. Рекомендации по использованию искусственного интеллекта в образовании должны быть направлены на поддержку преподавателей и студентов, а также на разработку специальных программ и методик, которые могли бы оптимизировать учебный процесс.

Также следует иметь в виду, что искусственный интеллект не может полностью заменить преподавателя в процессе обучения и разработки программного обеспечения. Важно поддерживать баланс между использованием интеллектуальных инструментов и собственным мышлением и креативностью. Студентам следует продолжать развивать свои навыки и более глубоко изучать фундаментальные принципы программирования.

В заключение отметим, что искусственный интеллект играет все более значимую роль в современном обществе, в том числе в сфере образования. Применение искусственного интеллекта в учебных процессах может значительно улучшить качество образования, персонализировать обучение и помочь учителям в оценке учебных успехов студентов. Искусственный интеллект обладает огромным потенциалом для студента университета в области программирования. Он может обеспечить индивидуальный подход к обучению, помочь решать задачи программирования, улучшить качество кода, облегчить анализ данных и автоматизировать рутинные задачи. Искусственный интеллект следует рассматривать как средство улучшения образовательного процесса и развития студентов, а не как замену преподавателя в университете. В целом, искусственный интеллект имеет большой потенциал для трансформации образования и создания более инновационной и эффективной системы обучения.

#### Литература

1. Рябенков, Р. А. Искусственный интеллект и его потенциал / Р. А. Рябенков, И. В. Михеев // Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2020. – С. 229-233.
2. Рябенков, Р. А. Машинное обучение / Р. А. Рябенков, И. В. Михеев // Сборник трудов II Международной научно-практической конференции «Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2020. – Т. I. – С. 224-228.
3. Виштак, О. В. Использование технологии виртуальной реальности для подготовки персонала атомной станции / О. В. Виштак, М. В. Фролов // Сборник

трудов XIII Международной научно-практической конференции «Будущее атомной энергетики - AtomFuture 2017». – Обнинск, 2018. – С. 104-106.

4. Абушаев, И. Р. Программные средства разработки виртуальных обучающих систем / И. Р. Абушаев, О. В. Виштак // Сборник трудов I Международной научно-практической конференции «Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2019. – С. 145-149.

5. Виштак, О. В. Использование техники дополненной реальности в обучении студентов технических направлений // О. В. Виштак, М. В. Фролов / Сборник трудов научно-практической конференции «Современные технологии в атомной энергетике». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – С. 58-59.

6. Очкур, Г. В. Обзор машинных методов обучения / Г. В. Очкур, И. В. Денисов // Сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2022. – С. 304-308.

7. Виштак, Н. М. Интерактивные технологии как основа диалогового обучения / Н. М. Виштак, Е. А. Яковлева // Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции «Проблемы развития регионов в условиях модернизации экономики, общества и образования». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2018. – С. 35-39.

8. Джонсон, Джейсон Искусственный интеллект и его роль в современном обществе: вызовы и перспективы / Джонсон Джейсон. – СПб.: БХВ-Петербург, 2017.

9. Ли, Кай-Фу Искусственный интеллект: перспективы развития и влияние на общество / Ли Кай-Фу. – М.: Альпина Паблишер, 2020.

10. Смит, Алан Эволюция искусственного интеллекта: от теории к практике / Смит Алан. – СПб.: Питер, 2018.

11. Уильямс, Джон Искусственный интеллект: роль и влияние в современном обществе / Уильямс Джон. – М.: Изд-во Наука, 2019.

12. Андерсон, Дэвид Искусственный интеллект и его влияние на будущее общества / Андерсон Дэвид. – М.: Астрель, 2016.

## **Инструментарий для разработки графических объектов**

Штырова Ирина Анатольевна, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Информационные системы и технологии»;

Куликова Алина Олеговна, студент направления

«Информатика и управление в технических системах»

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

*В статье представлен обзор видов компьютерной графики. Рассмотрены преимущества и недостатки различных видов компьютерной графики.*

С развитием информационных технологий и компьютерных систем в последние десятилетия роль компьютерной графики в разработке информационных ресурсов стала неоспоримой. Компьютерная графика является основной технологией при создании виртуальных миров, обеспечивая непревзойденный уровень реализма и интерактивности. Она позволяет создавать уникальные визуальные эффекты в кино и телевидении, реалистичные трехмерные модели для архитектуры и машиностроения, а также обеспечивает эффективную визуализацию и анализ данных. Кроме того, компьютерная графика становится все более актуальной в области образования и развлечений, создавая новые возможности для обучения и развлечений виртуальной реальности [1, 2, 3, 4, 5].

Развитие компьютерной графики продолжает открывать новые возможности и вызывают интерес научного сообщества, так как позволяет решать широкий спектр задач, включая создание и редактирование 2D и 3D графики, разработку компьютерных игр, фильмов и анимации, разработку виртуальной реальности, а также создание специальных эффектов.

Основные виды компьютерной графики включают в себя растровую и векторную графику [6 – 9].

Растровая графика представляет изображения в виде пикселей, каждый из которых содержит информацию о цвете и яркости. Она широко применяется для создания фотографий, текстур, цифровых рисунков и других реалистичных изображений. Растровая графика широко используется в различных областях, таких как фотография, дизайн, веб-разработка и игровая индустрия. Она позволяет создавать реалистичные изображения и эффекты, которые трудно достичь с помощью векторной графики.

Однако при работе с растровой графикой необходимо учитывать ее ограничения и выбирать правильные форматы и настройки для достижения оптимального качества изображения. С другой стороны, растровая графика имеет и недостатки. Главным из них является потеря качества при масштабировании, так как при увеличении размеров изображения пиксели становятся видимыми, что приводит к плохой четкости и размытости. Кроме того, растровая графика имеет большой размер файлов, особенно для изображений с высоким разрешением, что может затруднять их хранение и передачу через сеть.

Растровая графика – это удобный и широко применяемый способ представления информации в виде пикселей. Ее преимуществами являются реалистичность изображений, простота обработки и широкий спектр применения. Однако, она имеет ограничения в масштабировании и занимает большой объем памяти.

Векторная графика, в свою очередь, описывает изображения в виде математических объектов – линий, кривых и геометрических фигур [6, 7, 8]. Такой подход позволяет создавать изображения, которые можно масштабировать без потери качества. Векторная графика используется для разработки логотипов, иллюстраций, дизайна интерфейсов и других визуальных элементов. Главное преимущество векторной графики заключается в том, что она не зависит от разрешения и может быть масштабирована без потери качества. В отличие от растровой графики, которая состоит из пикселей и имеет фиксированное разрешение, векторная графика сохраняет свои геометрические свойства при изменении размеров на любую величину. Это делает ее идеальным инструментом для создания логотипов, иллюстраций, эмблем и других графических элементов, требующих высокой точности и четкости.

Кроме того, векторная графика обеспечивает возможность изменять, редактировать и анимировать элементы отдельно от других элементов графики. Это позволяет создавать сложные и динамичные визуальные эффекты, а также вносить легкие правки и модификации в исходную графику без необходимости перерисовывать все изображение.

Векторная графика также обладает небольшим размером файла, поскольку она хранит только математические данные, необходимые для определения внешнего вида объектов. Это делает ее подходящей для использования в сети Интернет, где быстрая загрузка и эффективное использование пропускной способности являются ключевыми факторами.

Одним из самых существенных достижений компьютерной графики является трехмерная компьютерная графика, которая позволяет создавать и отображать объекты

в трех измерениях. Это особенно актуально для разработки компьютерных игр, архитектурного моделирования, создания визуализаций научных данных и множества других приложений [6, 7].

Развитие компьютерной графики продолжает прогрессировать, открывая новые возможности для создания и визуализации впечатляющих и высококачественных изображений. С появлением более мощных компьютеров и новых технологий, таких как искусственный интеллект и виртуальная реальность, компьютерная графика становится все более широко применяемой и востребованной в различных областях нашей жизни.

3D-графика – это форма компьютерной графики, которая позволяет создавать и отображать трехмерные объекты с использованием математических моделей. 3D-графика позволяет создавать реалистичные и детализированные изображения, которые могут передавать объемность и текстуры объектов. «В отличие от двухмерной графики, 3D-графика позволяет работать с трехмерными координатами и применять техники, такие как освещение, отражения и преломления, чтобы создать более реалистичные и живые изображения» [9].

Для создания 3D-графики используются специализированные программы, такие как Autodesk Maya, 3D Studio Max, Blender и другие. С помощью этих программ художники и дизайнеры могут создавать трехмерные объекты, моделировать их форму, накладывать текстуры, добавлять освещение и другие эффекты. 3D-графика имеет огромный потенциал для творчества и инноваций и продолжает развиваться с появлением новых технологий, таких как виртуальная реальность и дополненная реальность. С помощью 3D-графики можно создавать удивительные визуальные эффекты, симулировать физические процессы и позволять пользователям взаимодействовать с виртуальными объектами и мирами.

Область применения 3D-графики достаточно широка и разнообразна. Вот несколько основных областей, где она активно используется:

- игровая индустрия: 3D-графика является неотъемлемой частью разработки компьютерных игр. Она позволяет создавать реалистичные и привлекательные визуальные эффекты, а также трехмерные окружения и персонажей;

- киноиндустрия: многие современные фильмы используют 3D-графику для создания впечатляющих спецэффектов, таких как взрывы, огонь, супергерои и фантастические существа. Она также позволяет создавать виртуальные окружения и сцены, которые сложно или опасно снять в реальной жизни;

– архитектура и дизайн: 3D-графика используется для создания визуализаций архитектурных проектов, интерьеров и экстерьеров зданий. Она позволяет клиентам и архитекторам увидеть, как будет выглядеть проект в реальности ещё до его постройки;

– медицина: 3D-графика применяется для создания моделирования органов и тканей человеческого тела. Это помогает визуализировать и изучать внутреннюю структуру организма, а также планировать сложные хирургические операции;

– образование и научные исследования: 3D-графика используется для разработки интерактивных и обучающих программ, моделей и симуляций. Она помогает визуализировать сложные концепции и явления, делая их более понятными и доступными.

3D-графика широко используется в образовательных целях, так как она позволяет создавать интерактивные и визуализированные среды для обучения. Ниже приведены некоторые примеры применения 3D-графики в образовании:

– обучение геометрии: 3D-моделирование и визуализация помогают студентам лучше понимать различные геометрические формы и пространственные отношения между ними. С использованием 3D-графики ученики могут создавать, манипулировать и исследовать различные геометрические фигуры, что облегчает усвоение материала;

– инженерное обучение: 3D-графика активно применяется в инженерном образовании для визуализации и моделирования различных инженерных задач. С помощью 3D-графики можно создавать интерактивные модели машин, строений или процессов, что помогает студентам лучше понять их принципы работы и взаимодействие;

– историческое обучение: с помощью 3D-графики можно воссоздавать исторические события и места, что позволяет студентам более глубоко погружаться в историю. Например, возможно создать модель античного города или визуализацию исторических битв, что помогает студентам лучше представить особенности и контекст прошлых времен;

– моделирование физических объектов: 3D-графика позволяет создавать точные трехмерные модели физических объектов, таких как автомобили, здания, молекулы или целые планеты. Это позволяет исследователям и инженерам более точно изучать и анализировать свойства и поведение этих объектов в реальном мире;

– визуализация физических процессов: 3D-графика может быть использована для визуализации и анализа сложных физических процессов, которые не могут быть наблюдаемыми прямым образом. Например, это может быть моделирование и визуализация движения жидкостей, гравитационного взаимодействия планет или

взрывающегося ядерного устройства. Такие визуализации могут помочь ученым и студентам лучше понять и изучить эти сложные физические явления.

Таким образом, компьютерная графика играет значительную роль в современном обществе и имеет множество применений в различных областях. Ее возможности продолжают расширяться, и она остается одним из наиболее важных инструментов для визуализации, передачи информации и создания новых цифровых решений.

#### Литература

1. Виштак, Н. М. Возможности визуализации в представлении учебной информации / Н. М. Виштак, Ю. А. Кох // Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Проблемы развития предприятий энергетической отрасли в условиях модернизации российской экономики и общества». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2018. – С. 64-69.

2. Татаринцев, Е. М. Области применения виртуальной реальности / Е. М. Татаринцев, И. В. Михеев // Сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции «Современные технологии в атомной энергетике». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – С. 102-106.

3. Абушаев, И. Р. Программные средства разработки виртуальных обучающих систем / И. Р. Абушаев, О. В. Виштак // Сборник трудов I Международной научно-практической конференции «Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2019. – С. 145-149.

4. Vishtak, N. M. Methodical and technological aspects of creation of interactive computer learning systems / N. M. Vishtak, D. A. Frolov // AIP Conference Proceedings. - 2017. – С. 040007.

5. Виштак, Н. М. Применение мультимедийных средств обучения в вузовской практике реализации программ дополнительного образования / Н. М. Виштак // Научно-методический электронный журнал Концепт. – 2014. – № Т20. – С. 4826-4830.

6. Смирнова, А. М. Компьютерная графика и дизайн художественных изделий. Основы визуализации / А. М. Смирнова. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2020. – 1452 с.

7. Компьютерная графика: практикум / Р. Г. Болбаков, Г. В. Горбатов, А. В. Сеницын, А. А. Абрамов. – М: МИЭРА, 2020. – 133 с.

8. Пушкарева, Т. П. Компьютерный дизайн / Т. П. Пушкарева, С. А. Титова. – СБУ, 2020. – 192 с.

9. Виды 3D-моделирования: [сайт]. – URL: <https://3d-modeli.net/uroki-videokursi/3d-grafika/6175-vidy-3d-modelirovaniya.html> (дата обращения: 24.10.2023). – Текст: электронный.

УДК 004.9

**Электронная информационная образовательная среда  
учебно-методической поддержки образовательного процесса**

Янчев Максим Денисович, 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

*Для общеобразовательных учреждений, организаций среднего профессионального и высшего образования, центров дополнительного образования обязательно внедрение электронной информационной образовательной среды. В данной статье приведены функциональные возможности среды, спроектирована модель базы данных ЭИОС для учреждений среднего профессионального образования с использованием паттерна Model-View-Controller (MVC).*

Электронная информационная образовательная среда (ЭИОС) представляет собой многофункциональную платформу, объединяющую различные инструменты и возможности для эффективной организации образовательного процесса. В настоящее время в вузах активно используются такие платформы [1-3]. Это могут быть и разработанное вузом самостоятельно программное обеспечение (например, ИОС БИТИ НИЯУ МИФИ), и специализированное, приобретенное на рынке информационных продуктов (например 1С:Университет) [4-6]. Учебные заведения среднего профессионального образования, вследствие реформ в сфере образования, также нуждаются в подобных разработках.

ЭИОС объединяет личные информационные пространства участников (преподавателей, студентов). В её ядре – средства, напрямую поддерживающие учебный процесс, связывающие информационные ресурсы, людей (как носителей



знаний), события и контекст учебной и управленческой деятельности. Функционал ЭИОС включает в себя управление учебными материалами, мониторинг успеваемости, аналитику и отчетность.

К учебным материалам в первую очередь относятся учебно-методические комплексы, включающие в себя регламентирующую документацию, средства обучения, средства контроля, необходимые для реализации программ высшего и специального профессионального образования [3]. В частности, к ним относятся рабочие программы дисциплин (РПД), модулей, практик, программы государственной итоговой аттестации, контрольно-оценочные средства (вопросы входного/выходного контроля), методические указания к практическим занятиям, курсовым работам и проектам, сопроводительная документация учебного процесса (рис. 1), играющая ключевую роль в организации образовательной деятельности.

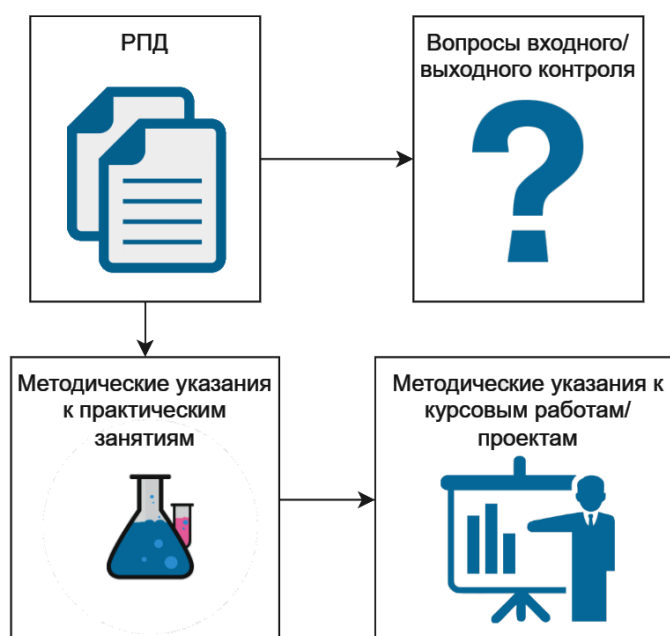


Рис. 1. Виды учебной и методической документации

Пользователями ЭИОС являются студенты, преподаватели и административно-управленческий персонал образовательного учреждения. У студентов имеется возможность получать учебные материалы, задания и другие образовательные ресурсы, просматривать актуальное расписание и загружать свое портфолио (сертификаты, дипломы), отчетную документацию студента (курсовые работы и проекты, отчеты по практикам). Преподавателям доступен функционал предоставления материалов для обучающихся: загрузка лекционных материалов, практических заданий, вопросов входного/выходного контроля по дисциплине. Также желательна реализация обратной связи со студентами, просмотр расписания занятий. Административно-управленческий персонал образовательных учреждений способен осуществлять контроль за общим

функционированием ЭИОС, выделением ресурсов, управлять доступом и безопасностью данных и анализировать данные работы ЭИОС для улучшения образовательного процесса и принятия решений на основе полученной аналитики.

ЭИОС для учебных заведений среднего профессионального образования может быть реализована с использованием паттерна проектирования веб-приложений, который включает в себя три отдельных компонента: модель, представление и контроллер - MVC (рис. 2).

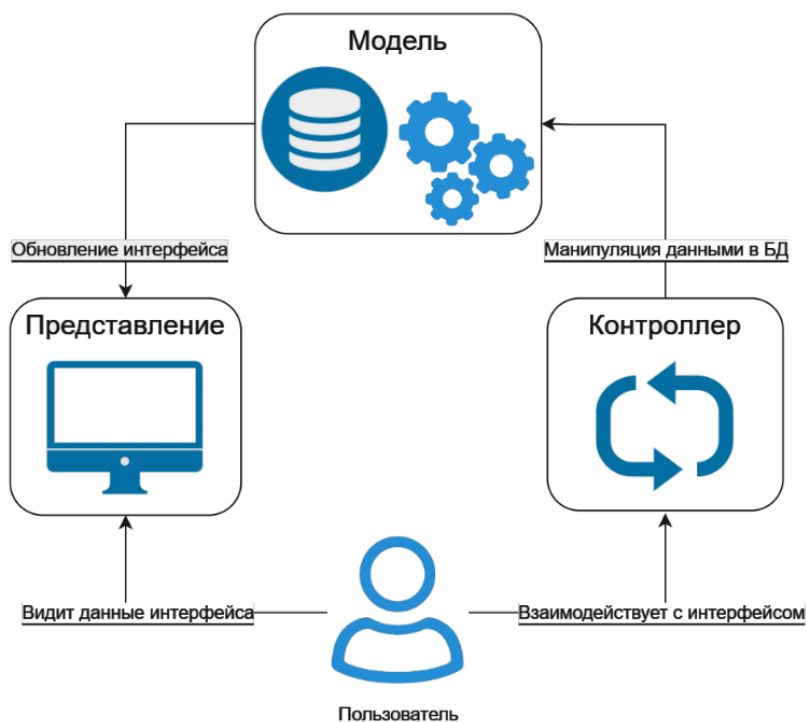


Рис. 2. Паттерн проектирования MVC

Система предоставляет информацию и реагирует на команды контроллера, динамично меняя свои параметры [7]. Визуальное представление отвечает за передачу данных от системы пользователю, реагируя на изменения в её состоянии. Контроллер анализирует действия пользователя, уведомляя систему о необходимости внесения изменений.

Модель базы данных ЭИОС (рис. 3) представляет собой модель данных, определяющую логическую структуру, и способы их хранения, организации и манипулирования.

Таким образом, внедрение ЭИОС в деятельность профессиональных образовательных организаций является важной задачей для любого учреждения СПО, стремящегося соответствовать современным требованиям законодательства Российской Федерации и повышать качество предоставляемого образования. Эта универсальная платформа, объединяющая разнообразные инструменты и возможности,

в том числе возможности взаимодействия участников процесса обучения и генерации отчетной документации, сопровождающей учебный процесс автоматически, создает предпосылки для эффективной организации образовательного процесса.

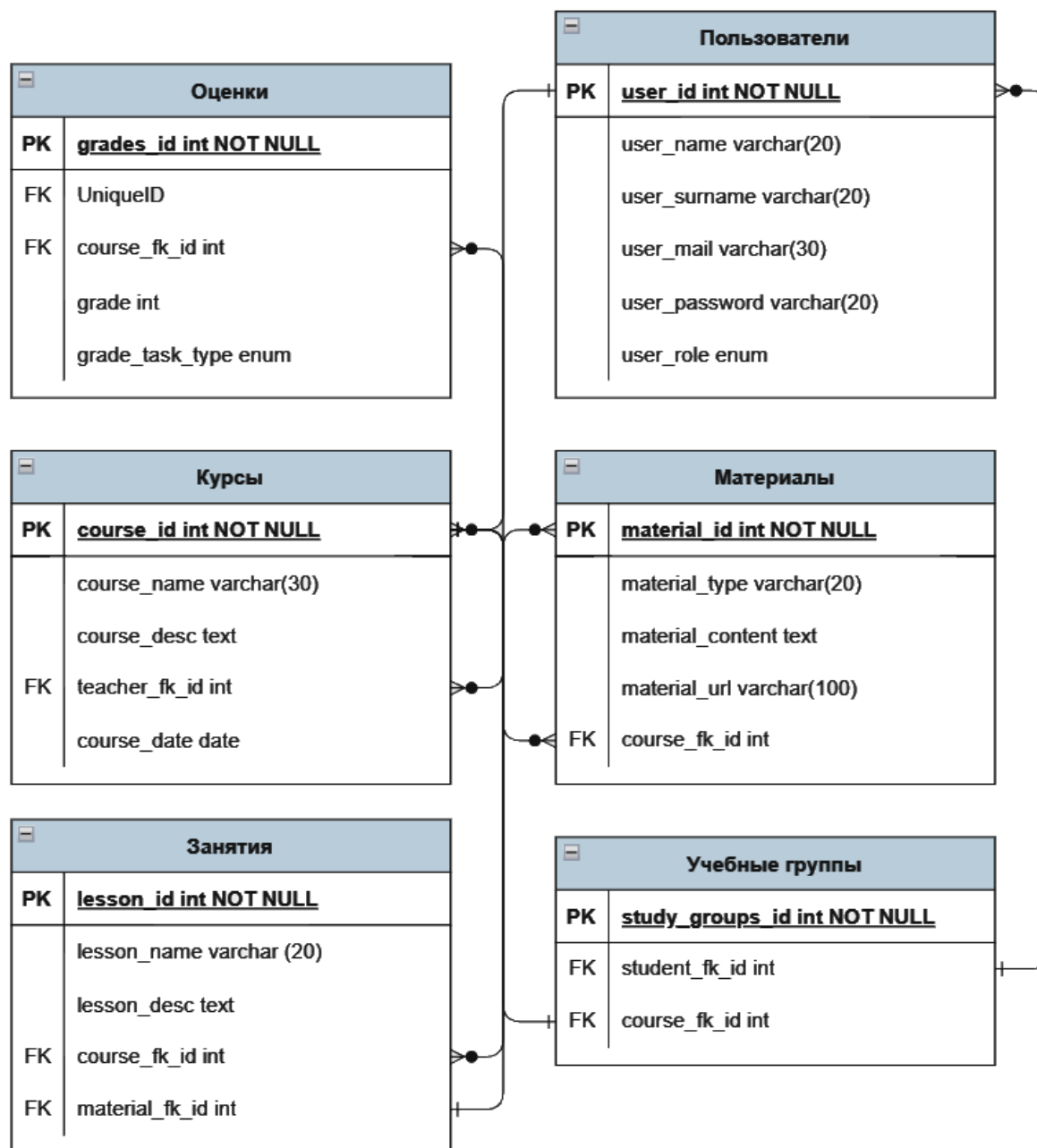


Рис. 3. Модель базы данных ЭИОС

### Литература

1. Федеральный закон от 29.12.2012 N 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации».
2. Постановление Правительства РФ от 16.11.2020 N 1836 «О государственной информационной системе «Современная цифровая образовательная среда»».

3. Виштак, О. В. Электронные образовательные ресурсы как базовый компонент информационно-образовательной среды / О. В. Виштак, М. В. Фролов // Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – С. 142-146.

4. Виштак, Н. М. Системы взаимодействия участников учебного процесса / Н. М. Виштак, М. И. Калистратов // Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2020. – Т. I. – С. 181-185.

5. Виштак, О. В. Сервисы удаленного доступа для организации учебного процесса в магистратуре / О. В. Виштак, И. А. Штырова // Сборник статей участников Международной конференции Векторы развития магистратуры будущего в условиях глобальных вызовов. – Москва, 2020. – С. 30-34.

6. Виштак, О. В. Информационные системы дистанционного взаимодействия участников образовательного процесса / О. В. Виштак, Н. П. Ходакова // Сборник статей участников Международной научно-практической конференции: Образовательные Web-технологии в реализации требований современных ФГОС. – Арзамас: Арзамасский филиал ННГУ, 2023. – С. 20-24.

7. Паттерны объектно-ориентированного проектирования / Э. Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон, Дж. Влиссидес. – СПб.: Питер, 2020. – 448 с.

### СЕКЦИЯ 3

## «ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

УДК 69.04

#### **Особенности расчета конструкций объемных блоков**

Андреева Наталья Викторовна, старший преподаватель кафедры

«Промышленное и гражданское строительство»;

Попова Виктория Николаевна, студент направления «Строительство»;

Шумкаева Ева Петровна, студент направления «Строительство»

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

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

*В данной статье рассматриваются особенности расчета конструкций, особенности их использования в строительстве, а также указывается необходимость учета свойств объемных блоков и специфических соединений при расчете конструкций. В статье описаны классический (аналитический) метод и метод конечных элементов (МКЭ) как инструменты для расчета прочности и нагрузок на конструкции.*

При проектировании и строительстве зданий и сооружений одним из важных аспектов является расчет конструкций, необходимый для определения прочности, устойчивости и надежности конструкций, а также для обеспечения их безопасности.

В строительной отрасли расчет нагрузок является важной частью процесса проектирования и строительства зданий из объемных блоков. Расчет нагрузок позволяет определить, какие нагрузки будут действовать на конструкции в течение их эксплуатации, и гарантировать их прочность и устойчивость. Одним из наиболее распространенных методов расчета нагрузок является классический метод, основанный на применении аналитических формул и уравнений для оценки прочности конструкций.

Основные этапы классического аналитического метода включают:

1. Определение типов нагрузок. В первую очередь необходимо определить все возможные типы нагрузок, которые могут действовать на конструкцию. Это может включать статические нагрузки (например, вес собственной конструкции, нагрузка от мебели и оборудования), динамические нагрузки (например, ветровая нагрузка, сейсмическая активность) и временные нагрузки (например, снеговая нагрузка).

2. Нагрузки на отдельные элементы (блоки, панели, связи) определяются из расчета объемно-блочного здания как пространственной системы. Обязателен учет усилий в плоскости граней элементов (осевых и внецентренных) и из их плоскости [1].

Для предварительного определения сечений допускается подсчитывать нагрузки на элементы здания в эксплуатационной стадии приближенно – от вертикальных сил с распределением по грузовым площадям; от горизонтальных – из рассмотрения расчетной схемы здания как совокупности вертикальных несвязанных консольных элементов. Объемные блоки на этой стадии допускается считать симметричными, не имеющими проемов и т. д.

Разность осадок противоположных стен одного блока не должна превышать 0,0012; между параллельными стенами или панельной стеной и стеной блока – 0,0022 L, где L – расстояние между стенами. Если эти условия обеспечиваются, расчет всего здания на вынужденную осадку опор можно не производить [1].

3. Определение реакций опор. После расчета нагрузок необходимо определить реакции опор – силы и моменты, которые действуют на опорные точки конструкции. Это позволяет оценить, как конструкция будет взаимодействовать с фундаментами или другими опорными элементами.

4. Расчет напряжений и деформаций. После определения нагрузок и реакций опор проводится расчет напряжений и деформаций внутри конструкции. Это позволяет оценить, насколько нагрузки будут влиять на прочность и устойчивость конструкции. Расчеты могут включать использование теории упругости и пластичности [4].

5. Определение безопасности и прочности. На последнем этапе проводится оценка безопасности и прочности конструкции на основе расчетных значений напряжений и деформаций. Если конструкция не удовлетворяет требованиям безопасности и прочности, то необходимо внести изменения в проект или выбрать другой тип конструкции.

Расчет здания из объемных блоков на эксплуатационные воздействия заключается в предварительном определении сечений всех входящих в здание конструктивных элементов, с учетом необходимости обеспечения их несущих и ограждающих функций; выборе расчетных схем и методики расчета; выявлении (назначения) геометрических и жесткостных характеристик всех конструктивных элементов, входящих в расчетные схемы; проведении расчета и выявлении величин усилий, действующих на все виды конструктивных элементов, входящих в расчетные схемы, их перемещений, а также перемещений здания в целом; проверке сечений всех элементов по величине усилий, определенным из расчета здания, предельных

деформаций здания и его элементов. При необходимости существенного изменения предварительно определенных сочетаний цикл расчета повторяется. Весь расчет здания или его этапы целесообразно производить с применением программ для ПК [1].

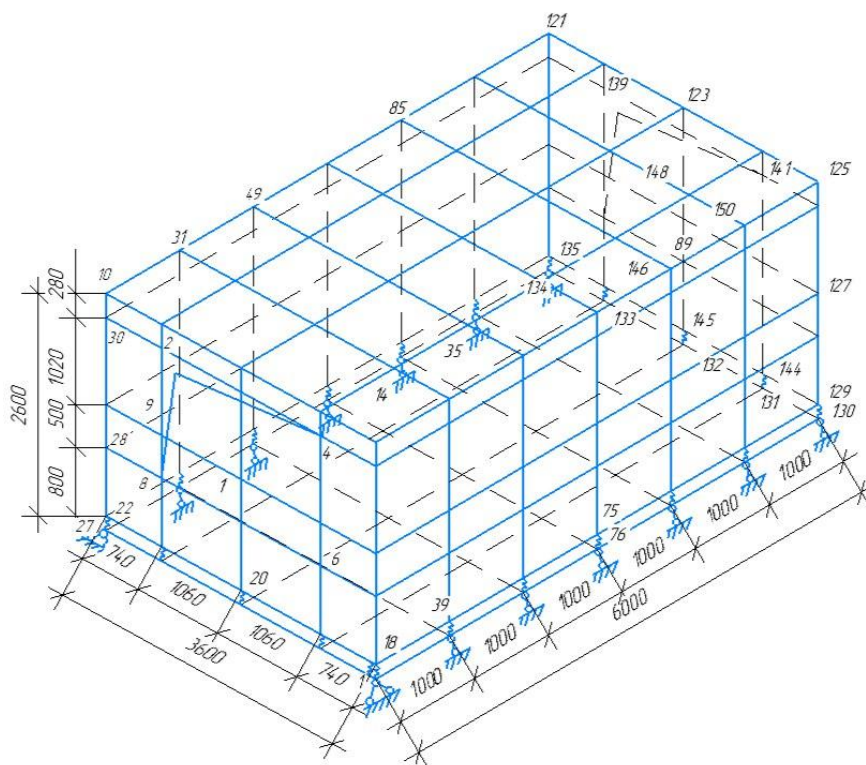
Применение численных методов, реализованных в виде программ на ПК, для пространственного расчета объемных блоков иллюстрируется на примере расчета унифицированного объемного блока типа «колпак» с линейной схемой опирания по МКЭ и по МПКЭ [1]. Исходные данные: толщина продольных стен – 6 см, торцовых стен – 8 см, панели потолка – 5 см, плиты пола – 7 см; материал – бетон класса В20; начальный модуль упругости  $E_b = 2,9 \cdot 10^4$  МПа ( $2,9 \cdot 10^5$  кгс/см<sup>2</sup>); коэффициент Пуассона  $\nu = 0,2$ . Жесткости швов; между колпаком и полом –  $0,312 \cdot 10^6$  Н·см/см ( $0,312 \cdot 10^5$  кгс·см/см), между двумя блоками по вертикали –  $1,284 \cdot 10^6$  Н·см/см ( $1,284 \cdot 10^5$  кгс·см/см). Геометрический эксцентриситет сил  $N = 2500$  Н/м (250 кгс/см), приложенных по периметру стен блока, равен 1 см и направлен внутрь блока. Шаг возрастания нагрузки – 250 Н/см (25 кгс/см) на один этаж. Распределенные нагрузки: на потолок –  $0,125$  Н/см<sup>2</sup> ( $0,0125$  кгс/см<sup>2</sup>) на пол –  $0,5$  Н/см<sup>2</sup> ( $0,05$  кгс/см<sup>2</sup>). Все нагрузки действуют вертикально. Защемление блока в столбе моделируется фиктивными пространственными стержнями, шарнирно присоединенными к панели потолка и плите пола блока, жесткость которых  $EI\varphi$  (Н·см<sup>2</sup>), (кгс·см<sup>2</sup>) определяется по формуле (1):

$$EI\varphi = cH\alpha \quad (1)$$

где  $e$  – жесткость на изгиб шва между двумя смежными по высоте столба блоками (Н·см/см, кгс·см/см);  $H$  – высота блока, см;  $\alpha$  – расстояние между центрами конечных элементов стен блока, примыкающих к рассматриваемому узлу, см.

Расчетная схема объемного блока для расчета по МКЭ приведена соответственно на рис. 1. При расчете по МКЭ использованы прямоугольные конечные элементы оболочки нулевой кривизны и пространственные стержни с шестью степенями свободы в узле (три линейных и три угловых перемещения) и стержневые КЭ, моделирующие защемление объемного блока в столбе [1].

Метод конечных элементов (МКЭ) является широко применяемым численным методом для анализа прочностных характеристик сложных структур. Он основывается на разбиении исследуемого объекта на множество малых элементов, называемых конечными элементами. Затем каждый элемент описывается математической моделью, описывающей поведение материала. Вычисления проводятся в специализированных программах, таких как ANSYS, SCAD, Лира-САПР и т.д. МКЭ позволяет учитывать сложную геометрию, неоднородные материалы и различные нагрузки, что делает его мощным инструментом для анализа прочности [3].



*Рис. 1. Расчетная схема объемного блока*

Однако, для того чтобы гарантировать прочность и надежность таких конструкций, необходимо провести расчеты и анализ нагрузок на каждый элемент. Для этой цели существуют различные программы для расчета конструкций объемных блоков. Рассмотрим некоторые из них и их особенности [2].

### 1. ANSYS (Ansys Mechanical)

ANSYS является мощной программой для анализа конструкций, которая позволяет моделировать сложные геометрические формы и учитывать различные материалы и нагрузки, а также обладает широким спектром возможностей для проведения статического, динамического, термического и других видов анализа. Программа предоставляет детальную информацию о напряжениях, деформациях, устойчивости и других характеристиках конструкций.

### 2. SCAD (Structural Computer-Aided Design)

SCAD представляет собой программное обеспечение для проектирования и анализа строительных конструкций, обладает простым и интуитивно понятным интерфейсом, что делает его доступным для широкого круга пользователей. SCAD позволяет моделировать и анализировать различные типы конструкций, включая стержневые, плоские и объемные элементы, обеспечивает возможность проведения статического, динамического, усталостного и других видов анализа.

### 3. SAP2000



SAP2000 – программное обеспечение для анализа и проектирования конструкций. Оно предоставляет мощные инструменты для расчета различных видов конструкций, включая объемные блоки. SAP2000 имеет широкий спектр возможностей для моделирования и анализа нагрузок, а также позволяет проводить динамические и статические расчеты.

#### 4. ETABS

ETABS – программа для анализа и проектирования зданий и сооружений. Она предоставляет возможности для расчета конструкций из объемных блоков, включая анализ нагрузок, определение прочности и устойчивости, а также создание детальных отчетов. ETABS также имеет функционал для моделирования динамического поведения конструкций.

#### 5. Лира-САПР

Лира-САПР представляет собой комплекс программных продуктов для проектирования и анализа строительных конструкций, обладает широким спектром инструментов для моделирования и анализа различных типов конструкций. Лира-САПР позволяет проводить расчеты на прочность, устойчивость, деформации и другие характеристики конструкций, обеспечивает возможность визуализации результатов расчетов и создания детальных отчетов.

В заключение можно отметить, что расчет конструкций является важной частью процесса проектирования и строительства зданий и сооружений. Расчеты необходимы для обеспечения прочности, устойчивости и надежности конструкций, а также для обеспечения их безопасности. При расчете конструкций из объемных блоков необходимо учитывать специфические свойства этих блоков и особенности их соединения. Для расчета конструкций используются инженерные методы, такие как классический аналитический метод и метод конечных элементов (МКЭ). Классический аналитический метод основан на использовании принципов механики и физики, а МКЭ позволяет учитывать сложную геометрию и различные нагрузки. Оба метода являются эффективными инструментами для расчета прочности и нагрузок на конструкции. Существенный минус классического метода заключается в том, что требуется гораздо больше времени на расчёт нагрузок в конструкциях, а также более сосредоточенного и внимательного подхода к вычислению.

#### Литература

1. Рекомендации по конструированию и расчету панельно-блочных зданий с применением объемных блоков типа «колпак»/ ЦНИИЭП жилища. – М.: Стройиздат, 1986. – 108 с.

2. Каменев, С. В. Основы метода конечных элементов в инженерных приложениях: учебное пособие / С. В. Каменев. – Оренбург: ОГУ, 2019. – 110 с.

3. Даутов, Р. З. Введение в теорию метода конечных элементов: учебное пособие / Р. З. Даутов, М. М. Карчевский. – Казань: Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина, 2004. – 239 с.

4. Альбакасов, А. И. Строительная механика. Часть I. Статически определимые системы: учебное пособие / А. И. Альбакасов, Л. И. Кудина, А. А. Гаврилов. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2018. – 172 с.

УДК 620.91

### **Обеспечение энергоэффективности зданий**

Бабаян Артём Витальевич, студент направления «Строительство»;

Дмитрушко Роман Валерьевич, студент направления «Строительство»;

Братошевская Виолетта Витальевна, профессор, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Архитектура»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет  
имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар

*В представленной статье на обсуждение ставится актуальный на сегодняшний день вопрос об энергосбережении в зданиях и повышении их энергоэффективности. В основе работы авторами была изучена законодательная база, в которую входят все нормативно-правовые акты, отвечающие за обеспечение коммуникаций при строительстве объектов с энергосберегающими элементами [1]. Приводится сравнительная классификация на примере энергоэффективных объектов, построенных по европейским стандартам, даны рекомендации по архитектурно-строительным решениям с применением нетрадиционных источников энергии с возобновляемой функцией. Рассмотрены мероприятия, способствующие повышению уровня эффективности зданий и даны рекомендации по сокращению теплопотерь в помещениях.*

В современных условиях XXI века, когда строительная отрасль переходит на более высокий уровень, остро стоит вопрос о важности обеспечения новых жилых построек энергоэффективными свойствами. Эта задача рассматривается как на государственном, так и на международном уровнях, поскольку динамичная застройка новых районов является одним из главных ориентиров политики государств с точки

зрения улучшения условий жизни населения. В настоящее время человечество сталкивается с проблемами дефицита природных энергоресурсов, связанных с изменением климатических показателей и других природных воздействий. Поэтому наиболее рациональным решением стоит считать применение в строительной практике передовых технологий с наименьшим энергопотреблением. Одной из значимых причин также можно считать рост стоимости энергоресурсов, что отражается на уменьшении темпов производства в строительстве. Благодаря грамотным архитектурным решениям, планировке генеральных планов в условиях городской застройки, учёту климатических особенностей места строительства [2] и другим, возможно значительное снижение неблагоприятных климатических воздействий. В качестве рекомендации можно рассмотреть использование таких решений как установки, помимо систем отопления и кондиционирования, технологических систем автоматизации поддержания комфортных показателей микроклимата в помещениях зданий. Так, в современных нормах, устанавливаемых государственными органами, ставится задача по повышению уровня теплоизоляционных параметров при проектировании и реконструкции зданий. Для лучшей оптимизации таких программ разработан комплекс профилактических мероприятий, соответствующих действующему законодательству, которые нацелены на экономию и охрану окружающей среды с учётом инновационных технологий и технического обеспечения. Оценить работу таких систем с точки зрения эффективности можно путём нахождения коэффициента полезного действия, который увеличивается с момента сокращения имеющихся потерь, не относящихся к производственному циклу. Можно считать, что для того, чтобы достичь повышения уровня энергоэффективности, при разработке проектной документации следует придерживаться определённых действий, а именно:

- провести идентификацию основных источников расхода энергии в зданиях, которые приводят к повышенным энергопотерям;
- расчётным путем подобрать наиболее рациональные технические нововведения для сокращения затрат на обеспечение построек;
- провести расчет ожидаемых технико-экономических показателей в течение годового периода и т. д.

При соблюдении подобных рекомендаций можно снизить уровень потери энергии. Существует два подхода энергосбережения:

- рациональное использование энергетических ресурсов, что позволит достичь их сокращение в пределах 15 %;
- внедрение энергосберегающих процессов и технологического оборудования.

Несмотря на большой спектр возможностей для регулирования, существует достаточно причин, влияющих на теплопотери в домах, например, теплопроводность используемых строительных материалов (в этом случае тепло поглощается в почву, поскольку жилое здание располагается на холодном участке земли) или явление конвекции, которая подразумевает переход тепла через ограждающие конструкции в окружающее пространство.

В настоящее время альтернативная энергетика относится к наиболее перспективному направлению, уверенно замещая применение углеводородов в наиболее развитых странах. Среди наиболее популярных источников преобразования энергии, которые можно применять при строительстве современной недвижимости различного назначения, являются солнечные батареи, коллекторные системы, тепловые насосные установки и т. д. Использование нетрадиционных (солнечных) источников энергии считается наиболее эффективным при строительстве в районах с повышенным уровнем солнечной радиации на примере южного региона России. Полученная таким путем энергия сможет обеспечить работоспособность всех систем, отвечающих за микроклимат: вентиляция, системы горячего водоснабжения и отопления. Ещё одним из перспективных направлений, которое зарекомендовало себя за рубежом, считается ветроэнергетика, преобразующая ветер как в механический, так и в электрический вид энергии, что служит экономичному снабжению энергией зданий и сооружений. Несмотря на то, что солнечное излучение и ветровые потоки считаются разными энергоносителями, тем не менее при их комбинировании может привести к частичному отказу от исчерпаемых природных ресурсов и экономии строительства. При этом возводимые здания будут соответствовать необходимым требованиям и вместе с этим приобретать новые свойства [3]. В России строительные компании чаще заимствуют у зарубежных стран технологии по возведению экологичных, а вместе с тем и экономически выгодных объектов. Но стоит отметить, что на отечественном опыте в строительной практике применяются дополнительные методы энергетического обеспечения зданий:

- улучшение теплового сопротивления ограждающих конструкций, благодаря облицовке стен, полов с помощью плит с возможностью теплоизоляции;
- ликвидация возможных мостиков холода в оконных проёмах;
- использование систем микро вентиляции.

Для более эффективной энергообеспеченности зданий с учётом установленных требований, регламентирующих комфортные условия для жизнедеятельности, есть

возможность использовать вентилируемые прослойки на фасадной части здания. С их помощью удастся добиться беспрепятственного отвода воздуха из помещений наружу.

Таким образом, можно прийти к заключению, что обеспечение энергоэффективности зданий является одной из приоритетных задач, поставленных перед строительными компаниями. Достичь поставленных целей возможно при проведении мероприятий с энергетическими обследованиями и оценкой имеющихся факторов, характерных району строительства. Следует также рассмотреть архитектурно-строительные решения зданий с возможностью модернизации, применять инновационные системы обеспечения микроклимата в помещениях с функцией автоматического регулирования показателей [4]. Подобный комплекс мероприятий позволит сократить теплопотери от вентиляционных и отопительных установок в холодный период года, обеспечить сохранение природных ресурсов и повысить уровень энергетической обеспеченности зданий и сооружений.

#### Литература

1. Братошевская, В. В. Особенности воздействия окружающей среды на теплоэнергетические параметры здания на примере анализа жилой застройки в г. Краснодаре / В. В. Братошевская, Т. Н. Гутник // Энергосбережение и водоподготовка. – 2019. – № 4(120). – С. 16-20.

2. Межян, С. А. Особенности архитектурно-планировочных требований к гражданским зданиям / С. А. Межян, В. В. Братошевская // Сборник научных статей 6-й Всероссийской национальной научно-практической конференции «Проблемы развития современного общества». – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. – Т. 3. – С. 92-96.

3. Братошевская, В. В. Факторы, влияющие на напряженное состояние в структуре цементного камня / В. В. Братошевская, В. Н. Мирсоянов, Р. В. Мирсоянов // Сборник статей XIV Международной научно-технической конференции «Эффективные строительные конструкции: теория и практика». – Пенза: Автономная некоммерческая научно-образовательная организация «Приволжский Дом знаний», 2014. – С. 26-29.

4. Мирсоянов, В. Н. О взаимосвязи упругопластических свойств бетона с его стойкостью / В. Н. Мирсоянов, В. В. Братошевская, Р. В. Мирсоянов // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2016. – № 8. – С. 33-41.

**Совершенствование системы управления строительством за счет внедрения системы «Дистанционный мониторинг строительства»**

Бондаренко Ольга Николаевна, студент специальности

«Строительство уникальных зданий и сооружений»;

Заяров Юрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры

«Строительные производства»;

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

*В данной статье предложена система дистанционного контроля, которая позволит сократить сроки протекания строительных процессов, повысить эффективность контроля, сократить трудозатраты при одновременном повышении полноты информирования о происходящем на строительных площадках по сравнению с традиционным контролем строительства здания.*

Объемы строительства объектов атомной энергетики Госкорпорацией Росатом в стране и за рубежом увеличиваются с каждым годом. Отсутствие качественного строительного контроля может привести к значительным незапланированным затратам, срыву сроков строительства, бюрократизации взаимоотношений участников строительства и заинтересованных ведомств, особенно при реализации зарубежных проектов. Поэтому крайне важно выбрать такую систему контроля строительства, которая обеспечит оперативные, объективные, измеренные в реальном режиме времени данные на всех этапах строительства.

В связи с тем, что мы живем в век научно – технического прогресса, появились предпосылки для создания системы дистанционного контроля, которая позволит сократить сроки протекания строительных процессов, повысить эффективность контроля, сократить трудозатраты при одновременном повышении полноты информирования о происходящем на строительных площадках

Дистанционный контроль строительства при значительном портфеле заказов Госкорпорации Росатом - это один из наиболее эффективных методов управления строительной отрасли. Повсеместное внедрение дистанционного мониторинга строительства поможет оценить состояние проектов на расстоянии без необходимости ежедневного посещения и сбора данных из нескольких источников [1].

Достоинствами дистанционного контроля являются:

- прогнозирование сроков строительства, выделение рисков;
- доступ к объективной, регулярно обновляемой информации о состоянии строительной площадки;
- высокая точность и прозрачность получаемых данных;
- охрана труда и безопасность.

Таблица 1

Применение методов дистанционного мониторинга по стадиям строительства с учетом основных потребителей получаемой информации

№ п/п	Решение дистанционного мониторинга	Стадии строительства, на которых применяется метод мониторинга	Основные потребители данных мониторинга
1	Комплексная платформа сбора, обработки и анализа данных дистанционного мониторинга строительства.	Все стадии, начиная с инициирования проекта в строительстве.	Все участники управления проектом строительства: – застройщик; – технический заказчик; – генподрядчик и субподрядчики; – генпроектировщик; – авторский надзор; – строительный контроль; – поставщики.
2	Решения спутникового мониторинга для дистанционного мониторинга строительства.	Планирование проекта в строительстве. Выбор площадки строительства и оформление правоустанавливающих документов.	– Застройщик. – Управляющий проектом (технический заказчик).
3	Беспилотные решения дистанционного мониторинга строительства.	Выбор площадки строительства и оформление правоустанавливающих документов. Все стадии реализации проекта строительства за исключением ПНР (Пусконаладочные работы).	Все участники управления проектом строительства.
4	Решения наземного лазерного сканирования для дистанционного мониторинга строительства.	Все стадии реализации проекта строительства, начиная со стадии строительства стен и устройства кровли.	– Управляющий проектом (технический заказчик). – Генподрядчик и субподрядчики. – Авторский надзор. – Строительный контроль.
5	Решения дистанционного мониторинга съемки на основе видеоданных и видеоаналитики.	Все стадии реализации проекта строительства, начиная со стадии внутриплощадочных подготовительных работ.	– Генподрядчик и субподрядчики. – Управляющий проектом (технический заказчик).
6	Решение дистанционного мониторинга строительства на основе способов идентификации техники и материалов.	Все стадии реализации проекта строительства, начиная со стадии внутриплощадочных подготовительных работ.	– Генподрядчик и субподрядчики. – Поставщики оборудования и материалов. – Управляющий проектом (технический заказчик).

Применение методов дистанционного мониторинга по стадиям строительства представлено в табл. 1.

Платформа сбора, обработки и анализа данных дистанционного мониторинга строительства могла бы быть использована всеми участниками строительства, так как современные платформы позволяют разграничивать права доступа. В интересах управляющего проектом (технического заказчика) создать единую платформу, управляющую дистанционным мониторингом строительства всех объектов.

Данные спутникового мониторинга, в первую очередь будут полезны застройщику и управляющему проектом (техническому заказчику) при планировании проекта и выборе площадки.

Актуальные данные, полученные с использованием методов, связанных с использованием БВС необходимы практически всем участникам строительства. Так, например, для генподрядчика, субподрядчиков и поставщиков материалов будет важна оценка проведенных земляных работ и объема поставок сыпучих материалов, для строительного контроля, генпроектировщика и субпроектировщиков результаты геодезических работ, для управляющего проектом (технического заказчика), застройщика и авторского надзора объективные данные о ходе строительства [2].

НЛС необходимы практически всем участникам строительства, в первую очередь, управляющему проектом (техническому заказчику), генподрядчику и субподрядчикам, строительному контролю и авторскому надзору. Актуальные данные, полученные с использованием методов, связанных с использованием видеоаналитики, IoT датчиков, способов идентификации техники и материалов в первую очередь необходимы генподрядчику и субподрядчикам для повышения эффективности бизнеса и нормы прибыли. Они также, как правило, являются заказчиками данных услуг. Поставщиками услуг и (или) оборудования и ПО являются специализированные компании.

Более детально хотелось бы рассмотреть такие виды контроля, как беспилотные авиационные системы и наземное лазерное сканирование.

Наземное лазерное сканирование (НЛС) – это съемочная система, измеряющая с высокой скоростью (от нескольких тысяч до миллиона точек в секунду) расстояния от сканера до точек объекта и регистрирующая соответствующие направления (вертикальные и горизонтальные углы) с последующим формированием трехмерного изображения (скана) в виде облака точек. Оно позволяет в кратчайшие сроки получить максимальное количество данных, а затем создать детальную 3D-модель объекта. Это дает возможность хранить в электронном виде подробную информацию о любом



объекте. При этом она может быть в дальнейшем использована в различных компьютерных программах для планирования реконструкций, ремонтных и строительных работ.

Задачи, которые можно осуществить с помощью НЛС:

- проектирование или топографическая съемка элементов инфраструктуры, промышленных сооружений;
- создание 3D моделей рельефа, сложных технологических объектов;
- получение информации о количестве насыпей и выемок грунта для предприятий горной промышленности;
- слежение за деформациями готовых или строящихся объектов;
- сбор данных для дальнейшего строительства объекта, его полной или частичной реконструкции, планового ремонта.

Беспилотные авиационные системы (БАС) – это летающие роботы, которые могут дистанционно управляться или летать автономно с помощью программно-управляемых планов полета, встроенных в систему, работающих в сочетании с бортовыми датчиками и GPS. Профессиональные картографические беспилотники снабжены геодезическими приемниками, которые позволяют точно определять координаты центров фотографирования снимков и строить на их основании точные цифровые модели местности, убирая необходимость в избыточных полевых геодезических работах.

Задачи, которые можно осуществить с помощью БАС:

- подготовку ортофотоплана, топоплана и 3D модели (облака точек);
- прогресс работ (сравнение наземного лазерного сканирования (НЛС) за разные даты; сравнение НЛС с BIM моделью, включающей график строительства), в т. ч. расчеты, связанные с земляными работами (баланс земляных масс, оптимизация террасирования и прокладки дорог, объем выполненных работ за указанный период, план-фактный анализ земляных работ);
- отклонение от проекта (сравнение НЛС с BIM моделью или 3D моделью), в т. ч. расположения объектов;
- детальное управление проектом;
- инвентаризацию сыпучих материалов;
- контроль безопасности на строительных площадках.

Из вышеперечисленного можно сделать вывод, что традиционный метод во многом уступает дистанционному, поэтому рациональнее было бы применение именно этого метода.

## Литература

1. Единые отраслевые методические рекомендации Госкорпорации «Росатом» по осуществлению строительного контроля: [сайт]. – URL: <https://eosdo.rosatom.local/> (дата обращения: 8.11.2023). – Текст: электронный.

2. Единые отраслевые методические рекомендации Госкорпорации «Росатом» по оценке экономической эффективности компонентов программы «Цифровой Росатом»: [сайт]. – URL: <https://eosdo.rosatom.local/> (дата обращения: 8.11.2023). – Текст: электронный.

УДК 691.555

### **Энергоэффективные теплоизоляционные штукатурки с использованием вспученного перлита**

Заева Анастасия Геннадиевна, аспирант;

Заев Сергей Сергеевич, магистр

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Липецкий государственный технический университет»,

г. Липецк

*Одним из наиболее распространенных теплоизоляционных материалов можно назвать композиционные строительные смеси с использованием вспученного перлитового песка и различных связующих, которые в свою очередь определяют свойства и области применения материалов. При этом вспученный перлитовый песок, обладающий уникальными свойствами, к которым смело можно отнести низкую теплопроводность, экологичность и не высокую среднюю плотность, используется в основном в качестве теплоизоляционной засыпки. Факт возможного применения его в ходе производства теплоизоляционных материалов, практически игнорируется. В статье рассмотрены особенности применения вспученного перлитового песка в изготовлении теплоизоляционной штукатурки, а также влияние модифицирующих добавок на ее свойства.*

Одной из важнейших проблем в современной строительной индустрии было и остается решение вопроса возведения зданий и сооружений, обладающих высокими энергосберегающими показателями.

Так, за последние 10 лет эти показатели выросли почти в 3,5 раза, что практически полностью соответствует современным требованиям.

Возводимые конструкции наружных ограждений отличаются своей многослойностью, основной упор в которых делается на слои основания и утеплителя. При этом минимальное внимание уделяется слою наружной отделки, который способен

увеличить количество тепловых потерь, что в свою очередь приводит к ухудшению общих качеств ограждения [1].

Многие современные исследования направлены на изучение новейших формованных теплоизоляционных материалов с использованием в качестве заполнителя вспученного перлитового песка и отходов его производства, например перлитовой пыли.

Однако расширение областей применения такого рода теплоизоляционных штукатурок ограничивает не изученность влияния на физико-химические процессы гидратации и твердения цементной смеси вспученного перлитового песка и модифицирующих добавок. Именно поэтому можно сказать, что тема изучения методов разработки сухих строительных смесей с повышенными теплоизоляционными характеристиками достаточно актуальна в современных реалиях [2].

До недавнего времени в России нормативная документация, регламентирующая методы испытаний для сухих строительных смесей отсутствовала. Именно поэтому большое количество исследований проводилось на основе иностранных стандартов. Однако, эта документация имеет в своем содержании достаточно большое количество устаревшей информации, что повлияло на формирование отечественного стандарта ГОСТ Р 58277-2018 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний», по которому и были произведены дальнейшие исследования.

Для проведения испытания был выбран следующий состав сухой строительной смеси. В роли наполнителя выступал портландцемент ЦЕМ I 42,5Н марки М500, с высоким содержанием быстрореагирующих минералов, таких как  $C_3S$  и  $C_3A$ , производимый холдингом АО «Евроцемент групп» в Липецкой области. Роль вяжущего выполнял песок вспученный перлитовый ВПМ 75 с размерами зерен 0,16 - 1,25 мм и плотностью  $100 \text{ кг/м}^3$ , изготавливаемый на предприятии ООО «Бетонпром» города Старый Оскол. В качестве модифицирующих добавок использовались следующие компоненты: для увеличения водоудерживающей способности – эфир целлюлозы; для повышения адгезии между наносимым раствором и поверхностью – редиспергируемый сополимерный порошок. Кроме этого в состав цементного теста добавлялись порообразователь, загуститель и гидрофобизатор.

Введение модифицирующих добавок оказывает достаточно специфическое влияние на скорость структурообразования теплоизоляционной штукатурки. Такой эффект обуславливается формированием полимерной пленки вокруг гранул исходных сырьевых материалов, что в свою очередь замедляет процессы гидролиза и гидратации клинкерных минералов, входящих в химический состав портландцемента [3].

Модифицирующие добавки, несомненно, играют большую роль в формировании изделия, отличительной чертой которого будут высокие эксплуатационные показатели. Однако, само по себе соотношение «цемент – перлитовый песок» в системе цементного теста также определяет физико-механические характеристики готового теплоизоляционного покрытия.

На рис. 1 представлены изменения прочности на сжатие (фиолетовая кривая) и плотности (зеленая кривая) цементного камня в возрасте 28 дней в зависимости от корректировки соотношения «цемент – перлитовый песок».



*Рис. 1. Влияние соотношения «цемент – перлитовый песок» на физические свойства цементного камня*

В ходе исследования было установлено, что оптимальное соотношение ключевых компонентов теплоизоляционной штукатурки по объему должно соответствовать значениям 1:7 - 1:9. При этом с увеличением концентрации вспученного перлитового песка, где соотношение «наполнитель – вяжущее» равняется 1:11 - 1:15 процесс структурообразования возрастает до 3,5 часов.

Таким образом, наиболее рациональным является соотношение «цемент – перлитовый песок», равное 1:7. В этом случае сохраняются наиболее важные физико-механические характеристики готовой продукции, а так же соблюдается экономическая рентабельность производства.

#### Литература

1. Чекардовский, М. Н. Теплоизоляционные перлитовые штукатурки / М. Н. Чекардовский, К. П. Гусева, С. Ю. Лебедев // Вестник Южно-Уральского

государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2020. – Т. 20. – № 3. – С. 28-33.

2. Колосова, А. С. Современные эффективные теплоизоляционные материалы на неорганической основе / А. С. Колосова, Е. С. Пикалов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2020. – № 9. – С. 64-75.

3. Штукатурные покрытия как регулятор параметров микроклимата в помещении: обзор теоретических и экспериментальных исследований / В. В. Строкова, М. Н. Сивальнева, С. В. Неровная, Б. Б. Второв // Строительные материалы. – 2021. – № 7. – С. 32-72.

4. Легкая штукатурная система / А. Д. Жуков, И. В. Бессонов, Б. А. Демиссе, Р. С. Поудел // Сборник докладов Третьей Национальной научной конференции «Актуальные проблемы строительной отрасли и образования» – 2022. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2023. – С. 128-132.

5. Василовская, Н. Г. Экологически безопасный композиционный материал для высокотемпературной теплоизоляции / Н. Г. Василовская, И. Г. Енджиевская, Н. М. Кочеткова // Вестник ГГНТУ. Технические науки. – 2022. – Т. 18. – № 3(29). – С. 73-81.

УДК 624.953.046

### **Краткий обзор с анализом способов антикоррозийной защиты конструкций и оборудования**

Захарова Юлия Алексеевна, студент специальности  
«Строительство уникальных зданий и сооружений»;

Ращепкина Светлана Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Промышленное и гражданское строительство»

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

*В работе рассмотрены и проанализированы различные способы защиты строительных конструкций от коррозии; показаны достоинства, недостатки и применение эффективных композиций для антикоррозийных покрытий.*

Коррозия строительных конструкций – это важнейшая проблема, с которой сталкиваются многие отрасли промышленности, включая строительную индустрию. Оборудование и сооружения составляют значительную часть промышленных фондов, и сохранение их в надлежащем состоянии является важным фактором для строительной организации [1]. Антикоррозионные покрытия элементов, деталей – одно из наиболее распространенных способов защиты строительных конструкций или коммуникаций от возможных негативных внешних воздействий.

Защита антикоррозионного покрытия – создание на поверхности элемента дополнительного слоя, который предотвращает непосредственный контакт с агрессивной средой, что позволяет значительно продлить срок службы конструкций, деталей. Нами были рассмотрены и проанализированы различные типы антикоррозионных покрытий. Основные направления для выбора покрытия – долговечность и надежность различных деталей, трубопроводов, строительных конструкций и множества других изделий [1-3].

Для предупреждения коррозии зданий и сооружений, имеющих агрессивную среду, применяют разные способы защиты, в том числе металлизацию, окраску лакокрасочными составами, гуммирование и гидрофобизацию. Антикоррозионная защита необходима трубам и трубопроводам, строительным металлическим и железобетонным конструкциям, транспорту (рис. 1). В защите нуждаются мосты, гидросооружения, цистерны, а также различного рода галереи и эстакады, имеющие контакты с агрессивной средой.

В работе проведен обзор и анализ различных типов антикоррозионных покрытий и выявлены оптимальные решения.



*а*

*б*

*Рис. 1. Коррозия стальных сооружений:  
а – вертикальный цилиндрический резервуар [4];  
б – конструкции судовой арматуры [5]*

Компоненты антикоррозионных покрытий.

Существует несколько составов антикоррозийных покрытий конструкций, каждое из которых имеет свои особенности, достоинства и область применения.

Тип 1 (пат. RU2283331C1 [3]). Композиция предназначена для повышения долговечности элементов при эксплуатации в сильноагрессивных средах. Ее состав включает соотношение компонентов в мас.%, которые приведены в табл. 1.

Достоинства:

- повышение топливостойкости;
- улучшение противокоррозионной прочности стального покрытия в сильноагрессивных средах;
- обеспечение коррозионной защиты оборудования одним слоем.

Таблица 1

Соотношения компонентов для защитного покрытия [3]

Раствор эпоксидной смолы Э-41 в ксилоле и ацетоне	40-52
Вышеуказанная разновидность природного мелкочешуйчатого альфа-оксида железа	11-27
Вышеуказанный кремнийорганический отвердитель АСОТ-2	12-17
Тиокол	7-10
Синтетический кремнезем – аэросил А-175	3-5
Стронций хромовокислый	7-9

Недостатки:

- композиция не обеспечивает требуемую долговечность защиты от коррозии;
- увеличение потерь материалов при нанесении покрытия на внутреннюю поверхность трубопроводов и резервуаров.

Применение.

Композиция относится к получению состава для защиты от коррозии основных конструкционных материалов (стали, бетона), применяемой для защиты внутренней и внешней поверхностей топливных резервуаров и трубопроводов, работающих в среде топлива с примесью воды.

Тип 2 (пат. RU2378305C1 [3]). Это покрытие обеспечивает высокие технологические свойства процесса антикоррозионной обработки поверхности изделий из черных металлов, при одновременном обеспечении повышенной длительности протекторной защиты в условиях средне- и сильноагрессивной среды. Композиция имеет составы (в мас.%), приведенные в табл. 2.

Достоинства:

– получение одноупаковочной антикоррозионного состава с высокими технологическими свойствами,

– обеспечение повышенной длительности протекторной защиты покрытий в условиях средней и сильноагрессивной среды.

Недостатки:

– при использовании в качестве связующего алкидного пленкообразователя ограничиваются пределы агрессивности среды, в которой может быть использован состав.

Таблица 2

Соотношения компонентов для антикоррозионного покрытия [3]

1 вариант		2 вариант	
Хлоркаучук	14,0-19,0	Высокодисперсный порошок	48,8-69,6
Смола алкидная с кислотностью не боле 20 мин.	6,0-9,0	Бентонит органофильный	0,2-0,3
Хлорпарафиновый воск	7,0-11,0	Полимеризационное амфотерное масло	0,2-0,3
Органический растворитель	остальное	Графит	4,0-4,5
		Оксид цинка	0,9-1,2
		Указанное связующее	остальное

Применение.

Композиция рекомендуется для защиты от коррозии стали и бетона. Она эффективна для защиты внутренней и внешней поверхностей топливных стальных резервуаров и трубопроводов, работающих в среде топлива с примесью воды.

Тип 3 (пат. RU2391367C2 [3]). Предложенная защитная композиция – получение грунта-преобразователя ржавчины с оптимальной вязкостью, розливом, ускоренным временем высыхания покрытий и предотвращения дальнейшего развитие коррозии металла. Состав композиции представлен (в мас.%), в табл. 3.

Достоинства:

– грунт-преобразователь ржавчины водостоек, атмосферостоек, обладает лучшей адгезией к подложке;

– обладает ускоренным временем практического высыхания;

– обладает оптимальной вязкостью и хорошим розливом.

Недостатки:



– содержание большого количества ортофосфорной кислоты, которая реагирует не только с окислами железа, но и с самим металлом;

– в состав также входит большое количество воды, которая может остаться под защитной пленкой и вызвать коррозию металла.

Таблица 3

Соотношения компонентов для грунта-преобразователя ржавчины [3]

Компоненты	Предлагаемая композиция (в мас. ч.)			Предлагаемая композиция (в мас. ч.)		
	Пример 1			Пример 2		
	Состав 1	Состав 2	Состав 3	Состав 1	Состав 2	Состав 3
Пенополистирол	15,00	20,00	25,00	24,94	23,47	22,46
Бутилацетат	40,00	57,00	70,00	66,50	66,90	62,89
Калий жеззисто-синеродистый	5,00	8,00	16,50	8,31	9,39	14,38
Ингибитор коррозии	0,15	0,20	0,30	0,25	0,24	0,27
Ортофосфорная кислота (70%-ная)	3,00	6,00	10,00	5,00	7,00	9,00

#### Применение.

Рекомендуется для обработки крупногабаритных конструкций из низкоуглеродистых сталей: мостов, опор линий электропередач, наружных и внутренних поверхностей вагонов, предназначенных для транспортировки агрессивных веществ, в частности минеральных удобрений в условиях умеренно-холодного и влажного климата.

Тип 4 (пат.RU2378304C1 [3]). Приведенный состав компонентов обеспечивает высокие технологические свойства процесса антикоррозионной обработки поверхности изделий из черных металлов. Состав имеет компоненты (в мас.%), указанные в табл. 4.

#### Достоинства:

- высокая химическая стойкость к агрессивным средам и обладание длительным протекторным действием;
- долговечность антикоррозионной защиты металлической поверхности;
- высокая длительность хранения и хорошие технологические свойства;
- высокая производительность антикоррозионной обработки.

Таблица 4

Соотношения компонентов покрывного состава для защиты металла от коррозии [3]

Хлоркаучук	14,00-19,00
Смола эпоксидная	6,0-9,0
Хлорпарафиновый воск	7,0-11,0

Недостатки:

- состав характеризуется слабым структурированием;
- длительность сушки составляет не менее 22 часов, что снижает производительность труда и увеличивает затраты на антикоррозионную обработку.

Применение.

Композиция рекомендуется к использованию в промышленном и гражданском строительстве, судостроении, автомобилестроении и мостостроении для защиты инженерных и гидротехнических сооружений, промышленных и энергетических установок, оборудования химической и нефтехимической промышленности, портовых сооружений.

Тип 5 (пат. RU2149169C1, [3]). Композиция расширяет рабочий диапазон температуры при эксплуатации покрытия, повышает срок эксплуатации получаемого покрытия. Она имеет соотношение компонентов в мас.%, которые приведены в табл. 5.

Таблица 5

Соотношения компонентов состава краски теплозащитной [3]

Вышеуказанное связующее	20-30
Вышеуказанные полые микрошарики	10-30
Диоксид титана	2-5
Антипиреновая добавка	5-25
Органический растворитель, остальное	-

Достоинства:

- композиция обеспечивает хорошие звукоизоляционные свойства;
- состав обеспечивает звукопоглощающего покрытия, что особенно важно при его использовании в строительстве жилых объектов.

Недостаток:

- низкая механическая прочность, обусловленная недостаточностью силы сцепления между поверхностью микробусин и смесью бутадиен-стирольного каучука и акрилового полимера.

Применение.

Покрытие используется в строительных работах. Состав применяется для достаточно вязких лакокрасочных материалов типа мастик, шпатлевок.

Тип 6 (пат. RU2310670C9, [3]). Композиция увеличивает адгезию, химическую стойкость и водостойкость, эластичность пленки лакокрасочного покрытия, нанесенного на влажный металл. Она состоит из компонентов в мас.%, которые приведены в табл. 6.

Соотношения компонентов состава краски теплозащитной [3]

Битум нефтяной	35,3-37,5
Эпоксидная смола	2,5-3,1
Полиэтиленполиамин	3,3-3,6
Преобразователь гидратированных оксидов железа	0,9-1,2
Растворитель	38-39,6
Канифоль	1,8-2,2
Нефрас	2,8-3,2
Пассиватор поверхности	11,7-12,1

Достоинства:

- долговечность покрытия и низкий расход материала;
- стойкость к агрессивным факторам внешней среды;
- простота нанесения.

Недостаток:

– покрытие защищает металлическую конструкцию на непродолжительный срок.

Применение.

Предложенный состав может быть использован в химической промышленности, в калийном производстве, при защите оборудования и металлических конструкций, в автомобильной промышленности, на предприятиях цветной металлургии.

На рис. 2 показаны стальные вертикальные цилиндрические резервуары, защищенные от коррозии, имеющие достаточную долговечность и надежность от атмосферных воздействий, являющиеся основными «агрессорами» сооружений.



а

б

Рис.2. Вертикальные цилиндрические резервуары:

а – резервуары для хранения нефтепродуктов объемом по 50 тыс. м<sup>3</sup>, г. Петергоф [6];

б – резервуары для хранения нефтепродуктов объемом по 10 тыс. м<sup>3</sup>, г. Нягань [7]

Таким образом, краткий обзор и анализ антикоррозионных композиций показал:

- одним из действенных методов долговечности конструкций, элементов и деталей – это существенное уменьшение коррозионных процессов; при этом, их можно практически полностью ликвидировать путем использования коррозионностойких материалов и нанесения защитных покрытий;

- все композиции обладают необходимыми защитными коррозионными характеристиками, имеют достоинства и рекомендуемое применение.

Заключение.

На основе выполненного анализа показано, что актуальность проблемы антикоррозионной защиты металлов и бетона основывается на необходимости не только защиты конструкций, оборудования, но и окружающей среды, сохранения природных ресурсов. За счет внедрения рассмотренных композиций покрытий можно добиться следующего:

- улучшить работу оборудования без дополнительных вмешательств;
- увеличить срок эксплуатации здания за счёт качественного антикоррозионного покрытия;
- выявить экономичность покрытия в соответствии с его качеством;
- выявить необходимый состав покрытия необходимый для данного технического процесса;
- повысить экономичность за счет экономичных и эффективных компонентов покрытия.

Результаты проведенного краткого обзора и анализа антикоррозионных покрытий рекомендуются к применению в практике строительства и реконструкции гражданских и промышленных зданий и специальных сооружений, включая технологическое оборудование.

#### Литература

1. Сафрончик, В. И. Защита от коррозии строительных конструкций и технологического оборудования / В. И. Сафрончик. – Л.: Стройиздат, 1988. – 255с.

2. СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85. – М.: АО «НИЦ «Строительство». – 74 с.

3. Патентный поиск: [сайт]. – URL: <https://findpatent.ru> / (дата обращения: 20.11.2023). – Текст: электронный.

4. Защита от коррозии стальных резервуаров: [сайт]. – URL: <https://mdmetalla.ru/stal/zaschita-ot-korrozii-stalnyh-rezervuarov.html> (дата обращения: 16.01.2024). – Текст: электронный.

5. Защита судовой арматуры от коррозии: [сайт]. – URL: <https://stroitehmsk.ru/materialy/zaschita-sudovoj-armatury-ot-korrozii-80-foto.html> (дата обращения: 16.01.2024). – Текст: электронный.

6. Петергофская нефтебаза: [сайт]. – URL: <https://kron.ru/> (дата обращения: 16.01.2024). – Текст: электронный.

7. Обзор строительства и реконструкции инфраструктуры компании «Транснефть»: [сайт]. – URL: <https://sdelanounas.ru/blogs/132409/> (дата обращения: 16.01.2024). – Текст: электронный.

УДК 691.328.006

### **Полевые испытания большепролетной железобетонной ребристой плиты по серии 1.465.1.-15**

Землянский Анатолий Андреевич, доктор технических наук, профессор кафедры

«Промышленное и гражданское строительство»;

Андреева Наталья Викторовна, старший преподаватель кафедры

«Промышленное и гражданское строительство»;

Бех Анжелика Васильевна, студент направления «Строительство»;

Тарасенко Владислав Сергеевич, студент направления «Строительство»;

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

*В работе представлены обширные результаты полевого обследования и испытания железобетонной, ребристой, преднапряженной плиты с использованием приборов неразрушающей дефектоскопии и магнитометрических методов определения фактического уровня напряженного состояния рабочей арматуры.*

В 90-х годах прошлого столетия в капитальном строительстве России имело место достаточно частое использование старых плит покрытия и перекрытия для нового строительства, что требует на практике обязательного тщательного обследования и предварительного испытания указанных плит в полевых условиях. Современные методы обследования и испытания несущих строительных конструкций,

бывших в эксплуатации и предназначенных для повторного использования при строительстве других ответственных строительных объектов, имеют очень много особенностей, которые, по нашему мнению, следует в обязательном порядке учитывать при разработке детальной программы обследования и испытания указанных конструкций на практике в полевых условиях. Именно этому, достаточно сложному и непростому вопросу, посвящена рассматриваемая работа.

В нашем случае по результатам архивных данных установлено, что партия железобетонных ребристых плит размером 3x12 для покрытия одноэтажных производственных зданий серии 1.465.1-15 [5] и марки – 2ПГ12-3Шв была использована в 1991-1993 годах при строительстве крупного завода по переработке кожаных изделий на территории Химзавода г. Балаково. Однако, после 1993 года данное строительство было приостановлено и возведенные корпуса стали разбираться, а несущие железобетонные колонны, фермы и плиты покрытия повторно использоваться при строительстве различных объектов в г. Балаково. Именно поэтому, авторам данной работы поступило официальное задание выполнить комплексное обследование и испытание, в частности, большегабаритных плит покрытия на предмет дальнейшего безаварийного использования при строительстве других промышленных объектов в г. Балаково. Одновременно авторами были установлены фактические условия хранения изделий стройиндустрии до их обследования и испытания.

Для оценки уровня остаточного ресурса рассматриваемых плит на первом этапе данной работы авторами была разработана детальная программа обследования и испытания указанных плит, в которой был отражен объем и состав визуального обследования плит; состав и объем инструментального обследования плит; методика и последовательность испытания плит; перечень, применяемого оборудования и приборов неразрушающего контроля качества материала, используемого в обследуемых плитах; методика обработки полученных результатов, а также методика оценки годности плит для дальнейшего использования в новом строительстве.

На втором этапе была изучена вся проектная и техническая документация, имеющаяся на обследуемые плиты. В результате установлено, что дата изготовления плит и номер партии – неизвестны. На плитах отсутствует какая-либо маркировка, что свидетельствует о некондиционности рассматриваемых плит. Более детальное изучение конструкции плит позволило установить, что данная партия плит относится к серии 1.465.1-15 [5], а конструктивные особенности обследуемых плит относятся к марке – 2ПГ12-3Шв.

На третьем этапе были установлены условия хранения плит до испытания. При этом выявлено, что плиты складировались на открытой площадке без использования дополнительных средств защиты от атмосферных осадков и сезонного перепада окружающей температуры. Часть плит при хранении имела непроектное опирание, в результате в обследуемой и испытываемой плите в середине продольного рабочего ребра жесткости возникла трещина, раскрытие которой увеличивается в верхней сжатой зоне плиты. В целом указанные плиты хранились на открытой площадке в указанном виде более 22 лет.

На четвертом этапе в ходе визуального освидетельствования плиты в соответствии с требованиями [1, 2, 3] выявлено, что по геометрическим размерам, качеству бетонной поверхности и внешнему виду все плиты соответствуют требованиям ГОСТ 28042-2013. При этом отклонения по длине плиты не превышают  $\pm 10$  мм, по высоте  $\pm 5$  мм, по толщине полки  $\pm 3$  мм, по ширине плиты  $\pm 6$  мм. Имеются усадочные трещины, ширина раскрытия которых не превышают 0,1 мм. В отобранной для испытания плите имеется трещина, раскрывающаяся в сжатой зоне до 0,2 мм, но при испытании плиты в проектном положении последняя, по мере увеличения нагрузки, закрылась. Одновременно в ходе визуального обследования плит установлено, что все выявленные дефекты: незначительные трещины, небольшие изъяны поверхности (сколы, раковины, каверны и незначительное расслоение бетона в сжатой зоне) полностью соответствуют ограничительным требованиям ГОСТ 28042-2013. Кроме того, при визуальном обследовании плит выявлено, что на бетоне отсутствуют пятна ржавчины, зоны выщелачивания, сульфатации и карбонизации бетона, какие-либо отклонения и отличия диаметров и шага продольной и поперечной арматуры от требований проектной документации, в частности серии 1.465.1-15 [5]. Концы преднапряженной арматуры выходят за пределы торцевой части плит не более 10 мм и закрашены битумной мастикой для защиты от коррозии.

На пятом этапе было выполнено инструментальное обследование плит, при котором были использованы цифровые, поверенные электронные приборы неразрушающей дефектоскопии и ряд механических методов неразрушающего контроля. В частности, для ультразвукового определения прочности бетона плиты использовался прибор марки «Пульсар 1.0», для склерометрического определения прочности бетона применялся прибор марки «Оникс 2.5», для определения толщины защитного слоя, диаметра и шага рабочей и конструктивной арматуры плиты использовался прибор марки ИПА МГ-4 и «Поиск 2.3», для определения влажности бетона использовался влагомер марки МГ-4. В ходе неразрушающего контроля

состояния плиты и оценки прочности бетона, толщины защитного слоя, влажности бетона, диаметра и шага рабочей и конструктивной арматуры было выявлено, что все указанные параметры полностью соответствуют требованиям проектной документации на плиты и требованиям серии 1.465.1-15 [5]. При этом класс бетона по прочности на сжатие обследованных плит соответствует В30. Фактические прочностные характеристики бетона на день проведения испытания плиты равны ( $R_{сж} = 35-40$  МПа.). Вид армирования и класс арматурной стали для рабочей арматуры принята – арматура в количестве 4-х стержней (по 2 стержня в ребре) диаметром 25 мм класса АШв. Фактические прочностные характеристики арматуры определены косвенно по твердости стали и соответствуют классу АШв. По априорной информации выявлено, что по категории трещиностойкости, обследуемые плиты относятся ко 2-й категории.

На шестом этапе были выполнены все подготовительные мероприятия и проведено само испытание одной из отбракованных плит в полном соответствии с требованиями ГОСТ 8829-2018 [4]. При этом принятая схема испытания полностью соответствовала требованиям нормативной документации. Масса плиты равна 7300 кг. На плите имелся слой утеплителя в виде керамзита толщиной 10-12 см (1500 кг) и слой цементно-песчаной стяжки толщиной 2-2.5 см. (1500 кг). Масса загрузочных элементов состояла из типовых бетонных фундаментных блоков марки ФБС 24-3-6m массой 970 кг.

Контрольные значения нагрузок, указанных в проектной документации, были приняты следующими:

- по прочности  $P_{контр} = 6,70$  КПа, при  $c = 1,2$ ;

$P_{контр} = 7,70$  КПа, при  $c = 1,4$ ;

$P_{контр} = 9,20$  КПа, при  $c = 1,6$ ;

- по жесткости  $P_{ж} = 2,60$  КПа;

- по образованию трещин  $P_{1тр} = 2,30$  КПа;

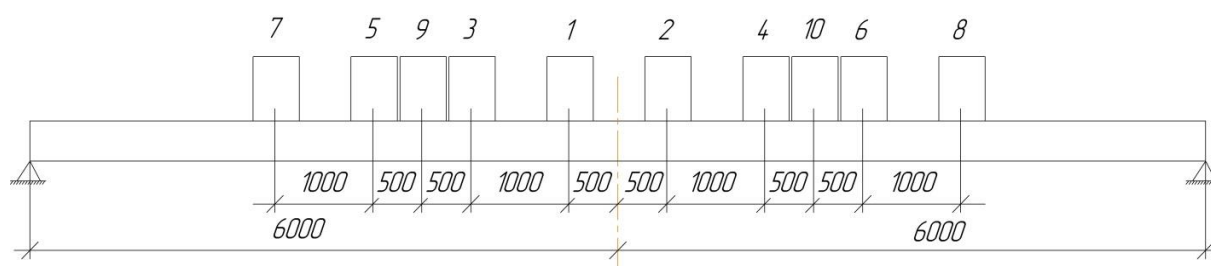
- по ширине раскрытия трещин  $P_{2тр} = 3,70$  КПа.

Контрольные значения прогибов и ширины раскрытия трещин, полученные при испытании плиты, не должны были превышать:  $f_{контр} = 20$  мм,  $a_{контр} = 0,25$  мм.

Испытание плиты выполнялось за счет статического нагружения плиты бетонными фундаментными блоками. При этом нагружение осуществлялось по ступеням, величина которых составляла 1/10 от базового значения максимальной нагрузки. Измерение прогибов в середине плиты выполнялась с помощью двух прогибомеров Максимова, установленных в середине плиты, строго по рабочим



сторонам (с точностью 0,1 мм.). Расчетная схема загрузки плиты фундаментными блоками в ходе испытания представлены на рис. 1



*Рис. 1. Расчетная схема испытания плиты марки 2ПГ12-3Шв*

Процедура испытания плиты и определения прогибов плиты с оценкой ширины раскрытия трещин и деформации преднапряженной рабочей арматуры в зоне анкерования представлены на рис. 2 и рис. 3 и систематизированы по всем ступеням загрузки плиты, в табл. 1.



*Рис. 2. Последовательность загрузки плиты*



*Рис. 3. Схема измерения прогибов плиты в ходе испытания*

Таблица 1

## Экспериментальные данные

Кол-во блоков нагрузки	В пересчете на эквив. нагрузку, кг/кв.м	Показание прогибомера № 1	Прогиб по ребру №1, мм	Показание прогибо-ра №2	Прогиб по ребру №2, мм	Средний прогиб, мм
0		0,053	0	0,092	0	0
1	110.2	0,198	1,45	0,347	2,55	1,35
2	137.2	0,497	4,44	0,621	5,29	4,87
3	164.2	0,838	7,85	0,924	8,32	8,09
4	191.2	1,179	11,26	1,226	11,34	11,30
5	218.2	1,454	14,01	1,453	13,61	13,81
6	242,2	1,725	16,72	1,700	16,08	16,40
7	272.2	1,930	18,77	1,878	17,86	18,32
8	299.2	2,149	20,96	2,085	19,90	20,43
9	326.2	2,525	24,72	2,402	23,10	23,91
10	353.2	2,870	28,17	2,725	26,33	27,25
10, после 30 мин. выдержки	353.2	3,057	30,04	2,885	27,93	28,99

Детальный анализ результатов, полученных в ходе испытания плиты, позволил установить, что нагрузка, соответствующая началу образования первой волосяной трещины в нижней растянутой части середины ребра, жесткость плиты равна 3.26 КПа, что значительно больше, чем регламентировано требованиями серии 1.465.1-15 [5], в частности по проектной документации. Первая волосяная трещина должна была появиться при нагрузке  $P_{1тр} = 2,30$  КПа. При этом, при нагружении плиты до  $P_{2тр} = 3,70$  КПа, указанная трещина не достигла предельной ширины, равной  $a_{контр} = 0,25$  мм, а составила всего 0.20 мм. Прогиб при соответствующей контрольной нагрузке по жесткости  $P_{ж} = 2,60$  КПа, составил всего 18.32 мм, что также значительно ниже, чем допускаемый прогиб, равный в рассматриваемом случае = 20 мм. Наконец, смещение концов рабочей арматуры в торце плиты составило 0.01 мм, что ниже предельно

допускаемого значения, равного 0,10 мм. Измерение указанного параметра осуществлялось с помощью индикатора часового типа с ценой деления 0.001 мм.

Кроме отмеченного, при испытании плиты авторами был использован магнитометрический метод определения напряженно-деформированного состояния рабочей арматуры плиты (разработанной проф. А. А. Землянским), позволяющий в первом приближении установить уровень напряжения в рабочей арматуре, который составил в рассматриваемом случае не более 400 МПа при нагрузки  $P_{2тр} = 3,53$  КПа, что полностью подтверждает высокий уровень эксплуатационной надежности испытываемой плиты.

Полный анализ результатов, полученных в ходе детального освидетельствования и полевого испытания плиты, позволил установить, что испытанная плита проходит как по первому, так и по второму предельному состоянию и даже имеет некоторый запас прочности, несмотря на то, что рассматриваемые плиты хранились под открытым небом в течение 22 лет. При этом прочность бетона не снизилась, а наоборот несколько увеличилась. Характеристики арматуры, включая элемент совместной работы арматуры и бетона, также не претерпели каких-либо ощутимых негативных изменений, что объясняется, вероятно, только тем, что плиты хранились не в агрессивной среде, а в благоприятных для бетона условиях. Учитывая все отмеченное в рассматриваемом случае, можно признать, что техническое состояние плит является абсолютно работоспособным, согласно требованиям ГОСТ 8829-2018 [4] и ГОСТ 31937-2011 [2], а также РД ЭО 0462-03 [3], кроме того, полученные положительные результаты испытания можно распространить на все плиты рассматриваемой партии.

#### Литература

1. СП 13-102-2003 Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – Госстрой России. – Москва, 2011.
2. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Стандартинформ, 2014.
3. РД ЭО 0462-03 Методика по обоснованию срока службы строительных конструкций зданий и сооружений атомных станций. – М.: ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2015.
4. ГОСТ 8829-2018 Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытания нагружением, правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости. – М.: Стандартинформ, 2019.

5. Серия 1.465.1-15 Плиты железобетонные ребристые размером 3x12 для покрытия одноэтажных промышленных предприятий. – М.: Госстрой СССР, 1990.

6. ГОСТ 17624-2021 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности бетона. – М.: Стандартиформ, 2022.

7. ГОСТ 22690-2015 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. – М.: Стандартиформ, 2015.

8. ГОСТ 22904-93 Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры. – М.: Госстрой России, 1993.

9. Патент № 2295118 Российская Федерация, МПК G01L 1/12 (2006.01). Магнитоупругий датчик: заявл. 22.12.2005; опубл. 10.03.2007 / Землянский А. А., Землянский К. А.

УДК 624.0; 539.3

**Результаты широкомасштабных экспериментальных работ  
по оценке НДС фундаментов мелкого заложения с использованием  
инновационных датчиков нового поколения**

<sup>1</sup>Землянский Анатолий Андреевич, доктор технических наук, профессор кафедры  
«Промышленное и гражданское строительство»;

<sup>2</sup>Землянский Константин Анатольевич, ведущий инженер ТАИ;

<sup>1</sup>Андреева Наталья Викторовна, старший преподаватель кафедры  
«Промышленное и гражданское строительство»;

<sup>1</sup>Тарасенко Владислав Сергеевич, студент направления «Строительство»;

<sup>1</sup>Исаева Юлия Сергеевна, студент направления «Строительство»

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

<sup>2</sup>Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Балаковская атомная станция», г. Балаково

*В работе представлены результаты инновационных исследований модели ленточного фундамента в условиях плоской деформации с применением высокоточной системы мониторинга 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 инженерных расчетах деформационного поведения проектируемого фундамента.*

Фундаменты мелкого заложения (ФМЗ), согласно существующей статистике массового строительства различных инженерных объектов, являются наиболее востребованными и многочисленными по своей конструкции.

Указанные фундаменты относятся к наиболее ответственным несущим конструкциям возводимых зданий и сооружений, и 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.Г. Березанцев, А.Н. Богомолов, Л.А. Бартоломей, Ф.Г. Габиров, 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. Малышев, 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. Ставницер, З.Г. Тер-Мартиросян, И.В. Федорова, В.Г. Федоровский, В.А. Флорин, Н.А. Цытович, Д.М. Шапиро, К. Akai, R. Hilscher, H. Lundgren, G.G. Meyerhof, K. Mortensen, J.F. Nixon, L. Prandtl, K. Terzaghi, R.F. Scott, Z. Mroz и др. [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 Н.П. Пузыревского [6], график зависимости осадки от внешней нагрузки можно условно разделить на три фазы деформирования (рис. 1).

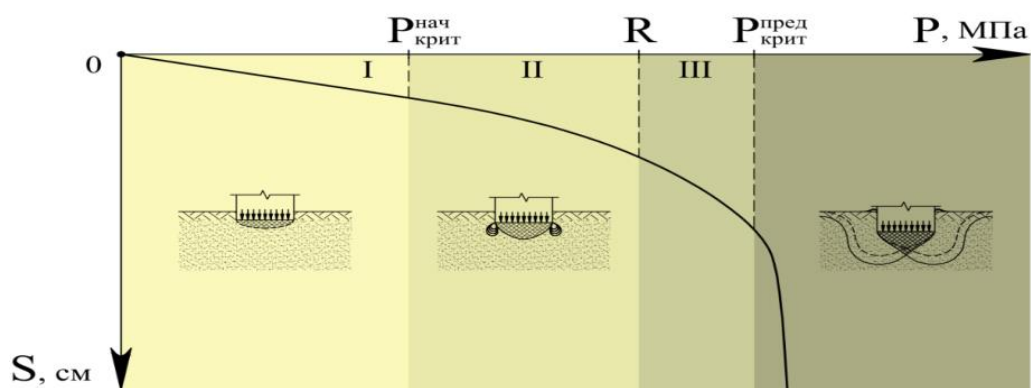


Рис. 1. График зависимости осадки фундамента мелкого заложения от внешнего давления с выделением критических фаз деформирования грунта

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  $P_{\text{нач крит}}$ , 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  $P_{\text{пред крит}}$ , 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, характеризуемое либо полной потерей устойчивости грунта, либо лавинообразным нарастанием осадок. Осадки при этом 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 острие 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 В.И. Курдюмовым и М.В. Малышевым [8, 9].

Расчетные значения начального критического давления  $P_{крит}^{нач}$  при  $z = 0$  в конце первой фазы деформирования и расчетное сопротивление грунта соответственно в конце второй фазы можно определить, воспользовавшись формулой Н.П. Пузыревского:

$$P_{крит} = \frac{\pi}{ctg\varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}} \cdot (\gamma z_{max} + \gamma^* h + c \cdot ctg\varphi) + \gamma h, \quad (1)$$

где  $P_{крит}$  – критическое напряжение под подошвой фундамента;  $\pi$  – соотношение длины окружности к диаметру круга для осесимметричной задачи;  $\varphi$  – угол внутреннего трения грунта;  $z_{max}$  – ордината области предельного равновесия грунта;  $\gamma$  – удельный вес грунта под подошвой фундамента;  $\gamma^*$  – 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:

$$P_{крит}^{нач} = \frac{\pi(\gamma^* h + c \cdot ctg\varphi)}{ctg\varphi + \varphi - \frac{\pi}{2}} + \gamma h, \quad (2)$$

При  $z_{max} = 0.25b$ , где  $b$  – активная ширина фундамента,  $P_{крит}$  становится равным расчетному сопротивлению грунта –  $R$ , которое можно определить по следующей затабулированной формуле на основе пункта 5.6.7 СП 22.13330.2016 [10]:

$$R = \frac{\gamma_{c1} \gamma_{c2}}{k} \cdot [M_{\gamma} k_z b \gamma_{II} + M_q d_1 \gamma_{II}^* + M_c c_{II}], \quad (3)$$

где  $\gamma_{c1}$  и  $\gamma_{c2}$  – 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;  $M_{\gamma}$ ,  $M_q$ ,  $M_c$  – коэффициенты, принимаемые в зависимости от нормативной величины угла внутреннего трения грунта;  $b$  – ширина фундамента;  $\gamma_{II}$  – нормативное значение удельного веса грунта под подошвой;  $\gamma_{II}^*$  – 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 экспериментального 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, позволяющая с дискретностью 0,20 кг/см<sup>2</sup> ступенями прикладывать неизменяемо стабильную внешнюю нагрузку на модель фундамента от нуля до 10 кг/см<sup>2</sup> 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<sup>3</sup>; влажность грунта 8 %; пористость грунта 0,75; модуль общей деформации 70 кг/см<sup>2</sup>. 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 мездозы нового поколения, работающие на основе использования нетрадиционного активного материала, сопротивление которого практически линейно зависит от приложенного к разработанной мездозе внешнего давления. Используемые датчики имеют следующие характеристики: модуль упругости более 1000 кг/см<sup>2</sup>; диаметр внешний 20 мм.; высота менее 4 мм; До начала практического использования разработанных инновационных датчиков последние были протарированы в специальной тарировочной емкости и в результате установлено, что разрешающая способность последних достигает более 0,005 кг/см<sup>2</sup> [11], что значительно выше всех



существующих тензометрических и оптоволоконных аналогов. Внешний вид цифровой системы мониторинга НДС исследуемого грунтового основания и самих датчиков (месдоз) представлен на рис. 2

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 исследуемой модели грунта имели следующие значения: начальное критическое давление  $0,276 \text{ кг/см}^2$ ; расчетное сопротивление около  $2 \text{ кг/см}^2$ ; предельное критическое давление более  $10 \text{ кг/см}^2$ .

На втором этапе, учитывая отмеченное в ходе проведенных экспериментов, была построена зависимость осадки фундамента от интенсивности внешнего давления передаваемого по подошве фундамента на грунт, которая отражена в табл. 1. При детальном анализе которой 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 профессором Н.П. Пузыревским.



*Рис. 2. Внешний вид цифровой системы мониторинга и датчиков для измерения НДС исследуемого грунтового основания*

Зависимость осадки модели фундамента от интенсивности внешней нагрузки

Давление под подошвой фунда-та Р (кг/см <sup>2</sup> )	0.0	0.2	.4	.6	.8	.0	.2	.4	.6	.8	.0	.2
Осадка ф-та S (мм)	0.0	0.25	.5	.8	.1	.4	.8	.2	.6	.1	.5	.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  $\alpha$  – 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  $\xi$  – коэффициент, определяемый в зависимости от отношению  $2z/b$  в центре подошвы,  $\eta$  – коэффициент, равный отношению  $l/b$  для исследуемого фундамента, что отражено в табл. 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.

В результате установлено, что в отличие от теории, на глубине 5 см. при давлении, равном расчетному сопротивлению грунта, в частности 2 кг/см<sup>2</sup> под подошвой фундамента возникает критическая точка в которой измеряемое напряжение достигает 4,10 кг/см<sup>2</sup>, что в 2,5 раза больше чем среднее напряжение под подошвой фундамента, что казалось бы является необъяснимым фактом нарушающем 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.

Таблица 2

Расчётные и экспериментальные значения напряжений  
в грунтовом основании от внешней нагрузки по глубине активной зоны

№ слоя	z, см.	$\xi = \frac{2z}{b}$	$\eta = \frac{1}{b}$	$\alpha$	$\sigma_{zp}^{расч}$ , $\frac{кг}{см^2}$	$\sigma_{zp}^{экс}$ , $\frac{кг}{см^2}$	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	<b>5,00</b>	1,00	2	0,82	<b>1,64</b>	<b>4,10</b>	<b>+250.0</b>
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

Данный факт увеличения давления в зоне вершины возникшего ядра находит дополнительное подтверждение и через то, что в конце второй фазу 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 представленной работе можно сделать следующие выводы:

1. Полученные в работе 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. – М.: Строй-издат, 1986. – 304 с.
2. Долматов, Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты / Б. И. Долматов. – Ленинград: Стойиздат, 2001. – 416 с.
3. Цытович, Н. А. Механика грунтов (краткий курс) / Н. А. Цытович. – М.: 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. – М.: Стройиздат, 2004. – 679 с.
5. Механика грунтов / С. Б. Ухов, В. В. Семенов, В. В. Знаменский [и др.]. – М.: Изд-во АСВ, 2005. – 523 с.
6. Цытович, Н. А. Основы прикладной механики грунтов / Н. А. Цытович, З. Г. Тер-Мартirosян. – М.: Высшая школа, 1987. – 320 с.
7. Тер-Мартirosян, З. Г. Механика грунтов / З. Г. Тер-Мартirosян. – М.: Изд-во АСВ, 2005. – 489 с.
8. Курдюмов, В. И. Краткий курс Оснований и фундаментов / В. И. Курдюмов. – С.Пб.: Типография Ю. Н. Эрглих, 1897. – 250 с.
9. Малышев, М. В. Прочность и устойчивость оснований и сооружений / М. В. Малышев. – М.: Стройиздат, 1980. – 137 с.

10. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\* (с Изменениями N 1, 2, 3). Введён в действие с 17 июня 2017.

11. Землянский, А. А. Авторское свидетельство на изобретение № 1673895 Месдоза для измерения давления в грунте / А. А. Землянский; зарегистрировано в Госреестре СССР 30.08.92 г. – М.: ВНИИГПЭ.

УДК 624.15

### **Усиление и реконструкция фундаментов на слабых грунтах за счет активного кольцевого армирования с преднапряжением слабого грунта**

Землянский Анатолий Андреевич, доктор технических наук, профессор кафедры

«Промышленное и гражданское строительство»;

Жильцов Александр Николаевич, студент специальности

«Строительство уникальных зданий и сооружений»;

Бирюкова Екатерина Дмитриевна, студент специальности

«Строительство уникальных зданий и сооружений»

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

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

*Для практически любого строительного объекта важнейшим аспектом является надежность основания, поэтому изучение способов улучшения его до состояния, позволяющего эксплуатировать здание или сооружение в безаварийном режиме длительное время, выходя за рамки нормативных сроков эксплуатации, является актуальным. В настоящей статье рассмотрен инновационный способ усиления слабых грунтов и наглядно представлена его эффективность.*

Изучение и анализ результатов обследования тех или иных уникальных, исторических и высотных зданий и сооружений позволяет сделать вывод, что в большинстве случаев возникновение аварийных ситуаций происходит из-за недопустимо больших осадок грунтового основания под этими объектами. На практике это похоже на лавинообразный процесс, который имеет негативное воздействие на несущие элементы рассматриваемого объекта.

В частности в работах В.М. Улицкого, Б.И. Долматова, Е.А. Сорочана и М.Ю. Абелева и др. ученых, данный факт находит широкое подтверждение, что отражено в следующих публикациях [2 – 4]. К настоящему времени известно большое

количество методов пассивного армирования слабых грунтов для уменьшения ожидаемых осадок. Эти методы включают различные способы горизонтального или вертикального укрепления грунта с использованием новых композитных материалов, синтетических композиционных либо металлических.

На практике использование кольцевых свайных и сплошных шпунтовых стенок позволяет добиться пассивного эффекта за счет перераспределения вертикальных и горизонтальных напряжений. Это связано с изменением граничных условий нагрузки. Однако при практическом применении этого армирования уменьшение осадки несущего основания при интенсивной внешней нагрузке не превышает 60 %. Это ограничивает возможность достижения необходимой безаварийной и эффективной работы крупногабаритных сооружений. В ходе исследований было установлено, что проблемы, связанные с необходимостью разработки новых методов активного армирования слабых грунтов и создания нетрадиционных систем армирования, по-прежнему являются актуальными.

В работе [1 – 3] из-за большого смещения расчетной среды в горизонтальном направлении выявлен тот факт, что вертикальные осадки на поверхности грунтового основания в течение времени значительно увеличились. Эта ситуация служит основой для разработки нового принципа увеличения несущей способности грунтового основания.

Этот принцип основан на активном горизонтальном армировании грунта с помощью кольцевой предварительно напряженной шпунтовой стенки из полых элементов. Внутренняя область этой стенки может быть предварительно напряжена с использованием давления жидкости или воздуха, или давления саморасширяющегося раствора, вводимого в рабочую полость кольцевой стенки.

Полученные данные свидетельствуют о значительных изменениях в распределении горизонтальных и вертикальных нагрузок в грунте. На практике именно этот эффект может привести к значительному повышению прочности грунта и увеличению его несущей способности.

Установлено, что минимальная стоимость будет при условии, что рабочий диаметр армирующего элемента соответствует условиям,  $D \leq 1,3d$ ,  $d$  – диаметр резервуара. Рабочая высота предварительно напряженной стены будет находиться в пределах допустимого диапазона  $H \leq 0,3d$ . Кроме того, расстояние между предварительно напряженным кольцевым элементом  $h$  и поверхностью грунтового основания не должно превышать  $0,02d$ .

С целью подтверждения эффективности активных и пассивных армированных грунтовых оснований был проведен ряд экспериментальных исследований по количественной и качественной оценке деформационной способности армированных грунтовых оснований. Эксперименты проводились в лотках размерами 3х3х4 м, заполненных среднезернистым кварцевым песком с заданными характеристиками: плотностью  $\rho = 16 \text{ кН} / \text{м}^3$ , влажностью  $\omega \leq 12\%$ , углом внутреннего трения  $\phi = 34^\circ$  и общим модулем деформации  $E_0 = 5,4 \text{ МПа}$ . Нагружение моделировалось с помощью жесткого штампа, на который закреплялась герметично резиновая мембрана с диаметром 60 см и 120 см.

Таким образом, накачивая воздух, можно передавать абсолютно равномерно распределенные нагрузки с высокой интенсивностью. В результате всего цикла запланированных экспериментов автором получена средняя осадка абсолютно гибкого отпечатка при силе внешней нагрузки и типе армирования грунта, как показано на рисунке 2 а, б соответственно.

Результаты анализа показывают, что интенсивность нагрузки, равномерно распределенной,  $q_0 = 0,12$  (МПа). При действии равномерно распределенных вертикально нагрузок средняя осадка грунтового основания составляет около 39 мм, диаметр рабочей формы – 60 см, а во втором случае – около 24 мм. В третьем и четвертом случаях активное предварительное напряжение грунта вокруг одиночной сваи находится в пределах  $q_0 = 0,12$  (МПа), а осадка – около 18 мм. Наконец, в пятом случае при том же уровне предварительного напряжения осадка составила всего 0,88 мм, что показывает, что предложенный метод горизонтального активного армирования для слабых грунтов очень эффективен, поскольку за счет использования специальных кольцевых узлов для предварительного напряжения он устойчив. Средняя осадка на поверхности исследованного грунтового фундамента снизилась более чем в 40 раз по сравнению с неармированным грунтом, что свидетельствует о том, что авторы полностью подтвердили все теоретические прогнозы и исследования.

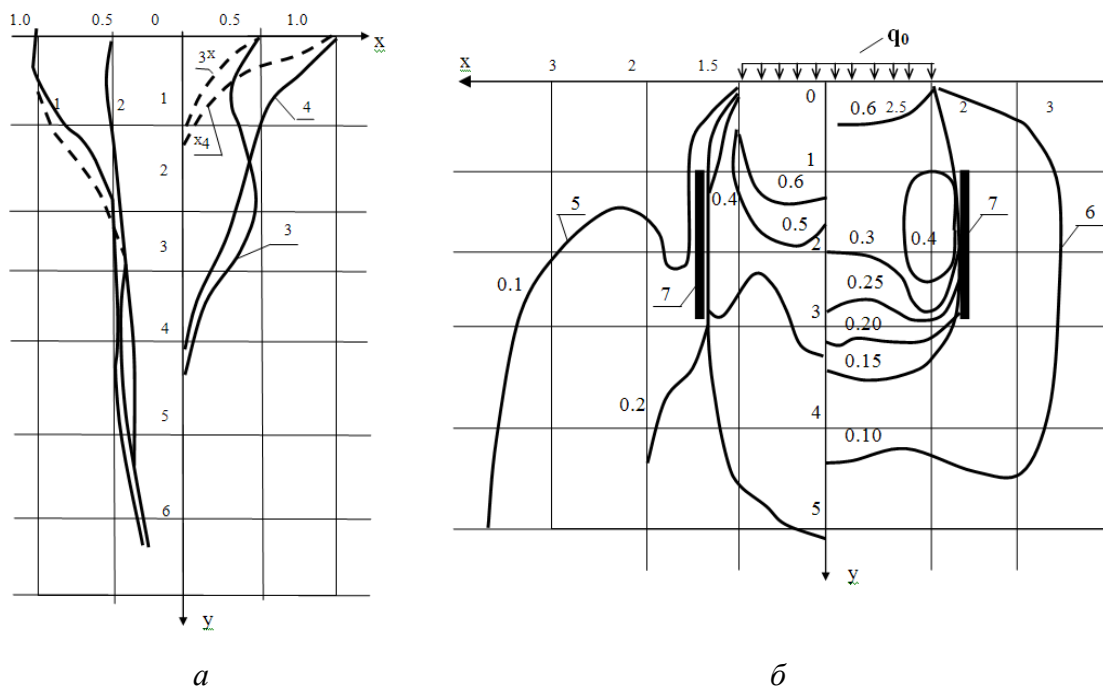
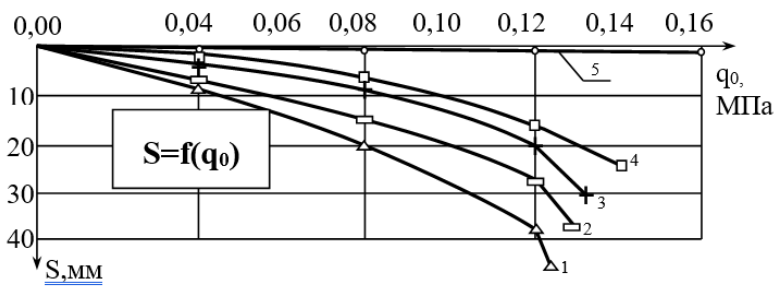


Рис. 1. Результаты численного эксперимента с пассивным армированием грунта:  
*а* – эпюры напряжений в вертикальном сечении грунта основания  
 1 – эпюра вертикального напряжения  $\sigma_y$  в сечениях  $x = 0$ ; 2 – эпюра вертикального напряжения  $\sigma_y$  в сечениях  $x=b/2$ ; 3 – эпюра горизонтального напряжения  $\sigma_x$  в сечениях  $x=b/2$ ; 4 – эпюра горизонтального напряжения  $\sigma_x$  в сечениях  $x=0$ .  
 (Неармированное состояние показано пунктиром)  
*б* – изобары напряжений по оси  $y$  и оси  $x$ ; 5 – изобары  $\sigma_y$ ; 6 – изобары  $\sigma_x$ ;  
 7 – зона армирования грунтового основания

Чтобы постепенно оптимизировать кольцевую систему предварительного напряжения грунтового основания и размер исследуемой зоны активного усиления, автор использовал классическую четырехфакторную матрицу планирования эксперимента для проведения полного набора экспериментов. В то же время в ходе эксперимента все физико-механические свойства исследуемого грунта были стабильны на заданном уровне, как описано выше.

В качестве второго набора рабочих факторов используются четыре наиболее значимых фактора, в том числе: внешняя вертикальная, равномерно распределенная нагрузка  $q_0(X_1)$  (МПа) передается на исследуемый грунт через гибкую резиновую пленку с абсолютной жесткостью штамповки интенсивность преднапряжения грунта  $q(X_2)$  (МПа); она используется в экспериментальном процессе комплексной оценки напряженно-деформированное состояние расчетной среды, исследуемый грунтовой фундамент подвергается пневматической нагрузке, а грунтовое тело активно укрепляется. Схема и расположение датчика движения грунта показаны на рис. 3.





а

б

Рис. 2. Итоговые данные экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния грунта: а

а - общий вид установки; б - график зависимости средней осадки штампа от интенсивности внешней нагрузки и способа армирования грунта

1 – неармированный грунт  $S_1 = 39$  мм; 2 – пассивное армирование грунта линейными элементами  $S_2 = 24$  мм; 3 – пассивное армирование грунта жестким кольцом  $S_3 = 20$  мм; 4 – активное армирование грунта сваями, преднапряженными в кольцевом направлении  $S_4 = 18$  мм; 5 – активное армирование грунта кольцевым элементом с преднапряжением грунта  $S_5 = 0,88$  мм

Реализация запланированной матрицы четырехфакторного эксперимента с использованием последовательности и комбинации изучаемых факторов позволяет нам получить следующее – соответствующее уравнение регрессии:

$$\hat{y}_{\text{кри}} = 2,838 + 1,123 X_1 - 0,246 X_2 + 0,266 X_3 - 0,927 X_4 - \\ - 0,00162 X_1 X_2 + 0,121 X_1 X_3 - 0,315 X_1 X_4 + 0,593 X_2 X_3 - 0,288 X_2 X_4 - \\ - 0,480 X_3 X_1 + 0,393 X_1 X_2 X_3 - 0,103 X_1 X_2 X_3 X_4.$$

где  $\hat{y}_{\text{кри}}$  – усредненное количество осадок поверхности грунтового основания, нагруженного равномерно распределенной нагрузкой с интенсивностью  $q_0$  (Мпа).

Общий анализ полученного уравнения регрессии показывает его достаточно высокую адекватность, поскольку в случае исследования погрешность между экспериментальными данными и расчетными данными не превышает 6 – 7 %, что подтверждается дополнительной проверкой f-критерия Фишера [5].

Анализ полученной математической модели показывает, что наибольшее влияние на исследуемый отклик оказывает  $X_1$ , то есть интенсивность внешней нагрузки

$q_0$ . В то же время, как показывает знак коэффициента корреляции, количество осадков у основания грунта увеличивается с увеличением нагрузки.

На втором месте по степени воздействия находится высота элемента укрепления грунта  $H$ , в нашем случае  $X_4$ . В то же время, судя по логотипу, чем больше высота армирующего элемента, тем ниже ожидаемая осадка.

Третье место заключается в удалении усиливающего элемента от поверхности грунта  $X_3$ . В то же время, чем больше удаляется исследуемая система армирования от поверхности грунта, тем выше становится осадочная нагрузка на фундамент.

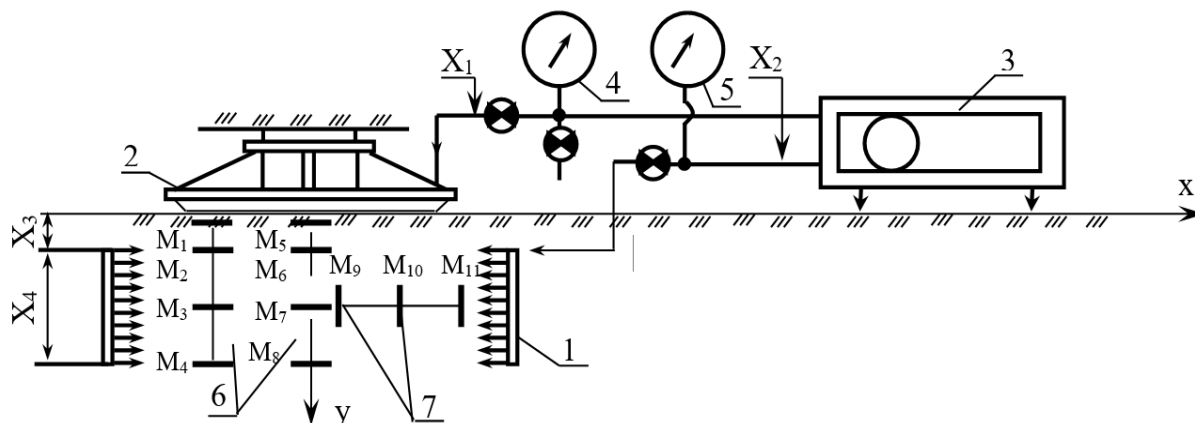


Рис. 3. Схема пневмозагрузки грунта основания и размещения мессдоз: 1 – кольцевая система армирования грунта; 2 – жесткий штамп с абсолютно гибкой мембраной; 3 – система пневмозагрузки рабочего штампа; 4 – система измерения давления в штампе; 5 – система измерения давления в кольцевой системе преднапряжения грунта; 6 – мессдозы для измерений давления по вертикальному направлению; 7 – мессдозы измерений давления по горизонтальному направлению;  $X_1, X_2, X_3, X_4$  – активные факторы (внешнее давление  $q_0$ , давление преднапряжения грунта  $q$ , удаление кольцевой системы преднапряжения от дневной поверхности грунта  $h$ , высота  $H$  кольцевой системы армирования)

Наконец, с точки зрения изучения отклика ударной вязкости, четвертое место занимает прочность грунта при начальном напряжении внутри массива  $q - X_2$ , рассмотренная научно-исследовательским институтом. В то же время, чем больше сила предварительно напряженного давления грунта, тем ниже ожидаемое среднее количество осадков в исследуемом грунте.

Детальный анализ полученных результатов позволяет нам установить очень высокую эффективность предложенного метода активного кольцевого армирования для слабых грунтов, что свидетельствует о полном подтверждении всех сделанных теоретических прогнозов.

Подводя итог выполненным широкомасштабным исследованиям, можно отметить, что проведенные исследования позволяют создать новое поколение активных

систем кольцевого армирования грунта, позволяющих резко, практически в десятки раз, увеличить несущую способность слабого грунта и одновременно обеспечить возможность выправлять возникающие крены высотных сооружений или нейтрализовывать ожидаемые неравномерные деформации технически сложного объекта.

#### Литература

1. Основания и фундаменты резервуаров / Ю. К. Иванов, П. А. Коновалов, Р. А. Мангушев [и др.]. – М.: Стройиздат, 1989. – 223с.
2. Сорочан, Е. А. Фундаменты промышленных зданий / Е. А. Сорочан. – М.: Стройиздат, 1986. – 333 с.
3. Сорочан, Е. А. Строительство сооружений на набухающих грунтах / Е. А. Сорочан. – М.: Стройиздат, 1989. – 312 с.
4. Абелев, М. Ю. Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах / М. Ю. Абелев. – М.: Стройиздат, 1983. – 248 с.
5. Ковшов, В. А. Постановка инженерного эксперимента / В. А. Ковшов. – Киев-Донецк: Высшая школа, 1982. – 120 с.

УДК 69.04+69.07

#### **Особенности работы плитных фундаментов стекловаренной печи на неоднородном основании в условиях высокотемпературных воздействий**

Иноземцев Вячеслав Константинович, доктор технических наук, профессор кафедры

«Строительные материалы, конструкции и технологии»;

Редков Валерий Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры

«Строительные материалы, конструкции и технологии»;

Синёва Нина Федоровна, доктор технических наук, профессор кафедры

«Строительные материалы, конструкции и технологии»

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

*Рассматривается работа плитных фундаментов стекловаренной печи в условиях сложного нагружения несущими конструкциями каркаса и высокотемпературных воздействий на глинистые грунты основания. Приводятся*

*результаты численных расчетов температурных полей в основании для различных этапов эксплуатации стекловаренной печи. Выполнена оценка напряженно-деформированного состояния плитного и свайно-плитного фундаментов в условиях неоднородности физико-механических свойств основания.*

Для оценки технического состояния несущих конструкций инженерных сооружений на плитных фундаментах, работающих в условиях интенсивного техногенного воздействия от работающего оборудования, важной задачей является определение напряженно-деформированного состояния для различных стадий работы системы «сооружение – фундамент – основание» в условиях действия факторов техногенного характера (воздействие высоких температур, увлажнение и высыхание грунтов и т. д.). Деформирование данной системы следует рассматривать как единый взаимосвязанный процесс деформирования и изменения деформационных свойств конструктивных элементов и среды основания. Стекловаренные печи (рис. 1) являются характерным примером инженерного сооружения на плитных фундаментах, взаимодействующих с неоднородным основанием, температура и свойства которого изменяется как во времени, так и в трехмерном пространстве геомассива.

Рассмотрим отдельные результаты натурного обследования и численных расчетов плитного фундамента под опорные конструкции ванны стекловаренной печи (рис. 1) в инженерно-геологических условиях г. Саратова [3].

Стекловаренная печь расположена в промышленном одноэтажном здании каркасного типа. За время эксплуатации цеха выполнялась реконструкция печи с увеличением длины технологической линии и капитальный ремонт печи. При реконструкции стекловаренная печь оказалась расположенной на двух фундаментных плитах толщиной 0,6 м, из которых одна использовалась в течение 16 лет в качестве фундамента печи. Другая плита с размерами в плане 12x17 м, выполнена при реконструкции (рис. 1а, 1б).

Вдоль продольных сторон печи расположены вертикальные секционные регенераторы на отдельных плитных фундаментах (рис. 1а). Расположение стекловаренной печи на составной фундаментной плите, взаимодействующей с неоднородным основанием, часть которого ранее никогда не испытывала действие нагрузки и высокой температуры, создало предпосылки для развития неравномерных деформаций основания и осадок плитных фундаментов.

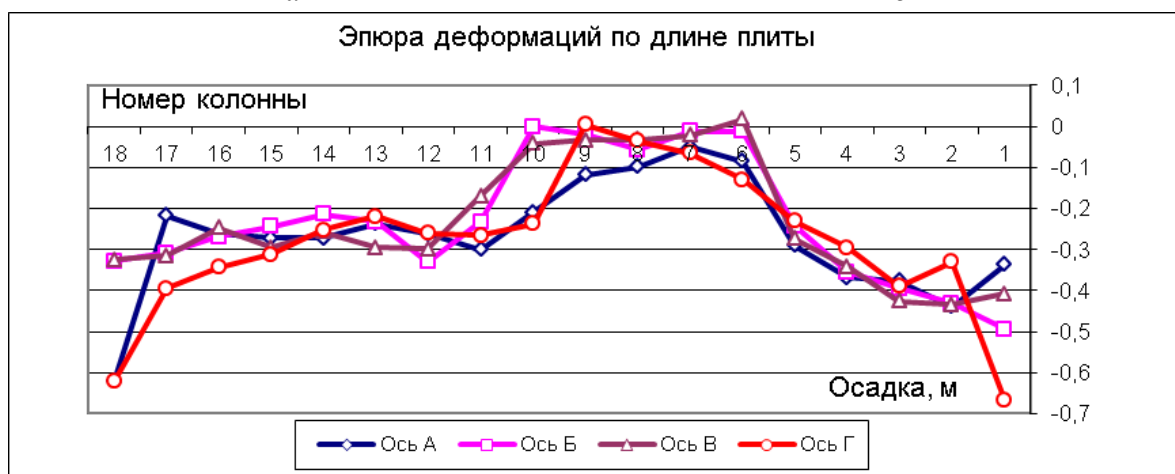
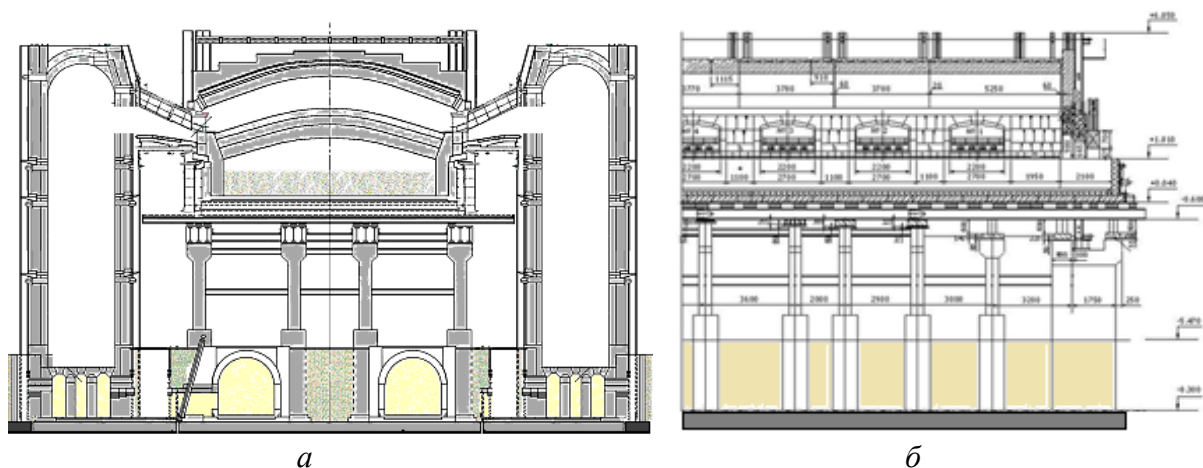


Рис. 1. Конструктивное решение стекловаренной печи и результаты геодезических наблюдений:

а, б – поперечный и продольный разрезы стекловаренной печи  
 в – эпюры осадок фундаментной плиты вдоль осей А, Б, В, Г

По данным длительных геодезических наблюдений (рис. 1в) абсолютные и относительные осадки фундаментной плиты значительно превысили предельно-допустимые значения, что привело к сложной деформации изгиба плиты и появлению дополнительных усилий в несущих, связевых и технологических конструкциях печи [3].

Несущие слои основания фундаментной плиты представлены глинистыми грунтами полутвердой и твердой консистенции аптского яруса нижнемеловой системы. Глины относятся к средне- и сильнонабухающим. Относительное набухание (свободное) 0,11-0,144; давление набухания 0,15-0,4 МПа. Глинистые грунты также имеют достаточно высокие показатели усадочных свойств: линейная усадка по высоте 0,14; по диаметру 0,13; объемная усадка 0,34; предел усадки 0,21.

Комплексный анализ геотехнических условий, данных геодезических наблюдений за осадками фундаментов и температурных условий работы стекловаренной печи позволил установить, что при эксплуатации несущие

конструкции, элементы связевой системы стекловаренной печи, а также грунтовое основание под фундаментной плитой находятся в неравномерном нестационарном температурном поле и работают в условиях агрессивного воздействия высоких температур [3, 4].

На рис. 3а приведены конструктивное решение несущих конструкций, плитного фундамента с газоходами (боровами) и температурные условия на поверхности фундаментной плиты в условиях эксплуатации.

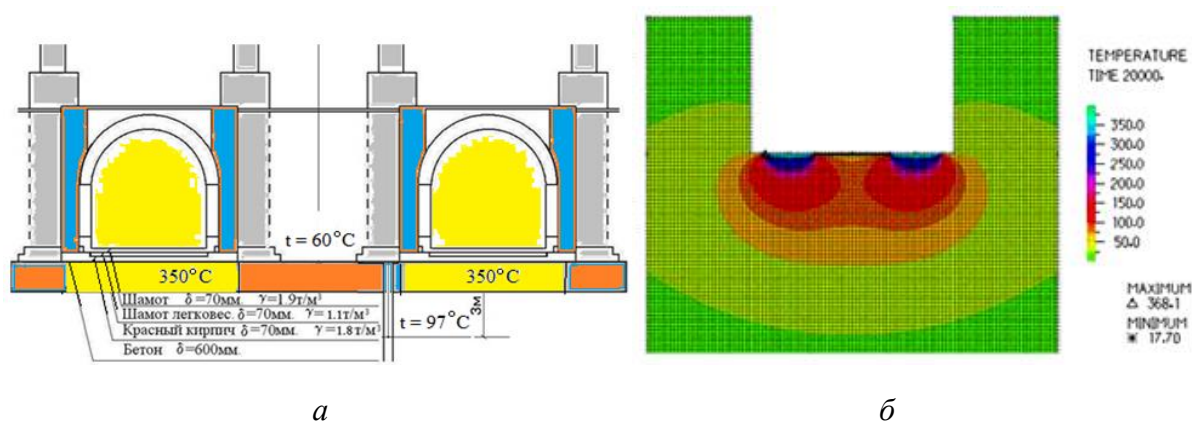


Рис. 2. Поперечный разрез стекловаренной печи ниже отметки – 5,470 м и результаты расчетов температурных полей:

- а – температурные условия на уровне на поверхности фундаментной плиты;
- б – изополя температур в основании фундаментной плиты через 20000 часов работы печи

Обследованием в период последнего «холодного ремонта» стекловаренной печи с отбором образцов грунта установлено, что в основании фундаментов печи, вследствие воздействия высоких температур, образовались области с существенным изменением природных физико-механических свойств [3]. Подошва фундаментной плиты опирается на обезвоженные глинистые грунты светло-коричневато-серого цвета твердой консистенции со следами воздействия высоких температур. Температура на уровне верха плиты между боровами находится в пределах 57 - 60° С, на глубине 3 м – 95 - 97° С (рис. 3а). С глубины 4 м вскрыты маловлажные глинистые грунты серого цвета полутвердой консистенции, с глубиной влажность грунта повышается. На глубине 7 м глинистые грунты имеют полутвердую-твердую консистенцию, характерную для природного состояния. Слой грунта, в котором произошли наиболее значительные изменения, имеет мощность от 4 до 7 м.

Форма фундаментной плиты в плане и неизменность в продольном направлении печи температурных нагрузок позволяет при разработке математической модели для расчета температурных полей в основании ограничиться плоской областью (поперечным сечением) для участков плиты достаточно удаленных от краев. Таким образом, адекватной геометрической моделью для рассматриваемой задачи может быть

модель полупространства с соответствующим образом заданными условиями на поверхности и на бесконечности. С использованием специально разработанной программы методом конечных элементов решена задача теплопроводности и установлены закономерности формирования температурных полей в плане и по глубине основания под фундаментной плитой через 10000; 20000, 30000, 45000 и 50000 часов работы стекловаренной печи [3, 4].

Расчетами установлено, что в первый год работы печи зона существенных температур (около  $100^{\circ}\text{C}$ ) локализована непосредственно под боровами – на расстоянии порядка сечения борова (3 м). Температуры под боровами убывают от  $350^{\circ}\text{C}$  на поверхности до  $50^{\circ}\text{C}$  на глубине 5 м.

За следующие 10000 часов работы печи прогретая зона опускается на 4-6 м до уровня 12 м (рис. 3б). Зона существенных температур охватывает почти все пространство между боровами составляет около  $100^{\circ}\text{C}$  и находится в сечении между боровами на расстоянии 1,5 - 2 м от поверхности и уходит вглубь основания на 5 - 6 м.

За 3,5 - 4 года работы печи оказывается прогретой зона глубиной 15 м под фундаментной плитой; температура между боровами на глубине до 2,5 м находится в пределах  $100 - 110^{\circ}\text{C}$ . Расчеты при 40000, 45000 и 50000 часов эксплуатации печи выявили явную тенденцию к стабилизации температурного поля.

Рассмотрение результатов расчетов, показывает, что формирование высокотемпературных полей в грунтовом основании при эксплуатации стекловаренной печи существенно влияют на состояние и условия работы глинистых грунтов в основании фундаментной плиты. Сложный характер нагрева конструкций несущего каркаса стекловаренной печи вызывает также деформации и повреждения горизонтальных связей, что снижает общую пространственную жесткость каркаса печи [3-6]. Такие дефекты в виде обрывов и повреждения узлов верхнего и нижнего поясов связей установлены при обследовании технического состояния конструкций стекловаренной печи.

Для выполнения численных расчетов фундаментной плиты методом конечных разностей поверхность интегрирования разбивалась ортогональной сеткой 35x25. При размерах плиты 17x12 м размер одного участка сетки составил 0,5 м.

Уравнения фундаментной плиты, лежащей на грунтовом основании, могут приниматься в виде бигармонического уравнения равновесия пластины совместно с разрешающим уравнением модели основания Власова-Леонтьева [1, 2] или модели основания Винклера. Так как функция прогибов  $W(x,y)$  является общей для плиты и основания, то она может быть определена из системы дифференциальных уравнений в частных производных:

$$\frac{1-\nu_0}{2} r_{11} \nabla^2 W - s_{11} W + \frac{1-\nu_0^2}{E_0} q(x, y) = 0; \quad (1)$$

$$D \nabla^2 \nabla^2 W - p + q(x, y) = 0,$$

где  $w(x, y)$  – функция перемещений, являющейся общей для фундаментной плиты и

основания;  $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$  – цилиндрическая жесткость фундаментной плиты;  $p(x, y)$  –

интенсивность внешней распределенной нагрузки;  $q(x, y)$  – отпор основания.

Граничные условия на контуре плиты принимались как для свободно лежащей на основании плиты:

$$\text{при } x=0; x=L; M_x = \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} = 0; \quad (2)$$

$$x=0; x=L; V_x = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + (2-\nu) \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) = 0;$$

$$\text{при } y=0; y=B; M_y = \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} = 0; \quad (3)$$

$$y=0; y=B; V_y = \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + (2-\nu) \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right) = 0;$$

Расчеты напряженно-деформированного состояния фундаментной плиты на неоднородном основании по модели Винклера выполнялись по специально разработанной программе на языке PASCAL в среде DELPHI 3. С использованием численных значений перемещений определялись изгибающие моменты и поперечные силы в плите для оценки прочности и трещиностойкости плиты. Рассмотрены 4 схемы работы фундаментных конструкций и грунтового основания. На рис. 3 приводятся отдельные результаты расчетов для основных схем 1 и 2.

Для расчетов по схеме 1 приняты следующие исходные данные: фундаментная плита загружена эксплуатационными нагрузками; размеры плиты в плане  $L \times B = 12 \times 17$  м; толщина плиты  $b = 0,6$  м; модуль упругости материала плиты  $E = 17000$  МПа; коэффициент Пуассона материала плиты  $\nu = 0,2$ ; переменный коэффициент постели по основанию плиты  $k = 650,8-2400$  кН/м<sup>3</sup>. Мощность насыпных грунтов под подошвой плиты постоянна и равна 1,5 м. Результаты расчетов в виде эпюр осадок и изгибающих моментов осадок приведены на рис. 3а, 3б. Расчетные значения перемещений фундаментной плиты (рис. 3а) составляют:  $W_{max} = 17,2$  см;  $W_{min} = 15,5$  см. На рис. 3б показана эпюра изгибающих моментов  $M_y$  в фундаментной плите печи.  $M_{max} = 22,4$  кНм;  $M_{min} = -168,8$  кНм. На основании результатов обследования и расчетов сделаны рекомендации о необходимости усиления основания фундаментной плиты с помощью свай для повышения жесткости основания на 60 %.



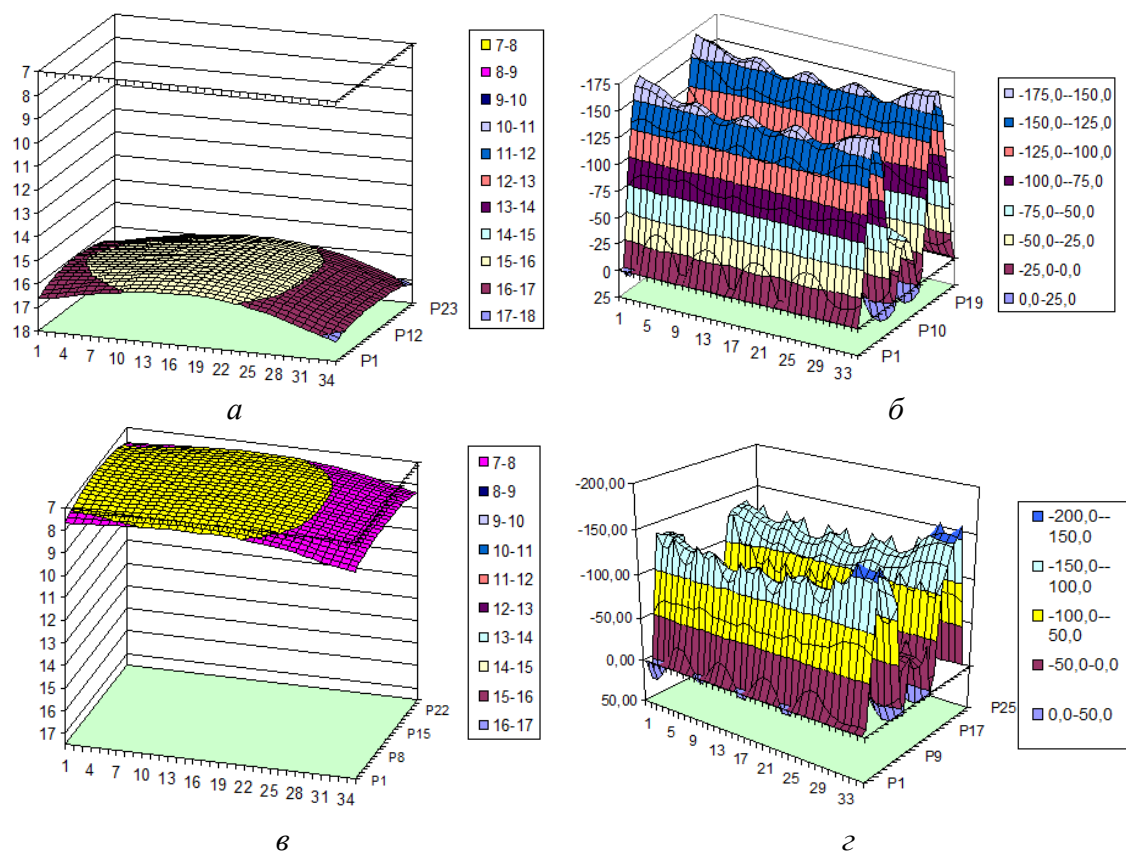


Рис. 3. Результаты расчетов плитного и свайно-плитного фундамента:  
 а, б – эпюры вертикальных перемещений  $W$  и изгибающих моментов  $M_y$  фундаментной плиты (схема 1);  
 в, г – эпюры вертикальных перемещений  $W$  и изгибающих моментов  $M_y$  фундаментной плиты (схема 2)

Для расчетов по схеме 2 дополнительно учитывалось, что основание усилено вдавливаемыми сваями; коэффициент постели по основанию плиты  $k = 650,8 \text{ кН/м}^3$ . Результаты расчетов в виде эпюр осадок и изгибающих моментов приведены на рис. 3в, 3г. Расчетные значения перемещений фундаментной плиты (рис. 3в) составляют:  $W_{max} = 8,52 \text{ см}$ ;  $W_{min} = 7,18 \text{ см}$ . На рис. 3г показана эпюра изгибающих моментов  $M_y$  в фундаментной плите печи:  $M_{max} = 39,7 \text{ кНм}$ ;  $M_{min} = -164,9 \text{ кНм}$ .

На основе результатов обследования технического состояния и расчетов несущих, связевых конструкций каркаса и основания фундаментной плиты разработаны проектные решения по капитальному ремонту стекловаренной печи. Реализованные в период «холодного ремонта» мероприятия по усилению основания плитного фундамента и ремонту конструкций и обеспечили значительное продление срока эксплуатации стекловаренной печи.

#### Литература

1. Власов, В. З. Избранные труды / В. З. Власов. – М.: Наука, 1964. – Т. 3. – 472 с.

2. Власов, В. З. Балки, плиты и оболочки на упругом основании / В. З. Власов, Н. Н. Леонтьев. – М.: Физматгиз, 1960. – 324 с.

3. Иноземцев, В. К. Экспертиза и мониторинг урбанизированных территорий и строительных объектов: учебное пособие / В. К. Иноземцев, В. И. Редков. – Саратов: СГТУ, 2017. – 472 с.

4. Иноземцев, В. К. Проблемы прочности и деформируемости плитных фундаментов в условиях техногенных воздействий на грунтовые основания / В. К. Иноземцев, Ю. В. Чеботаревский, В. И. Редков // Труды XXI Международной конференции «Эффективные строительные конструкции: Теория и практика». – Саратов: Изд-во СГТУ, 2005. – С. 101-106.

5. Термическое воздействие на основные несущие конструкции стекловаренной печи как фактор снижения их эксплуатационной надёжности / В. К. Иноземцев, М. Р. Муртазин, К. О. Волков, Р. К. Яфаров // Сборник материалов XXI международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии». – Тула: ТулГУ, 2020. – С. 95-97.

6. Эксплуатационные повреждения промышленного объекта в условиях технологических воздействий / В. И. Редков, М. Р. Муртазин, К. О. Волков, Р. К. Яфаров // Сборник научных трудов XXII Международной научно-технической конференции «Эффективные строительные конструкции: теория и практика». – Пенза, 2022. – С. 116-122.

УДК 69.057.7

## **Разработка организационно-технологических решений при реконструкции стенового ограждения здания корпуса № 1 филиала АО «АЭМ-технологии»**

**«Атоммаш» в г. Волгодонск**

Кулик Галина Александровна, студент направления «Строительство»;

Ткачев Владимир Григорьевич, к.т.н, доцент кафедры

«Строительные производства»

Волгодонской инженерно-технической институт – филиал НИЯУ МИФИ

г. Волгодонск

*В статье рассмотрена задача модернизации строительных конструкций корпусов завода «Атоммаш» в городе Волгодонске. Проведен анализ различных строительных материалов, приведено экономическое обоснование.*

Здание корпуса № 1 завода «Атоммаш» в г. Волгодонск построено 47 лет назад. В настоящее время стеновые панели наружных ограждений изношены более чем на 80 %. На значительной площади панелей появилась ржавчина, образовались отверстия, что привело к нарушениям тепловых, ветровых и водоизоляционных свойств. Помимо этого понизились и прочностные характеристики, так как между листами происходит оседание утеплителя, и образуются пустоты.

Фактический срок службы сэндвич-панелей превышает расчётный на 22 года. Именно поэтому необходимо выполнить замену стеновых панелей из наиболее стойких к коррозии материалов, обладающих высокими физико-механическими свойствами.

С 2020 года по данный момент на «Атоммаше» проводится замена наружных стеновых панелей. До реконструкции были установлены трехслойные металлические панели с утеплителем из пенополиуретана «Сиспур».

За 47 лет эксплуатации здания корпуса № 1 стеновые сэндвич-панели, рассчитанные на срок службы до 25 лет, пришли в негодность (подверглись значительной коррозии и имеют локальные повсеместные повреждения защитного покрытия).

В результате атмосферных воздействий и эксплуатационных нагрузок сэндвич-панели уже неспособны выполнять свои функции как ограждающие конструкции, т. к. между листами металла панелей происходит оседание утеплителя, и образуются пустоты, в результате которых сэндвич-панели не осуществляют необходимые теплотехнические характеристики.

По проекту, созданному для замены стеновых панелей, было принято решение применять сэндвич-панели из стали с наполнителем из минеральной ваты на основе базальтового волокна, класс негорючести которого К0.

Затраты на такой проект 503 344 тыс. руб.

Сроки на реализацию проекта – 3 года.



*Рис. 1. Ржавчина на стеновых панелях до замены*

Данные технологии и материалы уже устарели, на сегодняшний день существуют более инновационные материалы с улучшенными теплотехническими и прочностными характеристиками.

В ближайшее время необходимо выполнить замену наружных ограждений еще на 2 корпусах завода, в связи с чем целесообразно рассмотреть и другие варианты материалов для стеновых панелей.

Первым предложением является инновационный в данном качестве материал – алюминий. Стоимость таких панелей выше всего на 18 %, но их прочностные характеристики и устойчивость к коррозии выше, а период эксплуатации дольше, он составляет около 50 лет [1].

Для утеплителя можно использовать также более инновационный материал – пенополистирол – самозатухающий, его теплотехнические характеристики выше, чем у устаревшей минеральной ваты.

Еще один вариант – сэндвич-панели из стали с покрытием из алюмоцинка и утеплителем из пенополиуретана. Сталь с покрытием из алюмоцинка также не подвержена коррозии в течение долгого периода эксплуатации (50 лет), что делает ее более прочным и износостойким материалом.

Утеплитель из пенополиуретана имеет интересную структуру: применяемая технология производства позволяет создавать закрытую ячеистую структуру и заполнять эти ячейки газом пентаном, что существенно улучшает характеристики ППУ в качестве утеплителя. ППУ не склонен впитывать влагу, даже при повреждении изоляции наружного слоя. Это значит, что теплоизоляционные свойства поддерживаются даже при их повреждении, а внутри не создаётся благоприятной среды для развития грибка или размножения микроорганизмов [2].

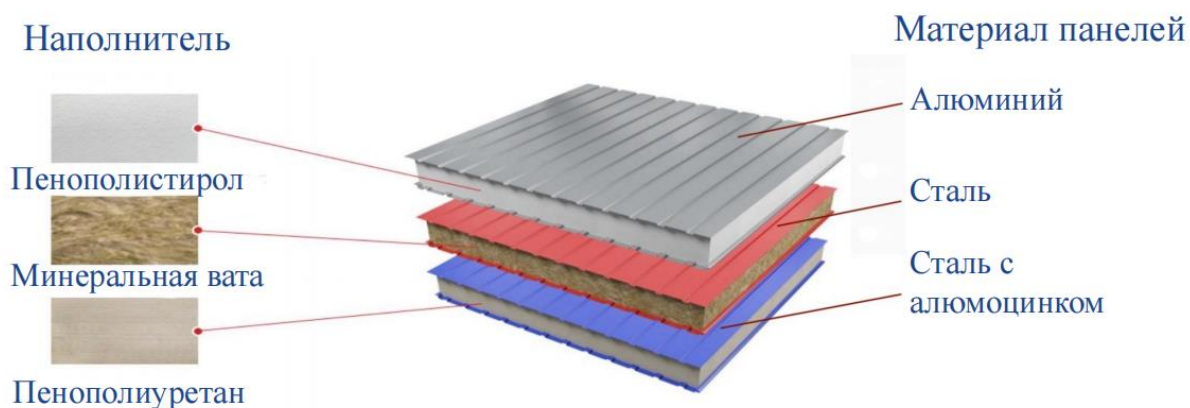


Рис. 2. Три вида панелей, представленных в статье

## Сравнение сэндвич-панелей

Сэндвич панели из стали и утеплителем минеральная вата	Сэндвич панели из алюминия и утеплителем пенополистирол	Сэндвич панели из стали с покрытием из алюмоцинка и утеплителем ППУ
<b>Достоинства</b>	<b>Достоинства</b>	<b>Достоинства</b>
- доступная стоимость материалов	- пенополистирол полностью безопасен для человека, не выделяет вредных паров	- ППУ полностью безопасен для человека, не выделяет вредных паров
<b>Недостатки</b>	- более лёгкие панели	- высокие теплоизоляционные показатели
- коэффициент теплопроводности 0,05	- коэффициент теплопроводности 0,035	- коэффициент теплопроводности 0,02
- подвержены коррозии	- устойчивы к коррозии	- устойчивы к коррозии 50 лет
- мин. вата со временем выделяет пары формальдегида	- высокие теплоизоляционные показатели	- алюмоцинк отражает 75 % теплового излучения
- период эксплуатации 25 лет	- период эксплуатации 50 лет	- период эксплуатации 50-70 лет
- минеральная вата может проседать	- более эстетичный внешний вид	<b>Недостатки</b>
- минеральная вата подвержена интересу крыс	<b>Недостатки</b>	- более высокая стоимость материалов
	- более высокая стоимость материалов	- более тяжелые панели
<b>Расчётная стоимость</b>	<b>Примерная расчётная стоимость</b>	<b>Примерная расчётная стоимость</b>
503 344 тыс. руб	616 071 тыс. руб	672 374 тыс. руб

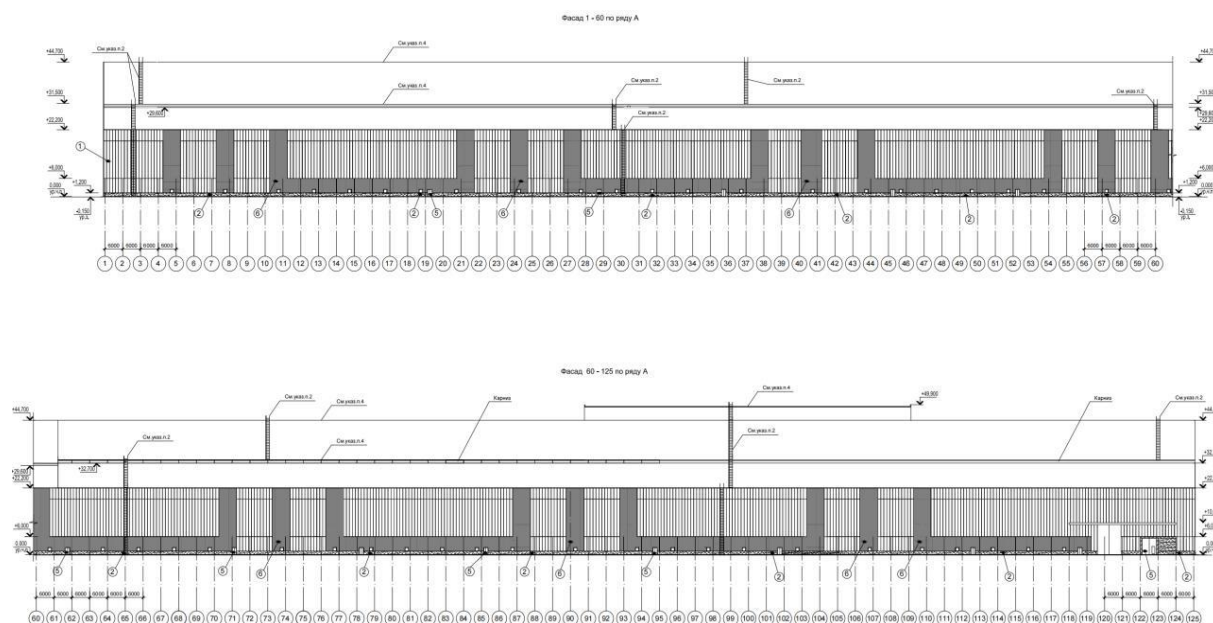


Рис. 3. План фасадов здания

## Литература

1. Алюминевые сэндвич панели: [сайт]. – URL: <https://fasad-exp.ru/vidy-materialov-dlya-otdelki-fasadov/alyuminievye-sendvich-paneli.html> (дата обращения: 13.12.2023). – Текст: электронный.
2. Обзор утеплителя пенополиуретана (ППУ): [сайт]. – URL: <https://stroyguru.com/remont-kvartiry/obzor-uteplitelya-penopoliuretana-ppu/> (дата обращения: 13.12.2023). – Текст: электронный.

УДК 692.23

### **Применение лего-блока в современном строительстве с использованием фибробетона**

Магеррамова Инна Александровна, старший преподаватель кафедры  
«Промышленное и гражданское строительство»;

Ершов Александр Васильевич, студент направления «Строительство»

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

*В статье раскрыты виды лего-блоков, а также его свойства и применение, его состав и сравнительные характеристики с другими материалами.*

Строительство актуально во все времена. Одним из современных строительных решений, обеспечивающих снижение стоимости, повышение архитектурной выразительности и темпов осуществления работ, является, так называемая, леготехнология, которая в настоящее время только набирает популярность.

Новые технологии не обходят стороной и такой вид производства строительных материалов, как изготовление блока. Более высокие требования к качеству, внешнему виду, невысокой цене стали предпосылками к созданию нового типа стеновых материалов. В качестве стенового материала для различных видов индивидуального жилого строительства все большую популярность набирают, так называемые, лего-блоки, которые можно смело назвать новшеством на рынке модульных строительных систем [1].

Они созданы по образу и подобию детского конструктора LEGO американским инженером Арнон Росаном. Такие блоки имеют выступы и впадины, которые при

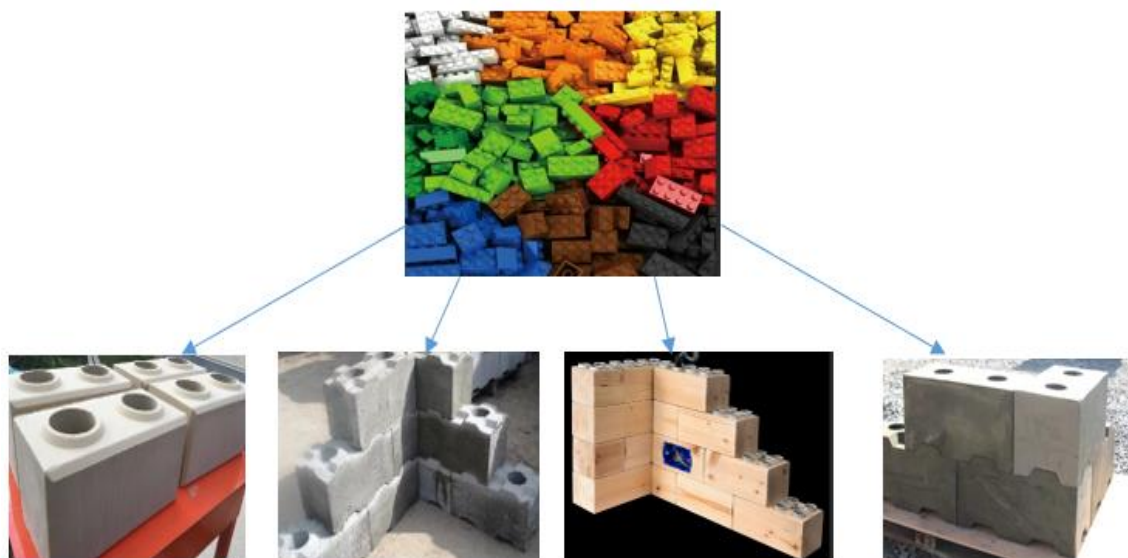
монтаже совпадают. Они крепятся, вставляясь один в другой очень точно, за счет чего при монтаже сборно-разборных сооружений пропадает необходимость применения раствора, и при необходимости переноса конструкции леги-блоки демонтируются. При возведении постоянных домов из леги-блоков, для их соединения применяется небольшое количество клея, которым обрабатываются только вертикальные швы.

Это значительно уменьшает время монтажа, благодаря чему существенно снижается стоимость строительно-монтажных работ.

Существуют крупноразмерные леги-блоки, которые называются Ever Block. Так же, как в известной на весь мир детской игре, они изготавливаются из пластмассы. Сквозные отверстия внутри материала и пазы позволяют прочно зафиксировать элементы, получая надежную конструкцию. Состыкованные части не нуждаются в дополнительной подгонке, а это сокращает сроки работ. Модульная система блоков позволяет также создавать мебель, кабинки для офисных сотрудников, палатки, стойки баров или пункты общественного питания и прочие сооружения. Эта новинка сразу же стала востребована при изготовлении перегородок внутри помещения, напольных покрытий, модульной мебели. Также крупноразмерные леги-блоки из пластмассы могут выступать в качестве строительного материала для маленьких домов временного значения (рис. 1).

Но важно отметить, что в настоящее время существуют и леги-блоки, заполненные легким бетоном, которые применяют как для заводского изготовления, так и для стройплощадки. Легкие бетоны чаще всего применяются для теплоизоляции зданий стен, а также перегородок и несущих конструкций. Для усиления теплоизоляционных свойств внешние блоки легкого крупнопористого бетона оштукатуривают. Именно поэтому они отлично подходят для строительства дома, дачи, бани, гаража, а также других сооружений. Однако в России в настоящее время данная технология и материалы только набирают обороты в массовом строительстве [2].

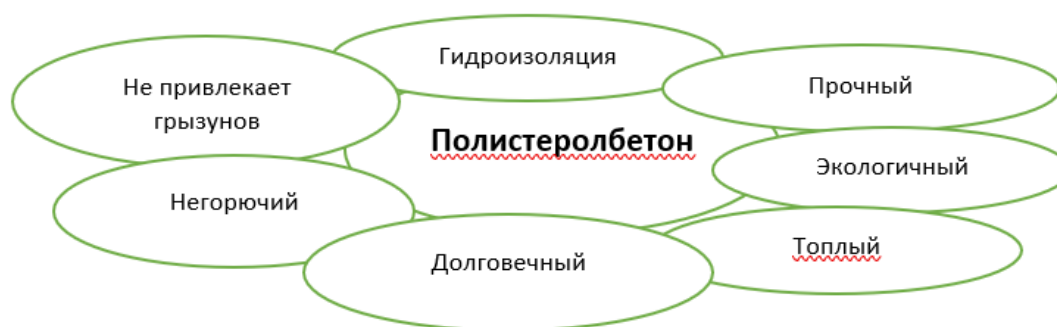
В современном виде леги-блок появился в 2010 году, и по-настоящему стал интересен только в последние три года, когда появилось малогабаритное оборудование для производства материала своими руками, и можно было оценить преимущества и недостатки, которыми наделен современный леги-дом.



*Рис. 1. Разновидности леги-блоков*

Лего-блоки из ячеистых бетонов оснащены соединительной системой «шип-паз», которая позволяет возводить прочную конструкцию без применения кладочных растворов, так как блоки плотно прилегают друг к другу [3].

Существуют леги-блоки из некоторых видов ячеистого бетона (чаще из полистиролбетона). Они тоже стыкуются между собой посредством соединительной системы «шип-паз», поэтому конструкции получаются прочными и надежными, даже без применения клеевых растворов. Соединение не требует подгонки, и сроки застройки сокращаются (рис. 2).



*Рис. 2. Свойства полистеролбетона*

Негативные воздействия окружающей среды все больше наносят удары по жизни человека, причиняя ощутимый ущерб его здоровью. В связи с этим, главной задачей ученых, работающих в различных сферах, особенно в строительном материаловедении, является создание комфортных и безопасных условий существования человека.



Лего-блоки идеально подходят для возведения жилых строений. Здания из этого материала не нуждаются в мощном фундаменте, и это также способствует экономии. Довольно дешевый строительный материал [4].

Сооружения из лего-блоков не подвержены воздействию грибка и плесени. Они современно смотрятся и органично вписываются в ландшафтные пейзажи. Данный материал не горюч и устойчив к действию влаги. Он не синтезирует токсичных веществ в окружающую среду.

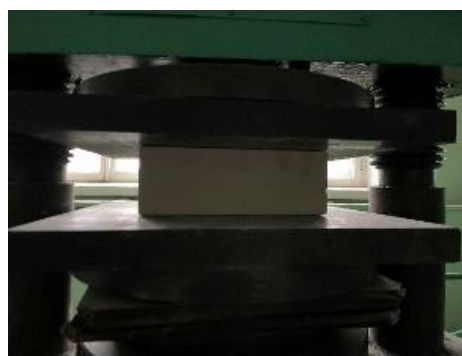
Идеальная геометрия изделия существенно упрощает процесс укладки материала. Широкое разнообразие форм, размеров, видов материала и наличие всевозможных дополнительных элементов (прямые, скошенные, с фаской, рваные, гладкие, фактурные и т. п.).

Плюсы лего-блоков сделали их востребованными, отличные эксплуатационные характеристики позволяют применять изделия в любых климатических зонах и проводить работы в любое время года.

Для сравнения физических характеристик (прочность, радиоактивность, шумопоглощение, сопротивление теплопередачи) материалов были испытаны на прочность 4 образца: лего-блок, силикатный кирпич, красный кирпич, а также шлакоблок. Испытания проводились на прессе ПСУ-125. Для каждого материала было испытано по 3 образца, что соответствует ГОСТу (рис. 3).



1



2



3



4

Рис. 3. Испытание материалов: 1 – красный кирпич; 2 – силикатный кирпич; 3 – шлакоблок; 4 – лего-блок

Исходя из полученных данных, был построен график прочности материалов (рис. 4).



Рис. 4. Прочность исследуемых материалов

Из графика видно, что самым прочным оказался лего-блок. Это говорит о его преимуществах, надежности по сравнению с другими испытываемыми материалами.

Первоначально в данном эксперименте исследовали шумоизоляцию с помощью датчика звука и сравнили лего-блок с белым силикатным кирпичом, красным кирпичом и шлакоблоком (рис. 5).

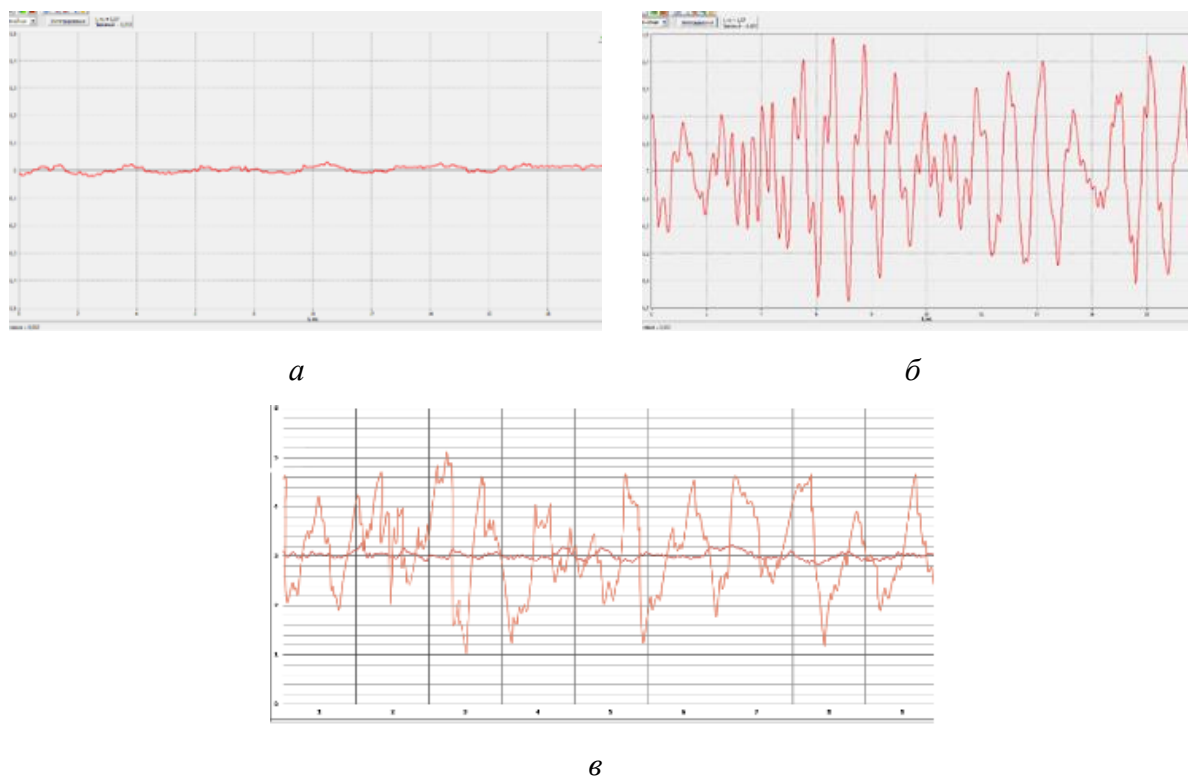


Рис. 5. Графики поглощения шума лего-блока, кирпича и шлакоблока:  
а - лего-блок, б - кирпич силикатный,  
в - совмещение графиков поглощения шума

На графике видно, что шумоизоляция лего-блока значительно выше, чем у остального материала (кирпич силикатный, красный и шлакоблок показали примерно одинаковые значения).

В результате исследования лего-блок показал высокий результат поглощения шума, относительно других исследуемых материалов. Шумоизоляция строительных конструкций в настоящее время является одной из главных проблем при возведении стен гражданских зданий. Возведение стен из лего-блока значительно уменьшит шум в помещении.

Следующее важное свойство ограждающих конструкций гражданских зданий – это радиоактивное излучение материалов. С помощью дозиметра измерили радиоактивное излучение исследуемых материалов. Прибор показал одинаковые значения 0,12 мкЗв/ч. Опасным для человека является 1,2 мкЗв/ч.

Это подтверждает то, что применение лего-блока, как и основных ограждающих конструкций, таких как кирпич и шлакоблок, позволяет использовать его в гражданском строительстве без ущерба для здоровья человека.

При выборе строительных материалов для строительства необходимо обратить внимание на такое свойство, как теплопроводность. Она отражается коэффициентом теплопроводности. Это количество тепла, которое может провести материал за единицу времени. На этом основании был построен график исследуемых материалов (рис. 6).



*Рис. 6. График определения толщины стен исследуемого материала при одинаковом сопротивлении теплопередачи*

На графике можно увидеть, что толщина стены лего-блока значительно меньше, чем у других материалов. Можно сделать вывод о стоимости материала при его применении (рис. 7).



*Рис. 7. Стоимость 1 м<sup>3</sup> материала*

Стоимость конструкции из лего-блока на 1м<sup>3</sup> будет меньше других исследуемых материалов. Это видно из графика стоимости.

В современном мире существует большое количество производственных отходов, что приводит к загрязнению окружающей среды. Проведенный анализ показал, что в настоящее время отходы производства составляют около 5 млрд тонн. Основная доля приходится на отходы промышленности более 95 %, остальные приходятся на другие производства. В Приволжском Федеральном округе очень низкий уровень уничтожения и обезвреживания отходов [5].

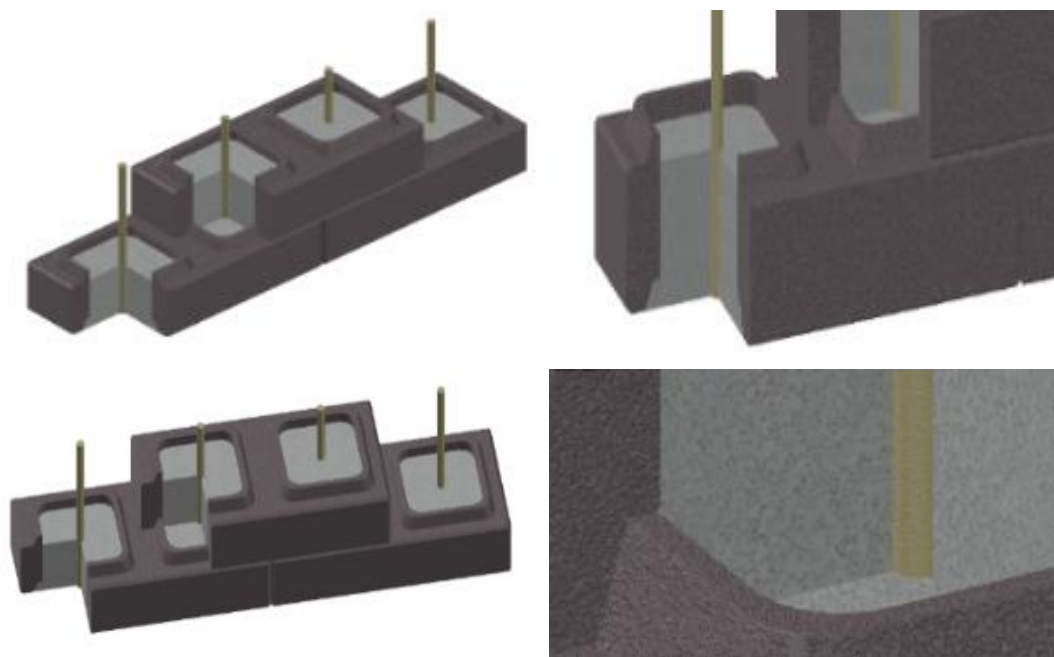
Строительная отрасль выступает одним из направлений по утилизации отходов. Современные требования к строительству подразумевают его значительную трансформацию, и со временем оно не будет терять своей важности.

В работе было предложено использование лего-блока с армированием композитной арматурой и замоноличиванием пустот легким фибробетоном.

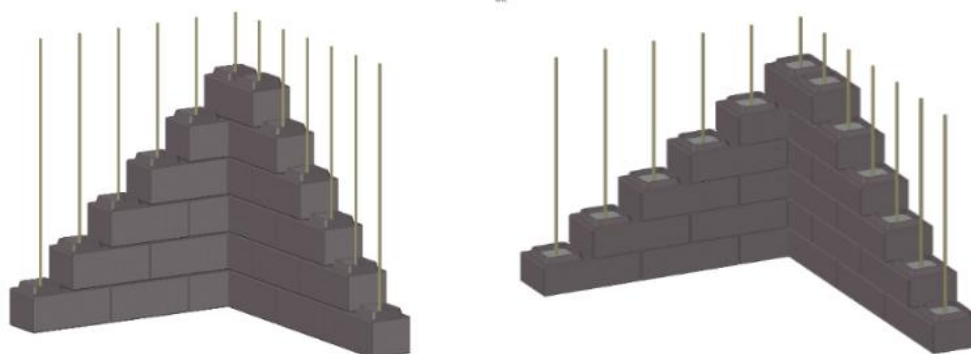
После получения результатов по лего-блоку необходимо рассмотреть легкий бетон для заполнения пустот.

В данной работе было сравнение с обычным легким бетоном без армирования и легким бетоном, армированным волокнами из полипропилена. Армированный бетон показал наибольшую прочность при одинаковой стоимости составов, а также применение полипропиленовых волокон приводит к сокращению синтетических отходов.

Полученные результаты экспериментов показали, что лего-блок с применением легкого армированного бетона может применяться в современном строительстве как для ограждающих конструкций, так и несущих стен малоэтажного строительства (рис. 8, 9).



*Рис. 8. Заполнение лего-блока легким армированным бетоном*



*Рис. 9. Предлагаемая конструкция из лего-блока армированный композитной арматурой с заполнением с заполнением легким армированным бетоном*

На основании выше исследуемых свойств материалов можно сделать вывод о том, что технология строительства по типу конструктора «Лего» завоевывает все большую популярность. Это связано с тем, что она существенно сокращает сроки возведения зданий, т. к. соединительная система «шип-паз» позволяет возводить прочную, устойчивую конструкцию без применения кладочных растворов, без особого значения квалификации каменщика. Большое внимание уделяется и экологичности материала, которая зависит от качества наполнителей.

#### Литература

1. ГОСТ 10181-2014 Смеси бетонные. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2019. – 28 с.

2. Научные исследования, инновации в строительстве и инженерных коммуникациях в третьем тысячелетии / В. С. Федосихин, К. М. Воронин, М. С. Гаркави [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. – 2005. – № 2. – С. 9-10.

3. Стеновые материалы на основе ячеистых бетонов/ А. А. Ахундинов, Ю. В. Гудков // Журнал «Строительные материалы». 2017. – № 1. – С. 124.

4. Геоника. Геомиметика как теоретическая основа совершенствования строительных материалов / В. С. Лесовик, С. В. Шаталова, В. Г. Азизов [и др.] // Сборник трудов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В. Г. Шухова «Наукоемкие технологии и инновации». – БГТУ им. В. Г. Шухова, 2019. – С. 278-282.

5. Permyakov, M. V. Methods of building residual life calculation /M. V. Permyakov // Advances in Environmental Biology. – 2014. – V. 8. – No 7. – Pp. 1983-1986.

УДК 693.5

### **Исследование фибробетона и его состава для строительства ГРЭС**

Магеррамова Инна Александровна, старший преподаватель кафедры  
«Промышленное и гражданское строительство»;

Магеррамов Рауф Алигусейнович, доцент, и.о. заведующего кафедрой  
«Атомная энергетика»;

Белоусов Денис Александрович, студент направления  
«Строительство уникальных зданий и сооружений»

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

*В статье рассматривается несколько видов фибробетона с различной фиброй для строительства фундамента ГРЭС.*

Исторически в СССР, КЭС включенные в единую энергосистему СССР получили наименование «ГРЭС» – государственная районная электростанция. Название происходит от государственной принадлежности и от использования местного энергоресурса и расчёта для преимущественного электроснабжения конкретного энергетического района.

ГРЭС – тепловая электростанция, производящая преимущественно электрическую энергию. Так как название районная электростанция государственного образца с течением времени утратило свой смысл, нередко ГРЭС переименовывают в конденсационные станции, которые генерируют только электроэнергию или в ТЭЦ, которые производят тепло и электроэнергию.

Иногда ГРЭС является градообразующим предприятием (рис. 1).



*Рис. 1. Общий вид Берёзовской ГРЭС*

В России всё чаще начинают использовать фибробетон в строительстве.

Фибробетон – это соединение бетона с мелкими частицами какого-либо армирующего материала, выпускающегося в качестве коротких (от 3 до 10 - 40 мм) нитей (так называемого ровинга). Фибра может быть из разных материалов, но самые популярными в строительстве – это сталь, базальт, стекло, пластик (в основном полипропилен) и некоторые другие.

Объектом исследования является фибробетон с различными наполнителями, который можно будет использовать для строительства ГРЭС.

Целью работы является исследование различных вариантов фибробетона для выявления наиболее прочного и выгодного для фундаментов главного корпуса ГРЭС.

В ходе исследования были проведены теоретические исследования и осуществлен патентный поиск составов фибробетона, применимых для главного корпуса ГРЭС.

В результате исследования были рассмотрены различные варианты составов и выбрано наиболее приемлемое решение для проектируемого здания.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели: прочность, материалоемкость, экономическая эффективность.

Произведём обзор выбранных фибробетонных смесей.

1) Фибробетонная смесь с базальтовым волокном

Патент РФ № 2423331 [3]

Известен состав фибробетонной смеси, согласно которому бетонная смесь включает портландцемент, кварцевый песок, минеральное волокно и воду, причем в качестве минерального волокна используют отходы производства базальтового волокна при следующем соотношении компонентов, мас. %: портландцемент 20 - 22, кварцевый песок 43 - 44, отходы производства базальтового волокна 3,5 - 5, вода остальное.

Недостатками смеси являются недостаточная прочность на изгиб, сжатие, раскалывание, морозостойкость.

Наиболее близким является состав фибробетонной смеси, включающей цемент, кварцевый песок и минеральное волокно.

Изделия известного состава обладают недостаточной прочностью на изгиб, сжатие, растяжение при раскалывании и морозостойкостью.

Задачей изобретения является получение состава фибробетона с высокой прочностью на изгиб, растяжение при раскалывании и сжатии, а также высокой морозостойкостью (рис. 2).

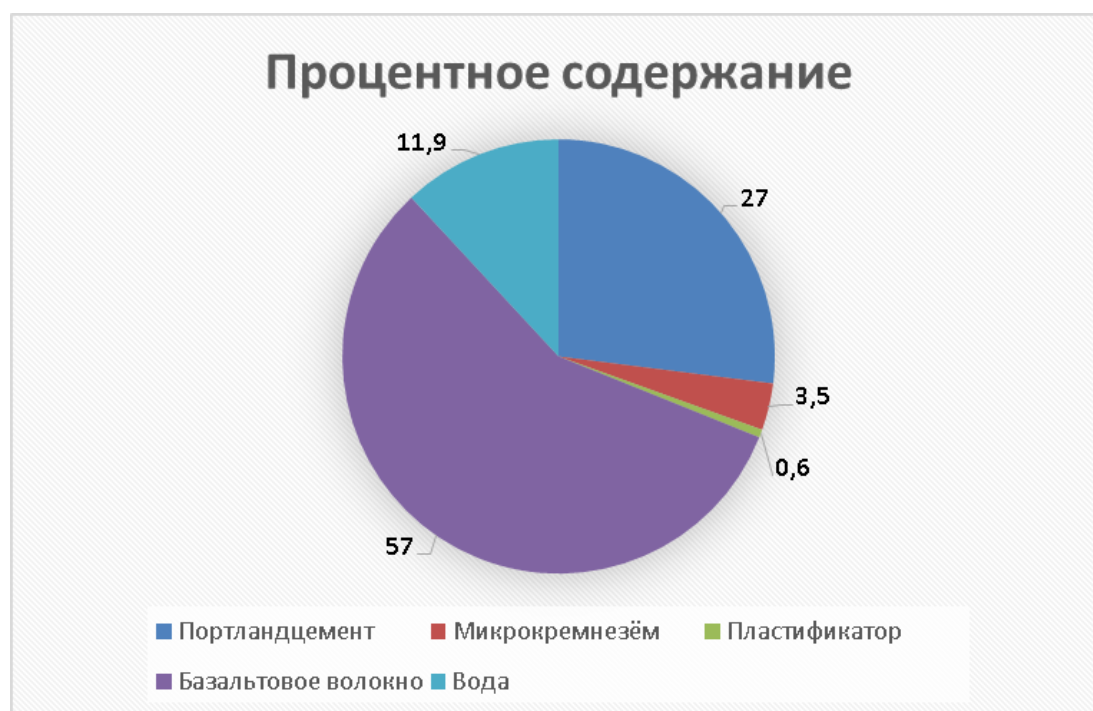


Рис. 2. Процентное содержание компонентов в бетоне с базальтовой фиброй

2) Фибробетонная смесь с волокнистым наполнителем.

Патент РФ № 2583965 [4]



Известна фибробетонная смесь, включающая цемент, заполнитель и упрочнитель – стальную проволоку. Недостатками смеси являются применение специального оборудования и затраты времени для приготовления модифицирующей добавки, применение щебня двух фракций.

Наиболее близким является состав фибробетонной смеси, содержащей портландцемент, базальтовое волокно, пластификатор, песок и воду, принятый за прототип.

Основными недостатками смеси являются применение дорогостоящего фракционированного песка, высокий расход цемента и базальтового волокна, отсутствие данных по водонепроницаемости, применяемые пластификаторы имеют разные технические свойства.

Технической задачей заявленного изобретения является получение фибробетона с высокой прочностью при сжатии, морозостойкостью и водонепроницаемостью при минимальном расходе цемента, а также снижение себестоимости состава в целом.

Технический результат достигается тем, что рациональный подбор и расход компонентов фибробетонной смеси обеспечивают повышение прочности при сжатии, увеличение морозостойкости и водонепроницаемости фибробетона, а снижение количества цемента и использование крупного нефракционированного песка ведет к уменьшению его себестоимости (рис. 3).



Рис. 3. Процентное содержание компонентов в бетоне с волокнистой фиброй

3) Фибробетонная смесь с металлической фиброй.

Патент РФ № 2433038 [5]

В известном способе приготовления модифицированной сталефибробетонной смеси, включающем перемешивание в смесителе цемента, заполнителя, фибры стальной, добавки и воды затворения, предварительно осуществляют активацию в роторно-пульсационном аппарате воды затворения с полифункциональной добавкой и частью цемента и продукт указанной активации перемешивают с сухой смесью, полученной при последовательном введении в смеситель заполнителя, оставшегося цемента и фибры, а также используется модифицированная сталефибробетонная смесь, приготовленная по вышеуказанному способу, где в качестве заполнителя используют щебень и песок, а в качестве фибры используют фибру стальную, фрезерованную из склябов.

Недостатками прототипа является низкая эффективность процесса приготовления смеси и невысокая прочность полученного сталефибробетона на сжатие и растяжение.

Технической задачей заявляемого изобретения является повышение эффективности процесса получения модифицированной фибробетонной смеси, направленное на увеличение ее прочности на сжатие и растяжение при изгибе за счет использования компонентов, упрочняющих структуру фибробетона на макро-, микро- и наноуровнях, при сохранении высокой морозостойкости и водонепроницаемости (рис. 4).



Рис. 4. Процентное содержание компонентов в бетоне со стальной фиброй

Проведем сравнение результатов испытаний фибробетона с различным волокном (рис. 5, 6, 7):

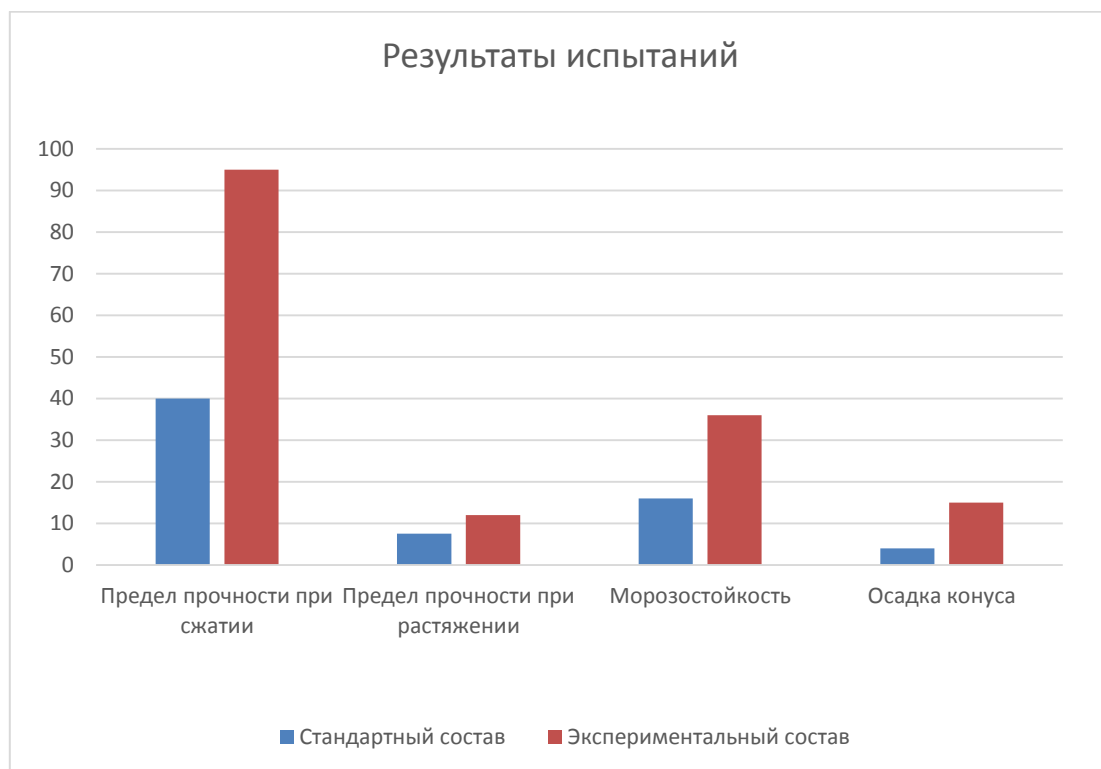


Рис. 5. Результаты испытаний фибробетона с базальтовым волокном

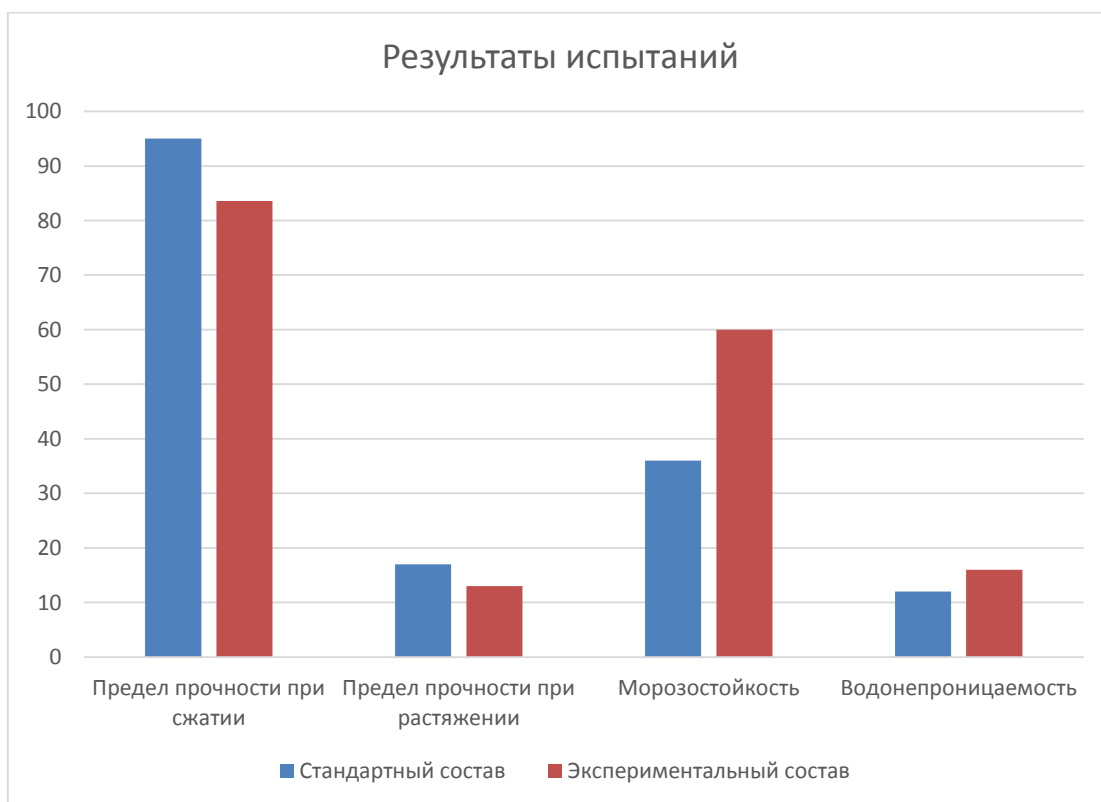
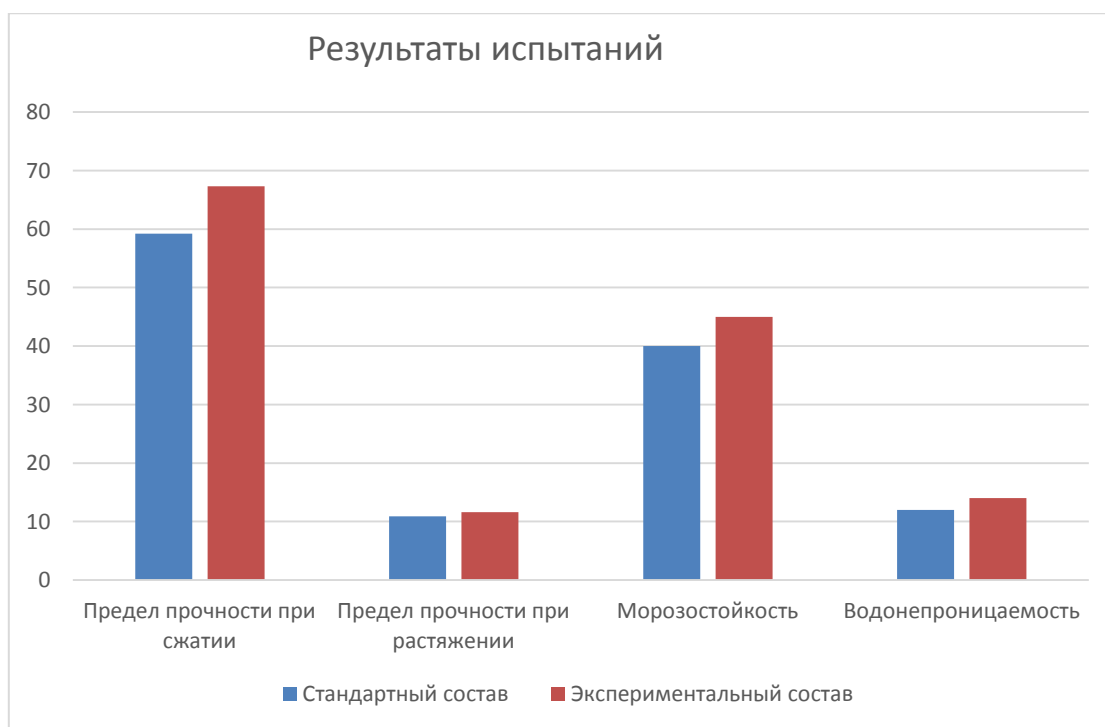


Рис. 6. Результаты испытаний фибробетона с волокнистой фиброй



*Рис. 7. Результаты испытаний фибробетона со стальной фиброй*

Учитывая предварительные исследования, рекомендуется принять решение о фибробетона со стальной фиброй. Этот фибробетон, обеспечивает максимальную прочность, обладает повышенной морозостойкостью и водонепроницаемостью, огнестойкий, имеет увеличенную прочность на растяжение до 2 раз, также стальная фибра легко заменяет армирование в некоторых случаях, значительно сокращая затраты и время на возведение. Кроме того, экономическая эффективность этого типа фундамента может положительно сказаться на стоимости и сроках строительства ГРЭС.

#### Литература

1. Информация о Берёзовской ГРЭС: [сайт]. – URL: [ru.wikipedia.org/wiki/Берёзовская\\_ГРЭС\\_\(Россия\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Берёзовская_ГРЭС_(Россия)) (дата обращения: 20.11.2023). – Текст: электронный.
2. Информация о ГРЭС: [сайт]. – URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/elektrostantsii/142518-gres-elektrostantsiya/> (дата обращения: 20.11.2023). – Текст: электронный.
3. Патент: Фибробетонная смесь с базальтовым волокном / Google Патенты: [сайт]. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2423331C1/ru> (дата обращения: 21.11.2023). – Текст: электронный.

4. Патент: Состав фибробетона с волокнистым наполнителем / Google Патенты: [сайт]. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2583965C1/ru> (дата обращения: 21.11.2023). – Текст: электронный.

5. Патент: Способ приготовления модифицированной фибробетонной смеси и модифицированная фибробетонная смесь / Google Патенты: [сайт]. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2433038C1/> (дата обращения: 21.11.2023). – Текст: электронный.

УДК 693.5

**Основные виды состава бетона, применяемых  
для радиозащиты зданий и сооружений АЭС**

Магеррамова Инна Александровна, старший преподаватель кафедры  
«Промышленное и гражданское строительство»;

Магеррамов Рауф Алигусейнович, доцент, и.о. заведующего кафедрой  
«Атомная энергетика»;

Козлов Евгений Сергеевич, студент направления  
«Строительство уникальных зданий и сооружений»

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

*В статье раскрыты основные виды состава бетона, применяемые для радиозащиты зданий и сооружений АЭС.*

Приоритетом эксплуатации российских АЭС является безопасность. За последние 20 лет на российских АЭС не зафиксировано ни одного серьезного нарушения безопасности, классифицируемого выше первого уровня по Международной шкале INES.

Радиационный фон в районах расположения АЭС не превышает установленных норм и соответствует природным значениям, характерным для соответствующих местностей.

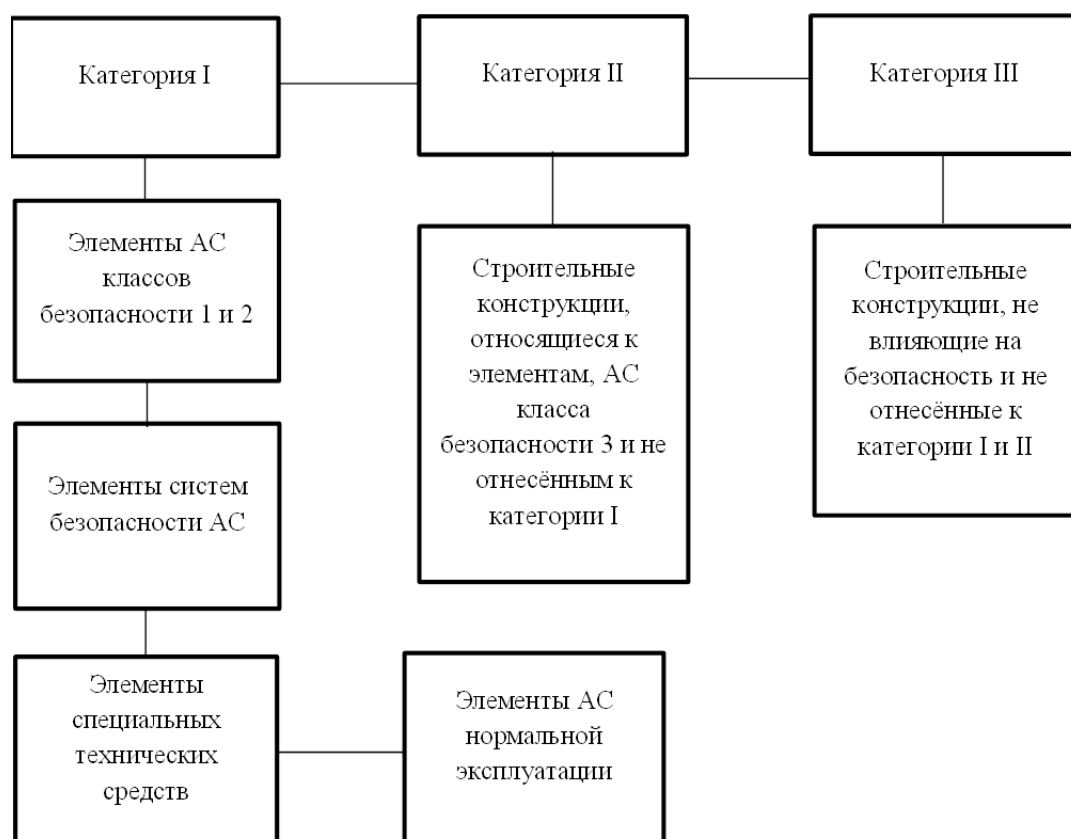
В настоящее время в нашей стране действуют 10 АЭС (Балаковская АЭС, Белоярская АЭС, Билибинская АЭС, Калининская АЭС, Кольская АЭС, Курская АЭС,

Ленинградская АЭС, Нововоронежская АЭС, Ростовская АЭС, Смоленская АЭС и одна плавучая атомная теплоэлектростанция [1].

Строительные конструкции зданий и сооружений АС (далее – строительные конструкции) должны категорироваться по уровню ответственности за радиационную и ядерную безопасность АС (далее – безопасность АС) в соответствии с признаками классификации элементов АС, установленными в федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» (рис. 1, 2).



*Рис. 1. Общий вид АЭС*



*Рис. 2. Категорирование строительных конструкций*

В настоящее время при проектировании АЭС применяются различные варианты состава радиозащитного бетона:

- 1) состав № 1 – с добавлением заполнителя из окалины, который подвергают пассивированию;
- 2) состав № 1 – с применением углеродсодержащего радиопоглощающего заполнителя;
- 3) защитная композиция – с применением бишофита сульфатного типа.

Состав № 1.

Изобретение относится к строительству, в частности к технологии изготовления радиационно-защитного бетона, применяемого преимущественно для изготовления железобетонных (металлобетонных) контейнеров, предназначенных для хранения и/или транспортировки радиоактивных материалов. Технический результат – уменьшение проявления в бетонном массиве негативных факторов, влияющих на радиационно-химическую безопасность эксплуатации таких конструкций, как металлобетонные контейнеры.

В способе изготовления радиационно-защитного бетона, включающем приготовление бетонной смеси с предварительной подготовкой входящего в состав ее

компонентов заполнителя из окалины, при подготовке заполнителя из окалины его подвергают пассивированию, для чего предварительно перемешивают с водой, затем мокрый заполнитель из окалины помещают в печь, где выдерживают в заданном режиме, причем упомянутый заполнитель перед пассивированием обогащают путем промывки в воде [2].

Формула изобретения.

1. Способ изготовления радиационно-защитного бетона, включающий приготовление бетонной смеси с предварительной подготовкой входящего в состав ее компонентов заполнителя из окалины, отличающийся тем, что при подготовке заполнителя из окалины его подвергают пассивированию, для чего предварительно перемешивают с водой, затем мокрый заполнитель из окалины помещают в печь, где выдерживают в заданном режиме.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что упомянутый заполнитель перед пассивированием обогащают путем промывки в воде (рис. 3).

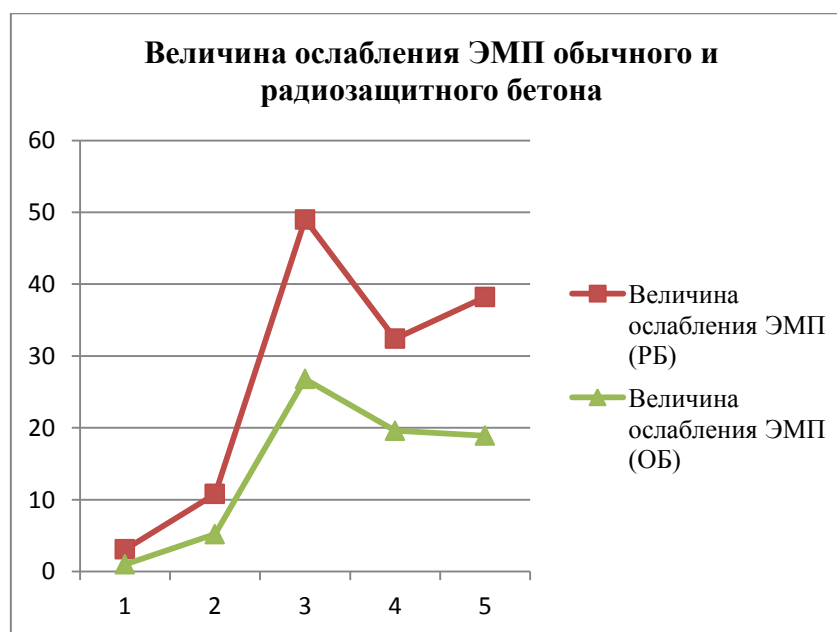


Рис. 3. Сравнение обычного и радиозащитного бетона по ослаблению ЭМП

Состав № 2.

Изобретение относится к составу радиозащитного строительного бетона с пористым заполнителем и способу его изготовления. Изобретение может быть использовано при создании помещений, защищающих от повышенного уровня электромагнитного поля, генерируемого как внешними, так и внутренними источниками. Радиозащитный строительный бетон, полученный из смеси, состоящей из портландцемента, песка, воды затворения, пористого заполнителя и углеродсодержащего радиопоглощающего наполнителя, причем пористый заполнитель



представляет собой пеностеклянные гранулы размером до 5 мм, а углеродсодержащий радиопоглощающий наполнитель представляет собой структурированный гель, содержащий 51 - 63 мас. % 5 – 10 %-ного водного раствора поливинилового спирта, 4 - 7 мас. % лигносульфоната натрия, 9 - 12 мас. % водного 25 %-ного раствора аммиака и 24 - 30 мас. % электропроводного технического углерода, а исходные компоненты бетона берутся в следующем объемном соотношении: портландцемент: песок: вода затворения: пористый наполнитель: углеродсодержащий радиопоглощающий наполнитель 1:(0-0,3):(0,4-0,6):(1,5-2,3):(0,1-0,4) соответственно.

Способ изготовления радиозащитного строительного бетона из указанной смеси, заключающийся в приготовлении раствора из портландцемента, песка, воды затворения, пористого заполнителя и углеродсодержащего радиопоглощающего наполнителя с последующим его отверждением, при этом указанный углеродсодержащий радиопоглощающий наполнитель готовят предварительно следующим образом: в водном растворе аммиака растворяют порошкообразный лигносульфонат натрия, далее этот раствор смешивают с водным раствором поливинилового спирта и в полученном растворителе диспергируют гранулированный электропроводный технический углерод, подавая его порциями при скорости вращения перемешивающего устройства 1400 - 2000 об/мин, после чего указанный углеродсодержащий радиопоглощающий наполнитель вводят в воду затворения цементно-песчаной смеси. Технический результат – получение эффективного радиозащитного строительного материала с широкополосным поглощением электромагнитного излучения [3].

Формула изобретения.

1. Радиозащитный строительный бетон, полученный из смеси, состоящей из портландцемента, песка, воды затворения, пористого заполнителя и углеродсодержащего радиопоглощающего наполнителя, отличающийся тем, что пористый наполнитель представляет собой пеностеклянные гранулы размером до 5 мм, а углеродсодержащий радиопоглощающий наполнитель представляет собой структурированный гель, содержащий 51 - 63 мас. % 5 – 10 %-ного водного раствора поливинилового спирта, 4 - 7 мас. % лигносульфоната натрия, 9 - 12 мас. % водного 25 %-ного раствора аммиака и 24 - 30 мас. % электропроводного технического углерода, а исходные компоненты бетона берутся в следующем объемном соотношении: портландцемент: песок: вода затворения: пористый наполнитель:

углеродсодержащий радиопоглощающий наполнитель 1:(0-0,3):(0,4-0,6):(1,5-2,3):(0,1-0,4) соответственно.

2. Способ изготовления радиозащитного строительного бетона из смеси по п. 1, заключающийся в приготовлении раствора из портландцемента, песка, воды затворения, пористого заполнителя и углеродсодержащего радиопоглощающего наполнителя с последующим его отверждением, при этом указанный углеродсодержащий радиопоглощающий наполнитель готовят предварительно следующим образом: в водном растворе аммиака растворяют порошкообразный лигносульфонат натрия, далее этот раствор смешивают с водным раствором поливинилового спирта и в полученном растворителе диспергируют гранулированный электропроводный технический углерод, подавая его порциями при скорости вращения перемешивающего устройства 1400 - 2000 об/мин, после чего указанный углеродсодержащий радиопоглощающий наполнитель вводят в воду затворения цементно-песчаной смеси (рис. 4).

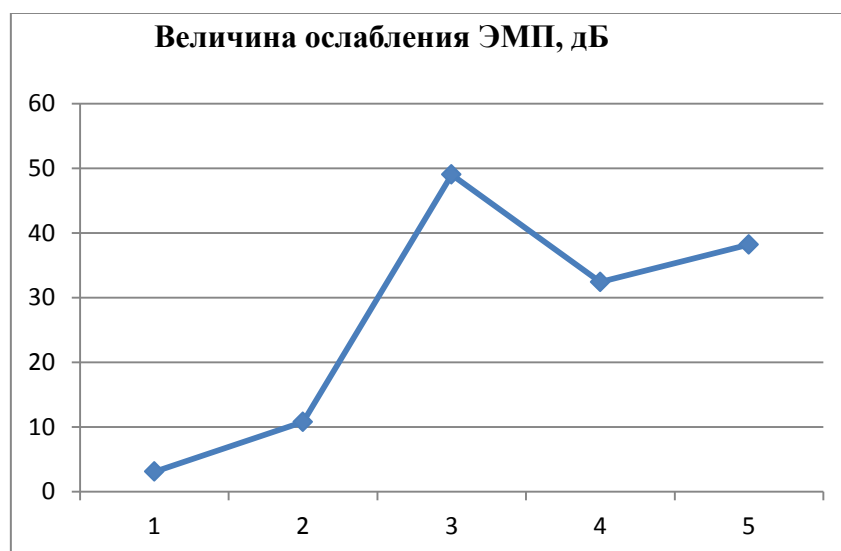


Рис. 4. График величины ослабления ЭМП образцов радиозащитного бетона

Состав №3.

Изобретение относится к составам бетонных смесей, используемых для защиты бетонных поверхностей монолитных, сборных бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений, а также к способам нанесения защитного покрытия на защищаемые поверхности. Технический результат изобретения состоит в ускорении набора прочности и повышении водонепроницаемости при низких температурах (5-10 °С) в ранние сроки твердения [4].

Композиция для защиты бетонных поверхностей содержит, мас. %: портландцемент 36,0 - 38,0, песок 39,0 - 46,5, нитрат натрия 0,9 - 1,7, карбонат натрия

2,0 - 3,0, сульфат натрия 2,5 - 3,0, хлорид кальция 0,05 - 0,15, карбид кальция 0,75 - 1,15, гидроксид кальция 0,8 - 1,0, рассол выщелачивания рапы - бишофит сульфатного типа плотностью 1,24 - 1,35 т/м<sup>3</sup> 2,0 - 3,0, вода – остальное.

Способ защиты бетонных поверхностей с нанесением указанной выше композиции включает предварительную обработку защищаемой поверхности на глубину открытой поровой системы бетона путем выполнения на ней систематически расположенных углублений с образованием ячеистой поверхности площадью большей, чем площадь защищаемой поверхности, пропитывание водой ячеистой поверхности в течение 36 - 48 часов. Причем указанную площадь ячеистой поверхности устанавливают в зависимости от температуры пропитанного водой бетона перед нанесением на него защитной композиции.

Изобретение относится к составам бетонных смесей, используемых для защиты бетонных поверхностей, ремонтируемых и вновь изготовляемых монолитных, сборных бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений различного назначения, а также к способам нанесения защитного покрытия на защищаемые поверхности.

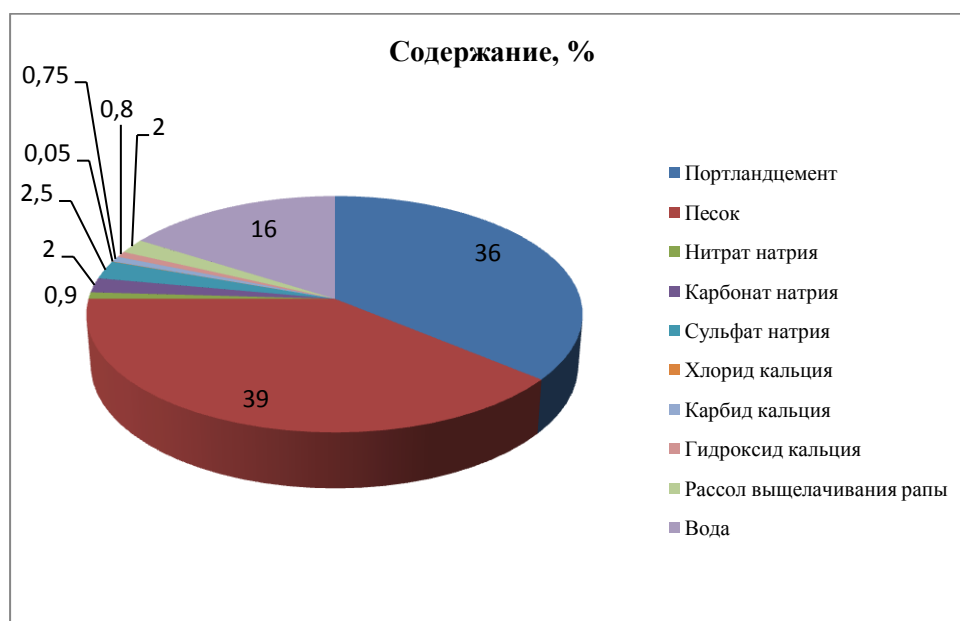


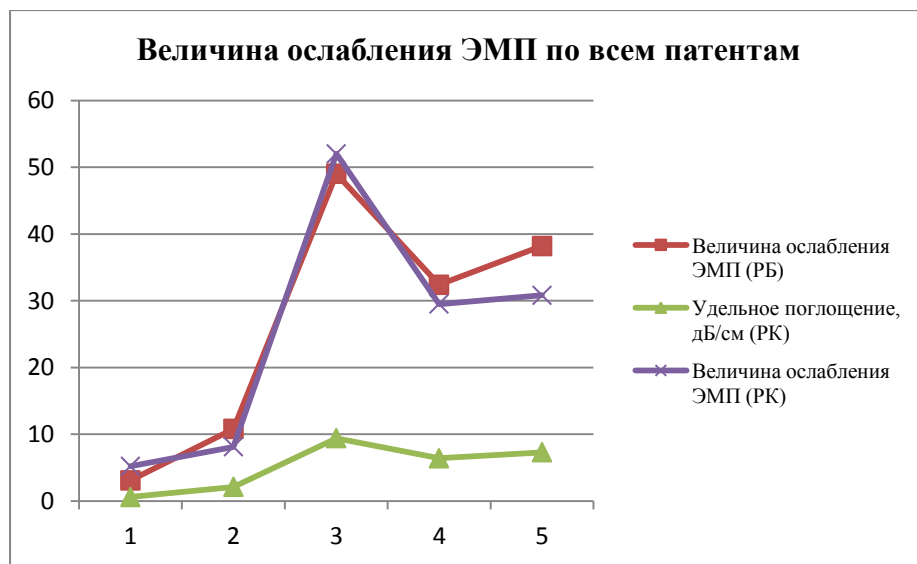
Рис. 5. Состав и процентное соотношение элементов радиозащитной композиции

Известны защитные композиции на основе цементного вяжущего с неорганическими ионогенными добавками и способы защиты бетонных поверхностей путем нанесения на них защитных композиций (рис. 5, 6). Для таких защитных покрытий существует проблема обеспечения равнопрочностных характеристик бетона защитного слоя и защищаемого бетона. Результаты несовместимости проявляются через 3 - 5 лет в виде растрескивания и отслаивания защитного слоя.



*Рис. 6. Сравнение обычной и радиозащитной композиции по величине удельного поглощения радионуклидов*

В рамках данного исследования были рассмотрены три типа состава бетона, представленных в качестве возможных вариантов для строительства объектов АЭС. Учитывая рассмотренные варианты, на основании проведённых расчётов, был принят состав № 2 радиозащитный строительный бетон с пористым заполнителем (рис. 7). Данное решение было обосновано наибольшей величиной ослабления ЭМП.



*Рис. 7. Сравнение всех 3-х составов на предмет величины ослабления ЭМП*

Учитывая указанные факторы и предварительные исследования, рекомендуется принять решение о применении этого состава радиозащитного бетона для проектирования объектов АЭС.

## Литература

1. Информация об АЭС из Википедии: [сайт]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Атомная\\_электростанция](https://ru.wikipedia.org/wiki/Атомная_электростанция) (дата обращения: 01.12.2023). – Текст: электронный.
2. Патент: способ изготовления радиационно-защитного бетона / Google Патенты: [сайт]. – URL: <https://www.freepatent.ru/patents/2194316> (дата обращения: 01.12.2023). – Текст: электронный.
3. Патент: радиозащитный строительный бетон / Google Патенты: [сайт]. – URL: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2545585C1\\_20150410](https://yandex.ru/patents/doc/RU2545585C1_20150410) (дата обращения: 01.12.2023). – Текст: электронный.
4. Патент: композиция для защиты бетонных поверхностей / Google Патенты: [сайт]. – URL: <http://bd.patent.su/2363000-2363999/pat/servlet/servlet5869.html> (дата обращения: 01.12.2023). – Текст: электронный.

УДК 69.05

### **Особенности возведения высотных сооружений с применением воздушной грузоподъемной техники**

Магеррамова Инна Александровна, старший преподаватель кафедры  
«Промышленное и гражданское строительство»;

Тарасенко Владислав Сергеевич, студент направления «Строительство»

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

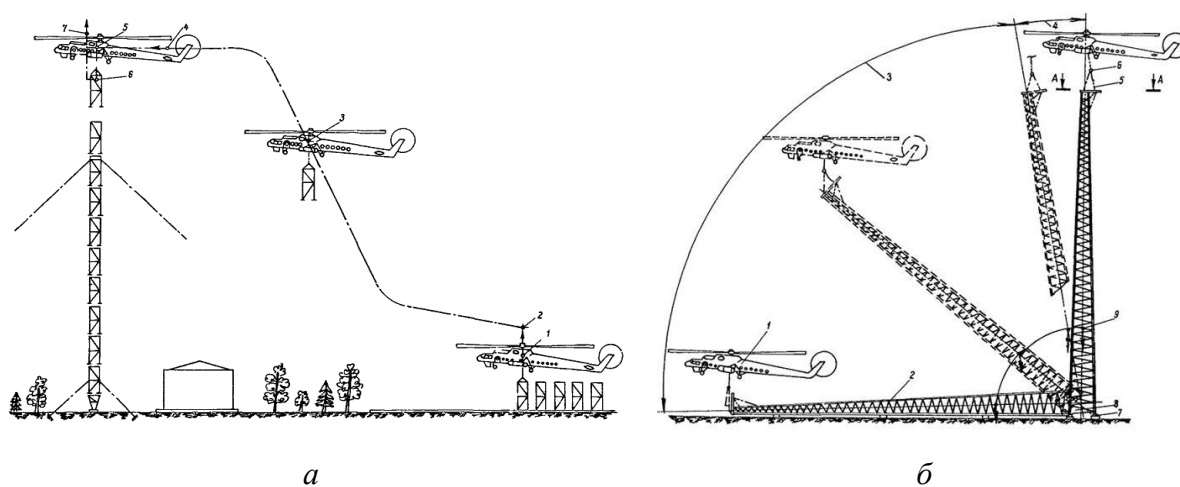
*В статье раскрыты основные технологические этапы возведения высотных сооружений с помощью воздушной техники, рассмотрены стадии монтажа, проанализированы достоинства и недостатки существующих и перспективных воздушных транспортных средств, подходящих для использования в строительстве.*

В настоящее время в Российской Федерации востребовано возведение высотных сооружений различного функционального назначения в малоосвоенных, незаселённых, либо труднодоступных местах в ускоренные сроки. В отечественном и зарубежном опыте существуют технологии, позволяющие удовлетворить данную потребность.

Высотными называются сооружения, высота которых многократно превосходит размер их поперечного сечения. По конструктивно-компоновочной схеме все высотные сооружения принято разделять на два основных вида – башни и мачты.

При возведении высотных сооружений наиболее распространёнными являются три метода: монтаж наращиванием, подращиванием или поворотом [1].

Воздушная техника применяется в двух из вышеназванных: при методе наращивания, предусматривающем поярусную установку снизу вверх блоков сооружения в проектное положение (рис. 1а) и при методе поворота вокруг неподвижных шарниров собранного сооружения из горизонтального положения в проектное (рис. 1б) [1]. В обоих случаях монтаж производится вертолётами, которые целесообразно применять при возведении в особо стеснённых условиях или труднодоступных районах, при проведении реконструкции на действующем производстве, при очаговом характере размещения объектов.



*Рис. 1. Вертолётный монтаж высотных сооружений:  
а – схема монтажа методом наращивания;  
б – схема монтажа методом поворота*

Согласно действующей нормативной базе [2] в качестве грузоподъёмных механизмов при монтаже высотных сооружений допускаются к применению вертолёты Ми-6, Ми-8, Ми-10К, Ми-26, Ка-32. Однако имеющиеся ведомственные строительные нормы были разработаны в советское время, и некоторая информация в них устарела. Так, в настоящий момент Ми-6 и Ми-10К выведены из эксплуатации, а в монтажных работах могут быть использованы лишь три оставшиеся модели, ключевые характеристики которых приведены в табл. 1.

Применение вертолётов требует тщательного учёта атмосферных показателей. Так, монтажные работы могут производиться при скорости ветра не более 10 м/с, при наращивании 10 % грузоподъёмности летательного аппарата резервируется для возможных изменений атмосферных условий. При поворотном методе, напротив, масса сооружения может превосходить грузоподъёмность вертолёта в 2 - 3 раза, что

объясняется наличием реактивной силы от шарнирного закрепления у основания конструкции, снижающей нагрузку на машину.

Таблица 1

Характеристики находящихся в эксплуатации вертолётов,  
рекомендуемых для применения на строительно-монтажных работах

Параметр	Модель вертолѐта		
	Ми-8	Ми-26	Ка-32
Масса пустого вертолѐта, т	6,8	28,2	6,5
Масса груза, перевозимого на внешней подвеске (максимальная), т	2,5	20,0	5,0
Грузоподъёмность на монтажных работах (максимальная), т	2,5	15,0-16,0	5,0
Продолжительность полета (максимальная), ч	2,1	3,0	3,0
Дальность полета (максимальная), км	600	800	810

До начала монтажа требуется проведение подготовительных работ по организации монтажно-вертолѐтной площадки (МВП), компоновка и составные элементы которой могут различаться между собой в нормативных документах разных стран [2, 3].

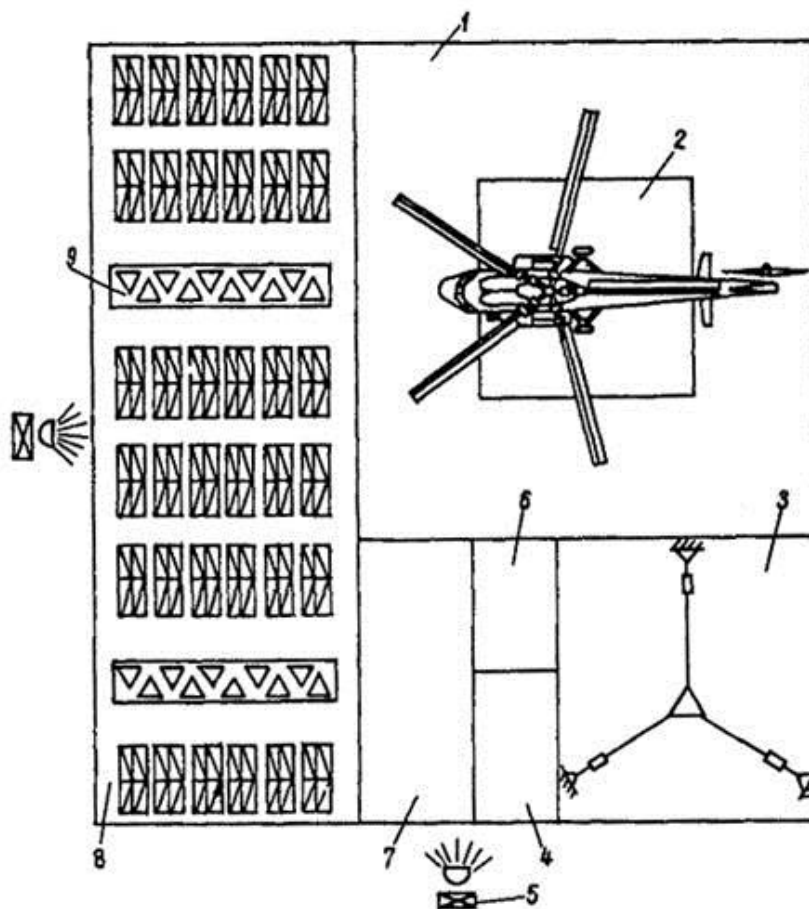


Рис. 2. Схема монтажно-вертолѐтной площадки

На рис. 2 приведён пример схемы монтажно-строительной площадки согласно отечественным инструкциям; МВП включает в себя: взлетно-посадочную площадку (ВПП) 1, в центре которой располагается рабочая площадь 2 для непосредственного взлета, посадки и стоянки вертолета; зону 3 для проведения тренировочных полетов с пробной установкой блоков; зону 4 для стоянки вспомогательных механизмов (самоходного крана, топливозаправщика и т. д.); осветительные прожекторы 5; зону 6 для расположения отдельных помещений для дневного отдыха экипажа и монтажников, а также хранения снятого с вертолета оборудования и инструмента; территорию 7 для складирования монтажного оборудования и инвентаря, монтажную площадку 8 для складирования и сборки конструкций с отдельными зонами 9 для хранения готовых к монтажу блоков [2].

Первой стадией монтажа является строповка конструкций; она осуществляется с помощью внешних подвесок, представляющих собой канатную систему и входящих в комплект оборудования вертолёт. Длина внешних подвесок определяется исходя из следующих факторов: колебания в полёте, масса конструкции и требуемый обзор зоны монтажа, при этом расстояние от вертолёт до конструкции должно быть не менее 6 м. Все виды монтажных соединений выполняются с повышенным уровнем ответственности: используются коуши, предохранительные скобы, переходные траверсы (звенья) и т. п. [3].

Вторая стадия представляет собой перемещение (подъём или поворот) конструкции до уровня монтажного горизонта. После поднятия блока на 3 м производится контрольное висение. Затем в случае метода поворота сооружение поднимается до нейтрального положения с дальнейшим торможением по мере приближения к проектному положению. Во время второго контрольного висения осуществляется временное закрепление башмаков нижнего яруса сооружения с фундаментом. В случае метода наращивания контрольных висений три, а не два. Второе промежуточное висение на удалении 20 - 30 м от объекта требуется для изменения траектории движения: после транспортировки блока от МВП происходят подъём и выход на монтажную вертикаль. Следующей операцией является снижение и установка конструкции в проектное положение. Третье контрольное висение требуется для оценки положения установленного блока, нижняя подвеска при этом ослабляется.

Третья стадия – это расстроповка конструкции и последующий отлёт вертолёт из области монтажа. При наращивании для точного наведения монтируемого блока в ходе установки на стык применяются «ловители» – направляющие и фиксирующие приспособления. Обилие таких приспособлений (внутренние замкнутые и канатные,



наружные консольные) вызвано разными конструктивными решениями высотных сооружений с особыми требованиями по монтажу. Сама расстроповка может производиться как дистанционно отключением электрозамка, так и вручную бортоператором или монтажниками [2].

Применение вертолётной техники предъявляет особые требования как к безопасности, так и к подготовке участников процесса возведения. Представитель экипажа должен проводить инструктаж бригады монтажников, из числа лётного состава назначается корректировщик полёта на земле. Участие самих монтажников в момент установки конструкции в проектное положение допустимо лишь в особых случаях: при отсутствии системы ориентации груза у вертолёта и наличии просторных площадок для размещения работников на достаточном удалении от блока [2].

Дополнительные требования предъявляются и к самим монтажным блокам. При наращивании сооружение разделяется на монтажные блоки, каждому из которых обеспечивается пространственная жёсткость и временная устойчивость, кроме того, монтажные стыки должны быть технологичными. При повороте конструкции до полного закрепления её нижнего яруса с фундаментом, то есть до установки в проектное положение, она должна иметь достаточный запас прочности для работы на изгиб от собственного веса и от динамической нагрузки, вызванной тяговым усилием взлетающего вертолёта.

Вертолёты как грузоподъёмные механизмы имеют ряд монтажных качеств [2]:

— независимость от наземных условий строительной площадки, кроме случая монтажа вблизи высотных сооружений;

— возможность подъёма груза на любую необходимую высоту для возводимых сооружений (максимальная высота подъёма – динамический потолок – в среднем составляет 3,0 - 4,5 км, в то время как башенные и мачтовые сооружения в высоту не превышают нескольких сотен метров);

— высокая мобильность с возможностью сочетания монтажных работ с транспортировкой грузов на внешней подвеске с объекта на объект на большие расстояния;

— высокая относительно монтажных кранов скорость опускания конструкции на монтажный стык (до 0,5 м/с);

— воздействие интенсивного ветрового потока от винтов (до 25 м/с) на монтируемую конструкцию, монтажников в зоне работ и соседние сооружения;

— ограниченность по времени монтажного висения (в пределах 10 - 15 минут).

Современная вертолётная техника может организовать транспортировку и монтаж грузов весом вплоть до 20 тонн. Известны случаи применения самолётов для доставки нескольких конструкций вместе до аэродрома с дальних расстояний, вертолёты при этом используются на следующем этапе для доставки конструкций уже по отдельности от аэродрома до строительной-монтажной площадки.

Транспортировка конструкций к отдалённым районам самолётами зачастую затруднена ввиду отсутствия оборудованных взлётно-посадочных полос. Вертолёты, в свою очередь, обладают существенно меньшей грузоподъёмностью на фоне самолётов, и доставка грузов с помощью первых на те же расстояния по частям приведёт к росту транспортных затрат. Перспективным способом решения данных строительных задач является использование дирижаблей для доставки грузов и монтажа конструкций.

В постсоветский период велась разработка принципиально новых воздухоплавательных грузоподъёмных механизмов, проводились испытания новых моделей. Свыше десятка дирижаблей эксплуатируются в настоящее время, но лишь в гражданских целях или для транспортировки небольших грузов. Для монтажа высотных сооружений в России дирижабли до сих пор не применяются. Однако уже сейчас существуют проекты дирижаблей специального назначения с грузоподъёмностью, значительно превосходящей предельные для самолётов – до нескольких сотен тонн. Использование данных машин может быть целесообразным при освоении Крайнего Севера: Арктики и Северной Сибири – труднодоступным районам с суровым климатом.

К преимуществам дирижаблей, помимо высокой грузоподъёмности, относятся:

- низкая топливоёмкость, а значит, меньшая себестоимость перевозок в сравнении с вертолётами и самолётами;
- мобильность и манёвренность, сопоставимая с вертолётами, возможность проведения монтажных работ непосредственно на объекте строительства.

Недостатками являются:

- крайне малый опыт эксплуатации, следствием чего выступает недостаточная проработанность мер безопасности и технологических норм для применения в монтажных целях;
- отсутствие в достаточном количестве и дороговизна инфраструктуры для базирования дирижаблей и их технического обслуживания [4].

Варианты применения воздушной грузоподъёмной техники для монтажных работ показаны на рис. 3.



*Рис. 3 Монтаж конструкций с помощью:  
а – вертолѐта Ка-32; б, в – дирижаблей (проекты)*

В заключение, использование воздушной техники должно подтверждаться технико-экономическим расчетом эффективности в сравнении с другими возможными вариантами монтажа. Такая техника имеет преимущества: возможность с большой скоростью возводить высотные сооружения с совмещением процессов монтажа и транспортировки, экономия времени из-за отсутствия необходимости сооружения монтажного крана. Однако воздушная техника выгодна лишь при больших объемах работ, поскольку свыше половины стоимости аренды машины уходит на перелѐты.

Отдельно следует отметить, что назревает необходимость актуализации действующих отечественных нормативных документов [2]. В настоящий момент, если направление применения воздушного транспорта для возведения инженерных сооружений продолжит оставаться востребованным, в процессе разработки усовершенствованной нормативной базы полезным будет учѐт зарубежного опыта, в частности, стандартов организаций и министерств некоторых государств [3], в которых особое внимание уделено вопросам безопасности проведения такого типа строительно-монтажных работ.

#### Литература

1. НУВХП: Монтаж высотных сооружений: мачт, башен, труб: [сайт]. – URL: <https://studfile.net/preview/5198321/#2> (дата обращения: 13.12.2023). – Текст: электронный.
2. Ведомственные строительные нормы ВСН 463-85 «Монтаж строительных конструкций с применением вертолетов». – М.: Минмонтажспецстрой СССР, 1986: [сайт]. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294846/4294846903.htm> (дата обращения: 13.12.2023). – Текст: электронный.

3. The Infrastructure Health and Safety Association (IHSA) [сайт]: «Construction Health and Safety Manual: Helicopter Lifting» / 26. Helicopter Lifting // Ontario, Canada. URL: [https://www.ihsa.ca/rtf/health\\_safety\\_manual/pdfs/tools\\_and\\_techniques/Helicopter\\_Lifting.pdf](https://www.ihsa.ca/rtf/health_safety_manual/pdfs/tools_and_techniques/Helicopter_Lifting.pdf) (дата обращения: 15.12.2023). – Текст: электронный.

4. Верейкин, А. А. Применение авиации в строительстве / А. А. Верейкин, И. А. Верейкин: [сайт]. – URL: <https://str-t.ru/reports/21/> (дата обращения: 19.12.2023). – Текст: электронный.

УДК 372.862

### **Особенности и проблемы преподавания графических дисциплин поколению Z**

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

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

*Прогрессивные изменения, происходящие сейчас в нашем российском обществе, требуют нового подхода к обеспечению технической грамотности современного поколения. Согласно поручению В.В. Путина правительству, предполагается новый взгляд на преподавание графических дисциплин на всех этапах обучения. Необходимость использовать накопленный предыдущими поколениями опыт и способность сочетать его с новейшими компьютерными технологиями, предполагает проблему совершенствования профессиональной подготовки преподавателей такого предмета, как черчение и техническое моделирование.*

Президент РФ Владимир Путин поручил правительству ввести с 2024 года в школах учебный курс «Черчение» в инженерных классах. Соответствующий перечень поручений по итогам заседания президиума Государственного Совета опубликован на сайте Кремля. «Обеспечить, начиная с 2024/25 учебного года освоение основ черчения лицами, обучающимися по образовательным программам основного общего образования, а также изучение учебного курса «Черчение» на уровне среднего общего образования лицами, обучающимися по технологическому (инженерному) профилю», — говорится в документе. Это необходимо, чтобы у молодёжи появились навыки пространственного и творческого мышления, а также для воспитания в стране новых инженерных кадров.

В сегодняшнем технологичном мире подавляющему большинству профессий требуется наличие графических знаний и умений, приобретенных учащимися в школе. Именно поэтому идеи реформы школы, всецело относятся и к графическому образованию как компоненту общеобразовательной, политехнической и профессиональной подготовки школьников [1].

Черчение изучалось в советской школе с 1930-х годов, хотя преподавание предмета по часам и возрасту учащихся постоянно корректировалось. В 2000-х годах его в последний раз перенесли с 7-го в 9-й класс, а время изучения было сокращено до одного часа в неделю. Затем предмет стал факультативным, его по желанию могли выбрать для изучения сами учащиеся. Официально черчение было исключено из школьной программы в 2019 году, и это привело к потере технического мышления у целого поколения учащихся. Высшая школа вынуждена была переключиться с решения программ высшей школы на изучение основ инженерной графики. Из курса высшей школы, ушла начертательная геометрия, основа проецирования. Что, безусловно, сказалось и еще скажется на квалификационных способностях наших выпускников.

Администрации средней школы, конечно, вздохнули с облегчением: черчение – предмет сложный, увидеть и начертить в разрезе штуцер, шкаф с ящиками или даже спичечный коробок дано далеко не каждому. Тут нужен особый склад ума: инженерный, конструкторский. А в среде инженеров и производственных сообществах забили тревогу. Причем, буквально с того самого момента, как объемы предмета в школе стали стремительно таять. Еще в далеком 2000 году на страницах «Учительской газеты» было опубликовано письмо с просьбой продолжить обучение предмета Черчение в 8 - 10 классах. Под ним было 120 подписей от работников графического образования, конструкторских бюро Башкирии, Удмуртии, Свердловской области и других промышленных регионов нашей страны. Там же, кстати, были приведены интересные данные. Оказывается, процесс развития пространственных представлений человека завершается к 15-16 годам. То есть если в средней школе ребенка не научат пространственному мышлению, то дальше уже будет практически невозможно это наладить.

Забили тревогу ряд профильных экспертов и специалистов в вузах, они также поднимали вопрос о возвращении черчения в школьную программу. По их мнению, изучение черчения помогает заложить в знаниях «фундамент для дальнейшего инженерного образования в период профессиональной ориентации у школьников». «Отсутствие в средней школе полноценного изучения курса черчения, т.е. языка техники, явится тормозом в диалоге выпускников школы с компьютером на

технические и другие темы, а также в разработке проектов», – из обращения специалистов правительству Российской Федерации.

По утверждению преподавателей вузов, сейчас многие выпускники школ выбирают технические специальности, но часть из них после первого года обучения переводится на другие направления, так как программы по черчению в вузе для них сложны без подготовительных знаний, которые можно было получить в школе по этому направлению.

Основная цель преподавания технической грамотности в школе – это не только дать фундаментальные знания и навыки графического образования, но и сформировать установку на самообразование и развитие пространственного мышления, которое со времени игнорирования графических дисциплин практически утрачено современным поколением. А это, в свою очередь, приводит к пробелам восприятия физики, геометрии и прочих наук и затрудняет процесс подготовки качественных кадров в высшей школе.

Существует еще и обывательское мнение о том, так ли нужно изучение черчения и моделирования в средней школе. Может инженерным кадрам оно и понадобится, а вот тем, кто поступает в медицинские вузы, биологам, химикам, эти знания могут и не пригодиться. Хотелось бы поспорить и с этими оппонентами. Прогресс не стоит на месте и медицина сейчас - это не только свод специальных знаний, но и мощное техническое оснащение, помогающее ставить диагноз, оперировать, физиологически оздоравливать человека. И не будем сбрасывать со счетов то, что больше и больше внедряются «запасные части» для полноценной жизни человека. А тут и моделирование и прототипирование с личными характеристиками конкретного индивидуума. Так что знания черчения и моделирования ведет к закладке творческого подхода и технической грамотности в решении ранее неразрешаемых проблем.

Изучение графики в объеме черчения и 3D моделирования дает мощный толчок в гормональном развитии личности в современном технологическом мире, если мы ориентированы на технологический прорыв в нашей стране. А это, в свою очередь, требует пересмотра кадровой политики, так как черчение – не самый легкий предмет для восприятия и требует специальных знаний преподавателя.

Необходимость обучения графическим дисциплинам в общеобразовательной школе, совершенствование графического образования в целом диктуется не только техническим прогрессом, современными условиями производства, но и весьма важной ролью графической грамотности в развитии мышления и познавательных способностей

учащихся. Психолого-педагогическими исследованиями доказано, что графическая подготовка в школе способствует всестороннему развитию личности.

Таким образом, система обучения черчению и моделированию должна выйти на совершенно новый качественный уровень методики преподавания. От традиционной практики преподавания черчения частично надо отказаться, так как это не соответствует современному восприятию поколения Z. Конечно, изучение азов технической грамотности предлагаю оставить, так как это знакомит с ГОСТами и формирует нейронную связь восприятия предмета.

Но так как, черчение, как процесс, связанный с выполнением и оформлением чертежей и др. графической документации, за последние 10-15 лет претерпел значительные, можно сказать, революционные изменения, то необходимо вводить в предмет черчение-моделирование и прототипирование. Если раньше для разработки проектно-конструкторской документации требовались большие коллективы инженеров, техников, расчетчиков, чертёжников, копировщиков и значительное время, то применение современных компьютерных графических технологий позволяет решать эти задачи гораздо более производительно и эффективно, то есть выполнением чертежей занимается гораздо меньше специалистов именно за счет использования компьютерных технологий. А так как этот процесс аккумулируется в ограниченном круге специалистов, то и требования к уровню образованности специалистов повышается в геометрической прогрессии. Невозможно в сегодняшних условиях совершить прогресс с «каменным» молотом. Нужны базовые и компьютерные знания и умения их применять.

То, что раньше называлось Черчением должно перепрофилироваться в объемное понятие и стать комплексной наукой, включающей в себя несколько дисциплин, приводящих к объемному творческому подходу и развитию творческой составляющей каждого человека, ориентироваться на пробуждение технической «жилки» и желание к техническому творчеству. Только тогда мы сможем обеспечить нашей великой России преимущество в кадрах.

#### Литература

1. Михайлов, А. В. Черчение в школе. Проблемы и перспективы / А. В. Михайлов. – Сообщество педагогов: [сайт]. – URL: <https://pedsovet.su/> (дата обращения: 11.12.2023). – Текст: электронный.

**Градостроительный анализ архитектурного наследия купеческой слободы  
по улице Московской эпохи модерна**

Попова Надежда Александровна, доктор архитектуры,  
почетный архитектор России, почетный член РААСН, 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

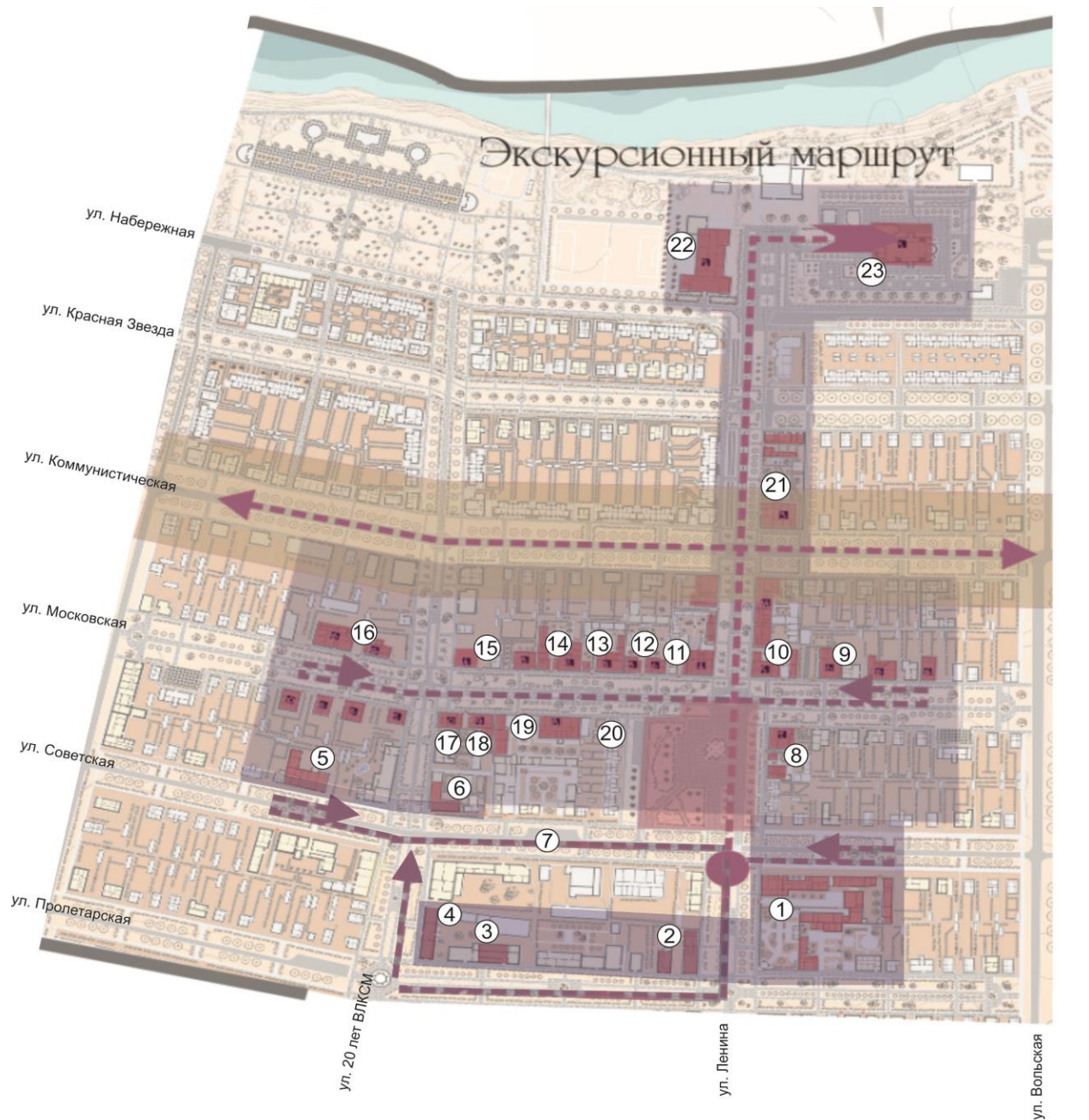
*Статья посвящена проблемам и путям сохранения архитектурного наследия, отражающего опыт и традиции национальной купеческой культуры, посредством организации музея под открытым небом. Результаты обследования 2022 и 2023 года раскрыли полностью картину современного состояния памятников историко-культурного наследия периода конца XIX – начала XX Балаково Саратовской области для целей практической реализации концепции создания музея «скансена», для туристических целей.*

Потенциал историко-культурного наследия исторической зоны и центра города Балаково для целей организации «скансена» не вызывает сомнения. Ценные и полезные качества исторической архитектуры выражаются в накопившемся вековом опыте отбора лучшего, который повторяется в последующем творчестве и приобретает статус архитектурных традиций, стиля. Отдельные ценные неповторимые гармонии форм и архитектурные композиции сохраняются только в одном произведении и являются единичными и уникальными. Традиция как наиболее устойчивая базовая форма, сохраняющаяся во времени и передающаяся в лучших образцах от поколения к поколению, является ключевым звеном, ядром любой устойчивой сложившейся культуры. Использование лучшего опыта прошлого и традиций вливается в процесс развития прогрессивных начал – в новаторство. Для целей лучшего выявления, изучения сохранения и использования памятников архитектуры предлагается создание музея под открытым небом типа «скансен» [1, 2].

Архитектурный облик исторической части современного города Балаково сформировался в конце XIX и начале XX века, так называемый период модерна, короткий срок 1890-1915 года в период купеческого бума строительства «пшеничной столицы Поволжья». В конце XIX и начале XX века была сформирована застройка улицы в виде замкнутых усадебных комплексов из кирпича. В Балаково работали в тот



период шесть кирпичных заводов. Фасадные стороны кирпичных строений выполнены из одинакового облицовочного кирпича, не требующего штукатурки.



- |  |  |
|--|--|
| 1 - Усадьба Анисима Мальцева             | 13 - Усадьба Скворцова                       |
| 2 - Гостино-торговый двор купца Смирнова | 14 - Усадьба купца Е.С.Ермилина              |
| 3 - Торговый дом Горкина                 | 15 - Купеческие дома                         |
| 4 - Торговый дом Ермилина                | 16 - Усадьбы купцов Кудряшова и Вьюшкова     |
| 5 - Торговый дом Поликарпова             | 17 - Усадьбы купцов Куприянова и Пыркова     |
| 6 - Торговый дом Александрова            | 18 - Усадьба купцов братьев Ермилиных        |
| 7 - Толчок                               | 19 - Усадьба заводчика Стройкова-Якимова     |
| 8 - Усадьба купца Лобанова               | 20 - Усадьба купца Мерлина                   |
| 9 - Усадьба купца Смирнова               | 21 - Усадьба Паисия Мальцева                 |
| 10 - Усадьба Николая Менькова            | 22 - Коммерческое училище                    |
| 11 - Усадьба хлеботорговца Мичурина      | 23 - Свято-Троицкий собор (арх. Ф.О.Шехтель) |
| 12 - Купеческие дома                     |  |

*Рис. 1. Туристический маршрут осмотра памятников музея купеческой культуры периода модерна. Объектами купеческой слободы являются отмеченные на плане позиции с 8 по 20*

Ансамбли сплошной усадебной застройки представляет «русский фасад», определяют первую особенность градостроительного наследия города, это – формирование традиций кирпичного стиля [3]. Нештукатуренные красные фасады дополнялись белыми элементами, переплеты окон и дверей, белокаменные вставки фигурных элементов и растворные швы. В единое целое сливались фасады зданий, ограждений, ворот. Другой особенностью архитектуры является индивидуальный облик каждой усадьбы, т. е. ни один фасад не повторяет внешнего убранства других. Третьей особенностью убранства усадеб является наличие ярких черт, форм многоликого, многостилевого модерна.

Сохранившиеся памятники (рис. 1) на «купеческой слободе» улицы Московской представляют особую гордость и бренд Балакова. Протяженное, ориентированное на движение, пространство улицы контрастировало с замкнутым, интимным внутренним миром замкнутых дворов. Балаковские усадебные ансамбли замкнутых дворовых пространств сплошной застройки улицы Московской, состоят из кирпичных домов, лавок, каретников, конюшен, оград, ворот, флигелей, брандмауэров. Усадебные строения составляют не только историко-архитектурный интерес, но и этнографический интерес раскрытия утраченных особенностей купеческого русского быта, периода модерна.

В 2022 году в программу детального натурного обследования были включены наиболее выразительные по архитектуре и планировке: строение «купеческой слободы» – усадьба купца Стройкова-Якимова и усадьба купца Ермилина. Выполнена фотофиксация, обмеры и визуальная оценка современного состояния конструкций с выявлением дефектов для каждого исторического строения и оград ценных усадеб.

В 2023 году проведено натурное обследование всех строений «купеческой слободы» улицы Московской, между улицами Ленина и 20 лет ВЛКСМ, по её северной и южной сторонам. В результате научного обследования, проведенного в 2022 и 2023 годах, сложилась полная картина современного состояния ценных архитектурных памятников, необходимая для проведения реставрационных работ с целью создания музея архитектуры под открытым небом – «скансена».

Градостроительное пространство центрального бульвара «скансена» южной и северной частей улицы обрамляют сплошные ленты фасадов усадеб замкнутого типа с внутренними дворами, яркой архитектурой балаковского кирпичного стиля с многоликой стилизацией периода модерна (конца XIX – начала XX века), которые и являются наиболее ценными экспонатами.



*Рис. 2. Панорама фасада южной стороны музейной зоны купеческой слободы по ул. Московской. Усадьба Стройкова-Якимова и далее строения купцов братьев Ермилиных. Материалы Протниковой Е.*



*Рис. 3. Панорама фасада северной стороны музейной зоны купеческой слободы по ул. Московской. Ансамбль усадьбы купца Ермилина, усадьба купца Скворцова, усадьба купца Мичурина и три купеческих особняка. Материалы Сютинной Ю.*

Кроме ценных стилистических качеств архитектуры фасадов, усадебные строения раскрывают и экспонируют утраченные усадебные функции в современном быту: конюшен, каретников, торговых лавок, брандмауэров и др.

В 2023 году обследованы исторические памятники и объекты исторической среды от перекрестка ул. Ленина и ул. Московской сплошным фронтом до ул. 20 лет ВЛКСМ, по южной и северной стороне. Выполнен визуальный осмотр, опись архитектурного убранства с фотофиксацией ценных элементов, оценка материального состояния строений и конструкций с составлением дефектной ведомости по каждому объекту. Получена целостная картина, раскрывающая тактику сохранения и дальнейшей реставрации убранства фасадов, как предмета охраны и экспонирования туристам (рис. 2, 3).

#### Литература

1. Ган, О. Н. Проектная деятельность музея как способ актуализации историко-культурного наследия / О. Н. Ган // Вестник СПбГУКИ. – 2014. – № 3(20). – С. 151-154.
2. Попова, Н. А. Музеефикация как концепция сохранения историко-культурного наследия / Н. А. Попова // Сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы охраны и использования культурного наследия Крыма». – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2019. – С. 209-214.
3. Попова, Н. А. Архитектурное наследие степного края Заволжья: монография / Н. А. Попова. – Саратов: СГТУ, 2014. – 278 с.

УДК 72

#### **Результаты натурного обследования современного состояния особняка купца Лобанова - памятника архитектуры XIX века**

Попова Надежда Александровна, доктор архитектуры,  
почётный архитектор России, почетный член РААСН, профессор кафедры  
«Промышленное и гражданское строительство»;

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

*В статье приводятся результаты научных исследований современного состояния памятника архитектуры конца XIX века – особняка купца М.П. Лобанова. Работы проведены во время учебной практики в июле 2023 г. Памятник расположен по адресу: город Балаково, Саратовская область, улица Ленина, д. 13. Натурное обследование содержало фотографическую и обмерную фиксацию элементов экстерьера памятника с выявлением разрушений и дефектов, и сохранившихся ценных качеств. Задаaniem на практику являлось выполнение архитектурного обследования комплекса ансамбля, состоящего из главного дома и ограды.*

## 1. Общие и исторические сведения.

Здание особняка купца-лесопромышленника, старообрядца Михаила Прокофьевича Лобанова было им приобретено в 1904 году. Имена первого владельца, построившего особняк в 1892 году на частные деньги, а также строителей и архитектора не известны [3]. Землевладение под дом расположено в центральной части исторической зоны – на перекрестке улиц Новоузенской (ныне Ленина) и Московской, и формировало пространство Преображенской площади, где находилась старообрядческая церковь Преображения Господня. Церковь снесена в 30-е годы двадцатого столетия.

В советское время дом после экспроприации передан в коммунальное жилищное хозяйство. В 1950 - 60-е годы здание использовалось районным домом пионеров [1].

Внешний исторический облик фасадов в местных архитектурных традициях сохранился, перестроек не имеется. В советское время проведена внутренняя перепланировка дома, в связи с текущими историческими функциональными изменениями здания. Реставрационных работ не проводилось.

Особенность фасадов заключается в том, что на центральной оси по улице Московской размещен главный вход, а другой фасад включает только световую полосу с оконными проемами.

Ценные элементы охраны архитектурного убранства включают угловые и простеночные пилястры, тонкие рельефы наличников, и элементов фризového пояса. Резные архитектурные детали выражают благородство и представительскую значимость здания.

Общая оценка общественной, научно-исторической и художественной значимости памятника: Дом является культурным наследием купеческой старообрядческой культуры Балаково и памятником архитектуры конца XIX века в формах историзма эпохи многоликого модерна.

## 2. Результаты визуальной и фотографической фиксации фасадов памятника.



*Рис. 1. Главный фасад особняка купца Лобанова на улице Московской, 48*



*Рис. 2. Фасад особняка купца Лобанова на улице Ленина, 13*



*Рис. 3. Кирпичная ограда особняка выполнена из единого материала с домом в архитектурном ансамбле*

Описание предмета охраны: ценная архитектура пластики фасадов.

Особняк купца Лобанова представляет собой одноэтажный дом с небольшим двором, отделенный от уличного пространства кирпичной оградой, представляющей, как и дом, предмет охраны. Главные фасады выходят на красные линии перекрестка улиц Ленина и Московской. Это здание в плане имеет почти квадратное основание и четыре входа: с улицы Московской и три дворовых входа (два исторических). Главный вход в усадьбу располагается (рис. 1) с улицы Московской. Металлический литой навес заменён.

Архитектурно-планировочная организация дома имеет целостную, строгую композицию с хорошими пропорциями. Поле стены фасада по улице Ленина имеет деление на части в классических пропорциях 1:1:3:1:1, а по улице Московской – 1:2:1:2:1. Деление выражается с помощью декоративных рельефных пилястр. Модулем пропорции является световая ось. Каждый фасад имеет по 7 осей.

Особенность композиции особняка в ансамблевом едином решении дома и ограды. Особняк и ограда построены одновременно, в комплексе из красного кирпича, в настоящее время покрашенного в белый цвет. Богатое убранство из повторяющихся элементов увязано в строгую уравновешенную композицию. Цоколь здания простой прямой, завершается выступом (тягой); окна имеют обводы и ступенчатый сандрик с центральным подъёмом над люкарной. Карниз здания декорирован ордерными сухариками, так же имеет ступенчатый рельеф с подъёмом [4].

Аттики являются исторической спецификой для города Балаково. Выделяются угловые аттики, одинаковые для уличных фасадов. Объемная композиция имеет две парапетных тумбы, поддерживающих изогнутую стенку вокруг люкарны. Центральный аттик фасада на улице Московской (фото 1), расположен строго по оси симметрии над главным входом и состоит из двухъярусного объема, завершеного полуовальным люнетом. Центральный аттик фасада на улице Ленина имеет две части: нижняя парапетная стенка и верхний объем по оси симметрии повторяет формы осевого аттика на главном фасаде (фото 2).

Кирпичная ограда с калиткой завершается сверху металлической чугунной решеткой, замененной в настоящее время сеткой (фото 3). Её плоскость горизонтально делится на: цоколь, центральную часть с рельефной обводкой и карниз. Ограда разделяется на одинаковые участки рустованными пилястрами, на которых установлены тумбы. Садовая калитка металлическая, её проем перекрыт прямоугольным аттиком.

3. Обмерная фиксация и составление обмерных чертежей современного состояния уличного фасада усадьбы.

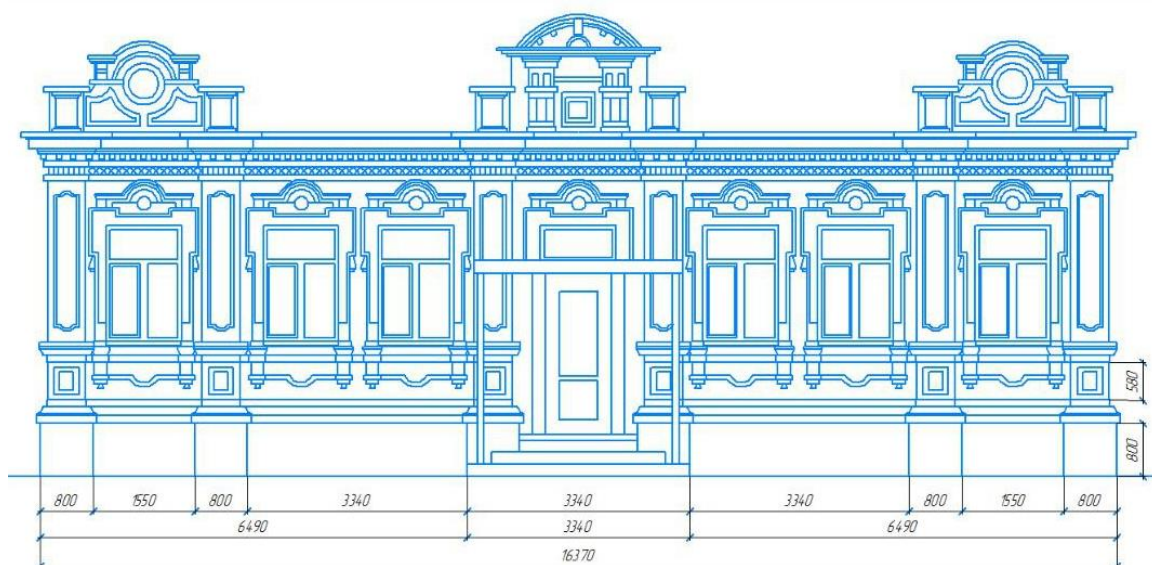


Рис. 4. Чертёж главного фасада усадьбы на улице Московской, 48

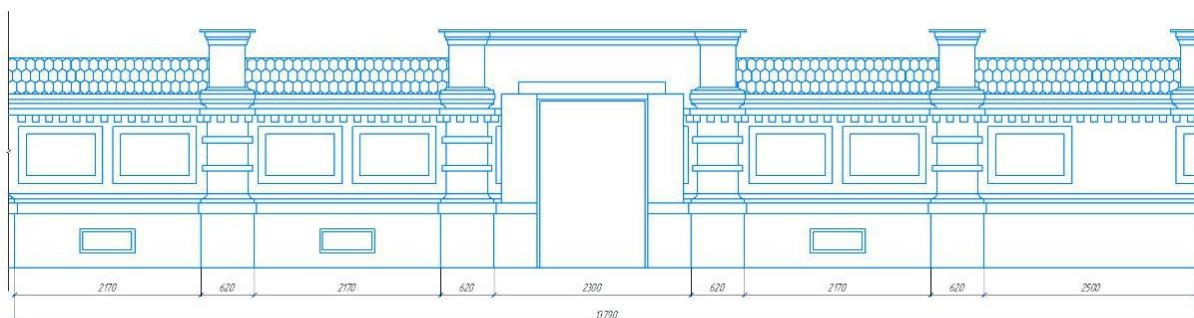


Рис. 5. Чертёж ограды усадьбы

4. Исследование основных разрушений, переделок и дефектов.

По результатам обмерных работ и фотографической фиксации можно сделать вывод, что исторический облик усадьбы изменён: утрачен металлический парапет между аттиками, металлический навес заменён или добавлен в советское время, окна заменены на современные пластиковые [4].

Зафиксированные дефекты:

- следы осыпания краски;
- нарушение целостности орнамента в виде сколов;
- заделанное окно;
- потемнение цоколя;
- выветривание раствора из швов;
- коррозия металлической калитки, элементов крыши и др.;



- нарушение целостности каменной кладки [4].

Заключение.

Основной целью проведения работ на памятнике архитектуры является продление его жизни как сооружения, обладающего многосторонней ценностью. Определены с помощью архитектурного анализа сохранившиеся ценностные архитектурные исторические элементы памятника, подтверждающие его принадлежность к культуре модерна. Выявлены изменения и разрушения, требующие незамедлительных мер по их устранению в целях устранения угрозы утраты историко-архитектурного наследия.

#### Литература

1. Попова, Н. А. Балаково. Историко-архитектурное наследие / Н. А. Попова. – Саратов: Изд-во Саратовской епархии, 2009. – 140 с.
2. Реставрация памятников архитектуры: учебное пособие для архитектурных вузов / С. С. Подъяпольский, Г. Б. Бессонов, Л. А. Беляев, Т. М. Постников; под общ. ред. С. С. Подъяпольского. – М.: Стройиздат, 1988. – 264 с.
3. Балаковская народная энциклопедия / [авт. идеи и сост. Ю. Каргин]. – Саратов: Приволж. изд-во, 2007. – 534 с.
4. Дрындина, И. В. Фотофиксация и мониторинг памятника архитектуры г. Балаково. Особняк купца Лобанова: материалы дипломного проекта / И. В. Дрындина. – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2023.

УДК 72

#### **Результаты натурного обследования памятника архитектуры XIX века города Балаково усадьбы купца Менькова**

Попова Надежда Александровна, доктор архитектуры,  
почётный архитектор России, почетный член РААСН, профессор кафедры  
«Промышленное и гражданское строительство»;

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

*В статье приводятся результаты научных исследований современного состояния памятника архитектуры конца XIX века – особняка купца Н. Менькова.*

*Работы проведены во время учебной практики в июле 2023 г. Памятник расположен по адресу: город Балаково, Саратовская область, улица Ленина, д. 9/2. Натурное обследование содержало: фотографическую и обмерную фиксацию элементов экстерьера памятника с выявлением разрушений и дефектов, и сохранившихся ценных качеств. Задаaniem на практику являлось выполнение архитектурного обследования комплекса ансамбля, состоящего из главного дома и лавки.*

#### 1. Общие и исторические сведения.

Усадьба Мальцева-Менькова, расположенная по улице Ленина, 9/2 – это угловое двухэтажное здание, которое в списке памятников архитектуры числится как дом купца Менькова. Но 100 лет назад он принадлежал николаевскому купцу-хлеботорговцу Ивану Ивановичу Голованову. Он получил его по наследству в 1887 году после смерти отца. Само здание было построено в 1867-м.

Угловое двухэтажное здание, Г-образное в плане, крыша четырехскатная. Архитектура дома выполнена в стиле русского классицизма и барокко. Ядром архитектурной композиции является главный вход, включающий зону парадного подъезда дома. Центральную композиционную ось выделяет главная входная дверь на первом этаже. Эта ось подчеркнута двумя лопатками сложного профиля с отделкой под руст и с украшением каннелюрами.

Центральное окно обрамлено красивым сложным наличником и выделено по бокам полуколоннами, которые украшены витым жгутиком, имеют простую валиковую капитель и базу, отделанную рустом. Сандрик опирается на капители полуколонн двумя триглифами. Лопатки, разделяющие фасад, украшены на втором этаже розетками и профилированными кантами.

Второй протяжённый фасад имеет пять световых осей с окнами лучкового профиля. Простенки первого этажа украшены пилястрами с каннелюрами.

Возле усадьбы расположена лавка, соединенная с главным зданием забором, покрытым растением.

2. Результаты визуальной и фотографической фиксации фасадов памятника.
3. Обмерная фиксация и составление обмерных чертежей современного состояния уличного фасада усадьбы.



*Рис. 1. Фасад по улице Ленина*

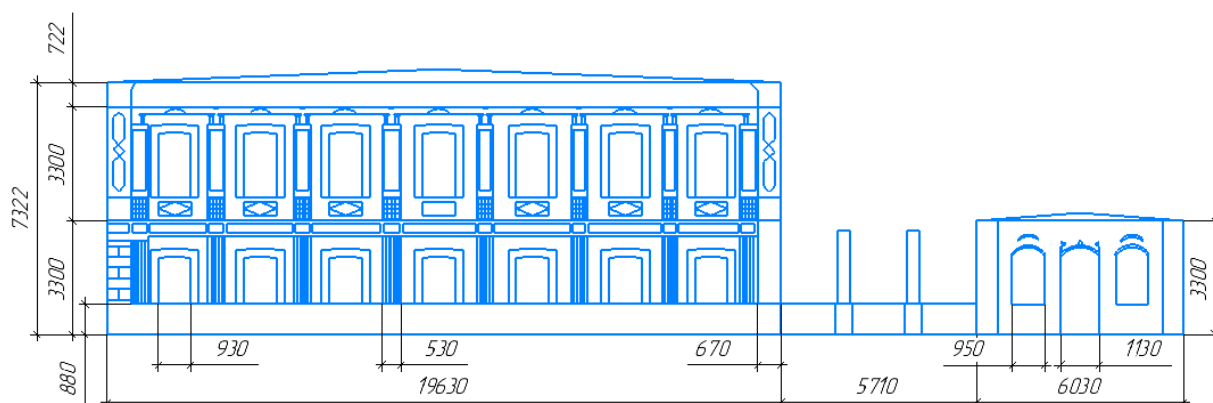


*Рис. 2. Фасад по Московской улице*



*Рис. 3. Фасад по Московской улице с рядом стоящей лавкой*

Обмерные чертежи как фиксация объекта культурного наследия являются основой для проведения натурных исследований исторического здания или сооружения [2]. Выполнен архитектурный обмер: вид обмера, выполняемый для графического отражения общей схемы, а также фиксации архитектурных форм объекта культурного наследия по упрощенной схеме. Упрощенная методика расчетов размеров сводится к определению размеров облицовочного кирпича, всех его параметров (ложок – 240 мм, тычок – 120 мм и величина соединительного раствора в кладке – 15 мм).



*Рис. 4. Фасад по Московской улице с рядом стоящей лавкой*

### 3. Исследование основных разрушений, переделок и дефектов.

По результатам обмерных работ и фотографической фиксации можно сделать вывод, что исторический облик усадьбы изменён: металлический навес заменён или добавлен в советское время, окна заменены на современные пластиковые.

Зафиксированные дефекты:

- заложены дверной и оконные проёмы;
- осыпание штукатурки в результате неправильного наложения или некачественного раствора, неправильного водоотведения;
- трещино-образование в результате воздействия агрессивной внешней среды или нарушения технологии монтажа, отклонения от проектных решений;
- разрушение элементов;
- признаки вандализма;
- растительность, скрывающая строение;

Заключение.

Основной целью проведения работ на памятнике архитектуры является продление его жизни как сооружения, обладающего многосторонней ценностью. Определены с помощью архитектурного анализа сохранившиеся ценностные архитектурные исторические элементы памятника, подтверждающие его

принадлежность к культуре модерна. Выявлены изменения и разрушения, требующие незамедлительных мер по их устранению в целях устранения угрозы утраты историко-архитектурного наследия.

#### Литература

1. Попова, Н. А. Балаково. Историко-архитектурное наследие / Н. А. Попова. – Саратов: Изд-во Саратовской епархии, 2009. – 140 с.
2. Реставрация памятников архитектуры: учебное пособие для архитектурных вузов / С. С. Подъяпольский, Г. Б. Бессонов, Л. А. Беляев, Т. М. Постников; под общ. ред. С. С. Подъяпольского. – М.: Стройиздат, 1988. – 264 с.
3. Балаковская народная энциклопедия / [авт. идеи и сост. Ю. Каргин]. – Саратов: Приволж. изд-во, 2007. – 534 с.

УДК 693.542.4

#### **Сравнение антикоррозионных свойств добавок к бетонной смеси для фундамента машинного зала атомной электрической станции (АЭС)**

Прокопенко Полина Дмитриевна, студент направления «Строительство»;  
Ткачев Владимир Григорьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Строительные производства»;  
Бурдаков Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Строительные производства»

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

*Объекты атомной энергетики требуют особого внимания к материалам элементов конструкций. Данная работа посвящена сравнению антикоррозионных характеристик бетона фундамента машинного зала АЭС. При помощи анализа реакций, протекающих при различных типах коррозии бетона, подобраны два варианта защиты. Оценивается стойкость бетона на барийсодержащем портландцементе и бетона с добавкой «Пенетрон Адмикс» к различным видам коррозии.*

В последние годы ядерная энергетика становится все более перспективной и востребованной отраслью как на международном, так и на российском рынке. В связи с этим возникает потребность в улучшении технологий возведения зданий и сооружений

атомной отрасли, уделяя особое внимание использованию современных строительных материалов.

Машинный зал электростанции – часть здания станции, где размещаются агрегаты, вырабатывающие электроэнергию, электрические генераторы и вращающие их двигатели (турбины, дизеля) с относящимся к ним вспомогательным оборудованием. Для здания машинного зала АЭС крайне важно обеспечить надёжность и длительный срок эксплуатации фундаментной части. Мероприятия по защите фундамента от коррозии должны разрабатываться с высокой ответственностью и должны соответствовать всем современным нормам. Здание машинного зала 2-х этажное, в плане прямоугольной формы. Фундаменты под оборудование выполнены по «островному» принципу – отдельно и не связаны с фундаментами здания. Такое исполнение позволяет исключать вибрационные воздействия на каркас машинного зала.

Фундаменты запроектированы на свайном основании с монолитными железобетонными ростверками. Фундаменты под колонны каркаса машинного отделения монолитные железобетонные столбчатые индивидуального изготовления. По степени ответственности за радиационную и ядерную безопасность здание относится ко II категории.

Для понимания необходимых свойств добавок в бетон важно понимать механизм коррозии. Действие химических элементов в окружающей среде на цементный камень приводит к его коррозии, то есть к разрушению его структуры.

Проанализируем процессы в бетоне при коррозии разных типов.

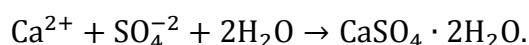
I вид коррозии – растворение составных частей цементного камня. Гидроксид кальция ( $Ca(OH)_2$ ), или гашеная известь, вымывается из состава бетона, что приводит к нарушению его структуры [1]. Такая коррозия является наиболее распространенной физической формой повреждения цементного камня. Гидроксид кальция очень легко вымывается грунтовыми водами, образуя пустоты и, тем самым, нарушая целостность бетонной конструкции.

II вид коррозии – коррозия бетона при взаимодействии цементного камня с кислотами и щелочами. В результате кислотной коррозии в бетоне образуются соли этих кислот и вода, так как содержащиеся в среде кислоты взаимодействуют с гидратом окиси кальция ( $Ca(OH)_2$ ). При фильтрации грунтовых вод, получившиеся соединения активно вымываются, нарушая целостность структуры бетона. Щелочная коррозия протекает при большой концентрации щелочей и положительной температуре

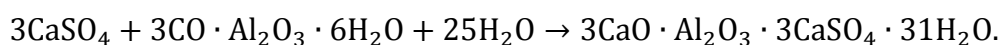
окружающей среды. При этом растворяются и вымываются составляющие цементного клинкера [1].

III вид коррозии – коррозия бетона вследствие образования и кристаллизации в порах труднорастворимых веществ [1].

Сульфатная коррозия – это одна из наиболее частых причин разрушения материалов на основе цемента. Сульфаты из грунтовых вод активно реагируют с гидроксидом кальция и алюминатами в бетоне. Так, в результате реакции сульфатов с гидроксидом кальция образуется гипс, накопление которого в пространстве пор бетона приводит при кристаллизации к увеличению объема и разрушению цементного камня:



Типичным примером сульфатной коррозии является образование гидросульфоалюмината кальция:



Гидросульфоалюминат образует кристаллы в виде игл. Гидросульфоалюминат кальция, а также гипс при кристаллизации значительно увеличивают объем. При наличии подобного рода образований в порах уже сложившейся структуры цементного камня, возникают большие внутренние напряжения, приводящие бетон к характерному отслаиванию или трещинообразованию в его поверхностных слоях.

Для железобетона возможно протекание еще одного вида разрушения – коррозии арматуры в бетоне. При недостаточной гидроизоляции бетона или его повреждении арматура подвергается коррозии, что приводит к увеличению внутренних напряжений конструкции и образованию трещин [1].

При коррозии бетона обычно одновременно протекает несколько видов разрушений.

Одним методов защиты от коррозии является использование такого гидравлического вяжущего, как барийсодержащий портландцемент (БСПЦ) [2], применяемый для подземных конструкций, эксплуатируемых в сульфатных средах без дополнительной защиты их от коррозии.

Барийсодержащий портландцемент отличается от обычного портландцемента тем, что содержит в составе клинкера часть окиси бария ( $\text{BaO}$ ) вместо оксида кальция. Конструкции, которые эксплуатируются в условиях преобладающего воздействия сред, вызывающих коррозию I и II вида, не рекомендуется изготавливать из бетона на БСПЦ.

При использовании барийсодержащего портландцемента в бетонной смеси при его гидратации и наличии сульфатных сред образуются кристаллы  $\text{BaSO}_4$ , способствующие предотвращению прохождения грунтовых вод через поры бетона.

Работа бетона без внешней гидроизоляции возможна при содержании сульфатов до 25 г/л; содержании магниевых солей до 5 г/л [2].

Другим вариантом защиты бетона от коррозии является гидроизоляционная добавка, известная как «Пенетрон Адмикс» [3]. «Пенетрон Адмикс» работает за счёт гидросиликатов кальция с тоберморитоподобной структурой, что служит целям коагуляции. Такие гидросиликаты образуются в результате гидратации и последующего твердения цементного состава. В ходе этих реакций формируются нерастворимые кристаллогидраты. Данные кристаллы способны заполнить капилляры, поры и трещины шириной до 0,4 мм, а затем препятствовать фильтрации воды через них. Кристаллы становятся составной частью бетонной структуры во всем объеме цементного камня. Подобная технология позволяет защищать бетон от коррозии даже при высоком гидростатическом давлении в среде [3].

Сравним выбранные для защиты фундамента машинного зала антикоррозионные добавки (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение характеристик бетона с применением выбранных методов защиты от коррозии

Материал Вид коррозии, условия среды	Барийсодержащий портландцемент	«Пенетрон Адмикс»
I вид коррозии	Аналогично бетону на обычном портландцементе	Значительно повышенная водонепроницаемость
II вид коррозии	Аналогично бетону на обычном портландцементе	Устойчивость к кислотным и щелочным условиям в диапазоне значений pH от 3 до 11
III вид коррозии	Особо высокая сульфатостойкость	Стойкость в агрессивных средах аналогичная сульфатостойкому бетону той же марки
Работа в радиационно нагруженном бетоне	Сохранение антикоррозионных свойств Препятствие распространению некоторых видов ионизирующего излучения	Сохранение антикоррозионных свойств

Так как барийсодержащий портландцемент выпускается в виде опытно-промышленных партий, конкретная оценка стоимости для подобранных методов защиты бетона от коррозии невозможна. Можно отметить, что при производстве



барийсодержащего портландцемента несколько снижаются расходы на топливные ресурсы и электроэнергию. При применении добавки «Пенетрон Адмикс» стоимость 1 м<sup>3</sup> бетона возрастает на 26 - 34 % (для бетонов марок М400-М200).

Таким образом, выбор метода защиты бетона фундамента машинного зала АЭС от коррозии можно производить исходя из результатов геологических изысканий и, соответственно, данных о возможных процессах разрушения цементного камня. Для сред с преобладающими I и II типами коррозии решение стоит принимать в пользу добавки в бетон Пенетрон Адмикс [3]. В остальных случаях, в особенности при высоком содержании сульфатов, для защиты конструкций подходит использование бетона на барийсодержащем портландцементе [2]. Следует отметить, что данное заключение уместно только для предварительного подбора метода защиты бетона конструкций фундамента. Окончательно определить способ возможно только при тщательном анализе.

#### Литература

1. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Газеев. – М.: Стройиздат, 1980. – 535с.;
2. Рекомендации по применению бетона на барийсодержащем портландцементе для подземных конструкций, эксплуатируемых в средах, содержащих сульфаты. – Москва: Госстрой СССР, 1981. – 9 с.
3. Пенетрон Адмикс: [сайт]. – URL: <https://penetron.ru/sistema-penetron/admix> (дата обращения: 14.12.2023). – Текст: электронный.

УДК 626.074.2

#### **Разновидности металлических ферм, применяемых в зданиях и сооружениях**

Ращепкина Светлана Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Промышленное и гражданское строительство»;

Индеева Кристина Александровна, студент направления «Строительство»

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

*Рассмотрены основные узлы ферменных конструкций с разными типами поперечных сечений, применяемых в промышленных и гражданских зданиях.*

*Проанализированы их достоинства и недостатки, дана краткая характеристика и рекомендуемое применение.*

Стальные фермы широко применяются в покрытиях промышленных и гражданских зданий, ангаров, вокзалов. Большепролетные мосты, радиобашни и мачты, опоры линий электропередачи и многие другие сооружения выполняются в виде стальных ферм. По сравнению со сплошными балками фермы экономичнее по затрате металла, им легко придают любые очертания, требуемые назначением, условиями технологии эксплуатации и работой под нагрузкой, они относительно просты в изготовлении.

Из ферменных металлических конструкций можно построить практически любую конструкцию промышленного, гражданского и специального назначения. Они отлично подходят для возведения крупных складов, офисных зданий, торговых центров, станций технического обслуживания. Оригинальные сооружения ферменной конструкции, выполненные из металла, представлены на рис. 1 и рис. 2. Фермы могут быть изготовлены из различных профилей [1-7] в зависимости от их назначения, агрессивной среды, действующих нагрузок, а также конфигурации и длины здания или сооружения.

Эйфелева башня стала первым сооружением, достигнув заветной высоты в 300 метров, и сохраняла статус самого высокого сооружения в мире до 1930 года (рис. 1а). Помимо своей архитектурной ценности, башня также знаменует собой значительные усовершенствования в инженерном проектировании: ее четыре опоры и очертание по сложной кривой (параболической) хорошо противостоит ветровому напору. Необычная и уникальная конструкции опор, помогла достичь высоты, которой не достигала ни одно другое высотное сооружение в мире. Эйфелева башня представляет собой пространственную решетчатую конструкцию, выполненную из кованого железа, весом около 7300 тонн.

Телебашня «Небесное дерево» построена в Токио (рис. 1а). Высота башни со шпилем составляет 634 м. Япония переходила на цифровое телевидение, и поэтому понадобилось более высокое сооружение, а конструкция старой телебашни уже не подходила, устарела и высота была не достаточна. Башня выдерживает высокую сейсмичность. В основе телебашни лежат металлические конструкции, которые собраны в треугольник с 68-метровыми сторонами. Такое сооружение способно компенсировать 50 % потенциала всех подземных толчков, причем самой высокой интенсивности. С наружной стороны конструкция башни представляет собой комбинацию стальных круглых труб диаметром 230 см с толщиной стенки 10 см.

Телевизионная башня «Небесное дерево» по высоте является практически вторым сооружением в мире. По высоте первое место занимает Бурдж Халифа (ОАЭ).



*а*



*б*

*Рис. 1. Высотные сооружения из ферменных металлических конструкций:*

*а – Эйфелева башня, Париж, Франция [8]*

*б – телебашня «Небесное дерево», Токио, Япония [9]*

Мост «Икицуки» представляет собой сплошной ферменный мост, соединяющий Икицуки с островом Хирадо (рис. 2а). Он построен в 1991 году. Основной пролет составляет 400 метров. Это самый длинный непрерывный стальной ферменный мост в мире.



*а*



*б*

*Рис.2. Облегченные большепролетные сооружения из ферменных конструкций:*

*а – мост «Икицуки», о. Хирадо [10]; б – ангар, проектное решение [11]*

ООО «МК Монтеко» [11] выполняет изготовление и строительство ангаров из металлических конструкций, включая производство ангаров «под ключ» (рис. 2б). Быстровозводимые ангары прочны, экологически безопасны, нетоксичны, безвредны и могут устанавливаться на любом грунте и в любое время года.

Таким образом, ферменные конструкции нашли широкое распространение. Остановимся на узловых сопряжениях, некоторых их решениях при различных профилях стержней решетки.

Конструктивные решения узлов ферменных покрытий и сооружений.

Ферма из парных уголков (рис. 3). До недавнего времени легкие фермы проектировались в основном из стержней с сечениями, составленными из двух уголков. Такие сечения имеют большой диапазон площадей, удобны для конструирования узлов на фасонках и прикрепления к фермам конструкций (балок, прогонов).



Рис. 3. Узлы фермы из парных уголков [1]:

*а* – эскиз узла; *б* – изготовленная ферма [12]; *в* – пространственная ферма [13]

Достоинства:

- симметричность сечений элементов ферм;
- отсутствие крутящих и изгибающих моментов в элементах ферм;
- возможность получать равно устойчивые сечения элементов при различных расчетных длинах в плоскости фермы.

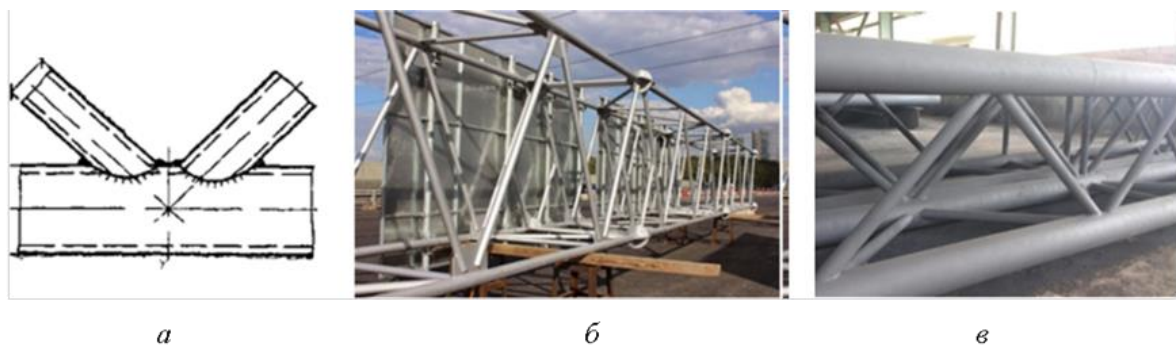
Недостатки:

- повышенный расход металла;
- повышенная трудоемкость изготовления;
- сложность обеспечения защиты от коррозии;
- плохая работа на изгиб при внеузловой нагрузке.

Область применения. Фермы из спаренных уголков нашли широкое применение во многих областях строительства: в покрытиях промышленных и гражданских зданий, мостах, опорах линий электропередачи, объектах связи, телевидения и радиовещания (башни, мачты), транспортных эстакадах, гидротехнических затворах, грузоподъемных кранах.

Ферма с сечениями из круглой трубы (рис. 4). В фермах из круглых труб применяют чаще всего электросварные трубы диаметром от 40 до 530 мм. В таких фермах наиболее рациональны безфасоночные узлы с непосредственным примыканием

стержней решетки к поясам, а для этого требуется фигурная резка концов стержней, которая выполняется на специальных машинах. Центрацию стержней производят, как правило, по геометрическим осям, но в случаях неполного использования несущей способности поясной трубы допускается эксцентриситет не более  $1/4$  диаметра поясной трубы.



*Рис. 4. Фермы из круглых труб:*

*а – эскиз узла [1]; б – пространственная ферменная конструкция [14];  
в – изготовленная ферма [14]*

Достоинства:

- хорошая обтекаемость, благодаря чему, ветровое давление меньше, что особенно важно для высоких башенных сооружений;
- более стойки против коррозии;
- по расходу материала более экономичны в сравнении с уголками (до 30%).

Недостатки:

- требуется центрация стержней в узлах;
- необходимы особые требования для создания герметичности стержней решетки.

Область применения. Ферменные конструкции из круглых труб могут быть применены при изготовлении ферм, сквозных прогонов, трубобетонных колонн, арок, рам промышленных и гражданских зданий, а также специальных сооружений: башен, мачт, кранов.

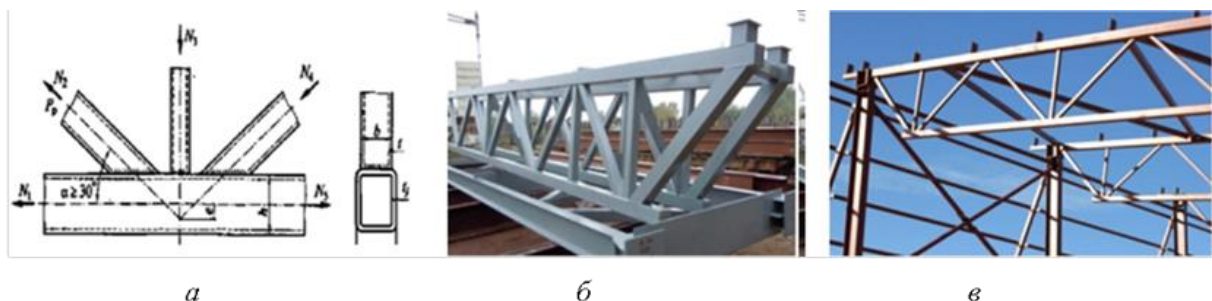
Ферма с сечением из прямоугольной трубы (рис. 5). В данной конструкции верхний и нижний пояса, а также решетка между ними выполнены из трубчатых профилей прямоугольного сечения. Для непосредственного примыкания раскосов к поясам с образованием бесфасоночных узлов прямоугольную трубу решетки в заданных по проекту местах подрезают по расчетному сечению и прикрепляют сварочным швом.

Достоинства:

- повышенные технико-экономические характеристики;
- уменьшение трудоемкости и себестоимости изготовления;

Недостаток:

- сложность технических решений узловых соединений элементов конструкции.



*Рис. 5. Фермы из прямоугольных труб:  
а – эскиз узла [1]; б – готовая ферма [15];  
в – ферма покрытия в строящемся здании [15]*

Область применения. Данное конструктивное решение может быть осуществлено при изготовлении ферм, прогонов, арок различного очертания, пространственных рам и других несущих конструкций промышленных, гражданских зданий и специальных сооружений.

Разновидности узлов с перспективными поперечными сечениями.

Прямоугольные сечения (рис. 6а). Для решеток ферм можно использовать готовые прямоугольные трубы, что может привести к существенному положительному эффекту. В качестве заводских соединений решеток вполне применимы фермы из квадратных труб раскосы, которых соединены на ребро [3], которые проще размещать на участках поясов.

Достоинства:

- уменьшается скопление влаги и промышленной пыли на поверхности стержней;
- обеспечивается легкая очистка и окраска при эксплуатации;
- более экономичнее по затрате металла из-за отсутствия фасонки.

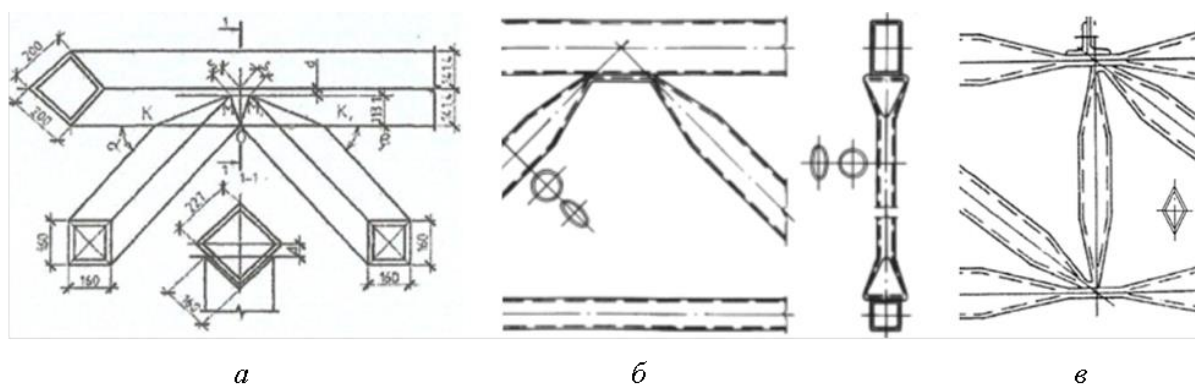
Недостаток:

- требуется специальная выкройка концевых участков стержней, что увеличивает трудоемкость изготовления.

Область применения. Соединения на ребро рекомендуются к применению в местах скопления влаги и пыли, а также на химических предприятиях, где преобладает агрессивная среда.

Овальные и ромбические сечения (рис. 6б). Существуют решения с возможностью применения решетки из зигзагообразных стержней [4]. Стержни раскосов изогнутые под заданным углом прикреплены сплюсненной частью к прямоугольным поясам (рис. 6б). Можно осуществить в узле соединение нескольких стержней прямоугольного или ромбического поперечного сечения сплюсненными частями (рис. 6в).

Для непосредственного примыкания к поясам с образованием бесфасоночных узлов трубу решетки в заданных по проекту местах сплющивают и двойными гибоми придают ей зигзагообразное очертание. Сплющивание и двойные загибы профиля обеспечивают компоновку бесфасоночных узловых соединений без конструктивных эксцентриситетов, характерных для трубчатых ферм из прямоугольных (квадратных) гнутосварных профилей, что исключает появление изгибающих моментов и позитивно влияет на расход металла.



*Рис. 6. Узлы прикрепления раскосов к поясам ферм:*

*а – фермы из квадратных труб, соединенные на ребро [3]; б – прикрепление раскосов сплюсненной частью к поясу [4]; в – соединение в узле стержней ромбического сечения сплюсненными частями [пат.2548301,7]*

Достоинства:

- повышенные технико-экономические характеристики, так как материал (сталь) в поперечном сечении элементов расположен весьма эффективным образом;
- повышение надежности и конструктивной безопасности зданий и сооружений за счет приближения решетчатых конструкций к их расчетным схемам (моделям) в виде шарнирно-стержневых систем;
- возрастание несущей способности конструкции с уменьшением расхода ее конструкционного материала.

Недостаток:

- дополнительные работы в связи с созданием трубы требуемого поперечного сечения со сплюсненными краями, что снижает эффективности такого решения.









Область применения. Фермы с овальными и круглыми трубами со сплюсненными краями могут быть применены при изготовлении ферм, прогонов, колонн, арок, рам и других несущих конструкций. Они будут более конкурентоспособными на строительном рынке, позволяющим создавать как плоские, так и пространственные покрытия.

Аналогичным путем – сплющивание и двойные загибы профиля можно прикрепить раскосы к поясам различных типов поперечных сечений: ромбического, прямоугольного, чечевицеобразного [4-5].

В табл. 1 представлены основные показатели по расходу металла для различных поперечных сечений стержней решетки.

Таблица 1

Расход материала (стали С255) на стержневые элементы ферм [4, 5]

№	Эскиз	Сечение, мм	Длина мм	Кол-во, шт.	Масса, кг				Элементы
					1 м	1 шт.	Всех	Итого	
1		▭ 160x120x5	9000	2	20,7	186,3	372,6	880,4 (100%)	Пояса
		▭ 120x4	7500	2	14,3	107,3	214,6		
		▭ 100x4	2390	8	11,8	28,2	225,6	Решетка	
		▭ 80x3	2390	4	7,07	16,9	67,6		
2		▭ 160x120x5	9000	2	20,7	186,3	372,6	851,7 (96,7%)	Пояса
		▭ 120x4	7500	2	14,3	107,3	214,6		
		◊ 80x4	2390	12	9,22	22,04	264,5	Решетка	
3		▭ 160x120x5	9000	2	20,7	186,3	372,6	820,4 (93,2%)	Пояса
		▭ 120x4	7500	2	14,3	107,3	214,6		
		○ 102x3,5	2390	8	8,5	20,32	162,6	Решетка	
		○ 89x3,5	2390	4	7,38	17,64	70,6		
4		▭ 160x120x5	9000	2	20,7	186,3	372,6	799,3 (90,8%)	Пояса
		▭ 120x4	7500	2	14,3	107,3	214,6		
		○ 121x49x3,5	2390	12	7,38	17,64	212,1	Решетка	
5		▭ 160x120x5	9000	2	20,7	186,3	372,6	816,0 (92,7%)	Пояса
		▭ 120x4	7500	2	14,3	107,3	214,6		
		▭ 100x40x4	2390	12	7,98	19,07	228,8	Решетка	



Анализ табл. 1 показал, что по расходу конструкционного материала решетка фермы из овальных труб, является наиболее экономичной.

Многогранные сечения. Интересные решения представлены в работе [6], где образование поперечного сечения осуществляется путем гнутья металлического листа (рис. 7). Авторы утверждают, что наименьшие деформации возникают при треугольном поперечном сечении. За ним идет круглое сечение, а затем пяти- и шестигранные сечения. Делается вывод, что для дальнейших исследований можно ограничить область геометрических форм многогранных сечений. Данные поперечные сечения рекомендуются для поясов ферм покрытий.

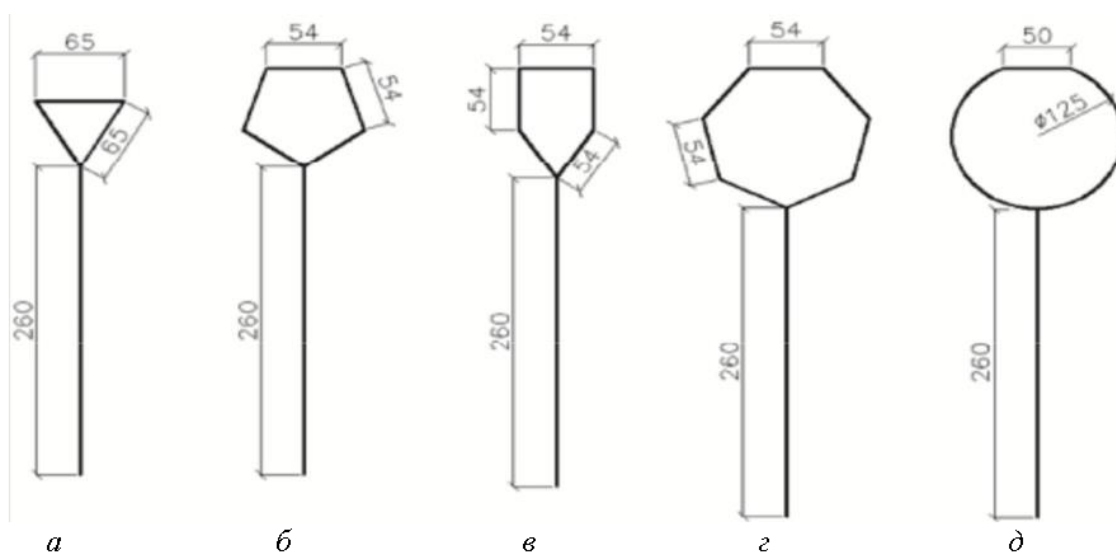


Рис. 7. Многогранные поперечные сечения с листовой фасонкой [6]:  
а – треугольное; б – пятигранное (вариант 1); в – пятигранное (вариант 2);  
г – семигранное; д – круглое

Проведенный анализ многогранных поперечных сечений, стержней из круглых, квадратных труб и спаренных уголков показал, что наименьшая масса достигается при выполнении поясов из стержней треугольного профиля (табл. 2).

Достоинства:

- данный подход позволяет снизить расход стали на фермы до 15 %;
- повысить технологичность изготовления и монтажа ферм;
- сократить эксплуатационные затраты на периодическую антикоррозионную обработку конструкций.

Недостатки:

- сложность применения предложенных многогранных сечений для раскосов;
- требуется специальное оборудование для гнутья с целью создания требуемых поперечных сечений.

Сравнительный анализ поперечных сечений поясов ферм [6]

Наименование поперечного сечения	Круглая труба	Квадратная труба	Спаренные уголки	Семигранник	Треугольное сечение
Эскиз					
Площадь поперечного сечения, см <sup>1</sup>	26,75	25,67	31,2	26,25	24,6
Нормальные напряжения, кН/см <sup>2</sup>	17,74	19,4	21,8	18,53	17,32
Масса одной панели верхнего пояса, кг	63,0	60,45	73,5	61,97	58,05

Область применения. Многогранные сечения рекомендуются для поясов легких ферм покрытий. Они эффективны при отсутствии прогонов. Такие конструкции можно транспортировать готовыми изделиями в «пакетном» виде непосредственно на строительную площадку.

Заключение.

В результате краткого анализа рассмотренных вариантов поперечных сечений стержней фермы, можно отметить следующее:

- наиболее экономичным сечением для исполнения решетки фермы оказалось сечение из овальной трубы;
- каждое конструктивное решение уникально, имеет свои достоинства и недостатки;
- наиболее экономичным сечением для исполнения пояса фермы оказалось треугольное поперечное сечение;
- выбор оптимального сечения во многом зависит и от сферы применения ферменной конструкции, района строительства, размеров и действующих нагрузок;
- форма и размеры сечения могут влиять на процесс изготовления и монтажа ферменной конструкции.

Следует отметить, что при выборе оптимального сечения должны учитываться также бюджет и возможности производства по выпуску ферменных конструкций.

Полученные исследования рекомендуются инженерам-проектировщикам, заказчикам ферменных конструкций для возведения промышленных и гражданских объектов.

## Литература

1. Металлические конструкции / Ю. И. Кудишин, Е. И. Беленя, В. С. Игнатьева [и др.]. – М.: Изд. Академия. – 2011. – 688 с.
2. Кузин, Н. Я. Проектирование и расчет стальных ферм покрытий промышленных зданий: учебное пособие / Н. Я. Кузин. – М.: Изд-во АСВ. – 1998. – С. 157-172.
3. Кузнецов, А. Ф. Фермы из квадратных труб на ребро без фасонки, устойчивые против коррозии / А. Ф. Кузнецов, В. А. Кузнецов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура». – 2011 – № 16. – С. 7-10.
4. Марутян, А. С. Оптимизация конструкций с решетками из круглых и овальных труб / А. С. Марутян, В. Н. Оробинская // Вестник МГСУ. 2016. – № 10. – С. 45-57.
5. Марутян, А. С. Оптимизация ферменных конструкций с решетками из прямоугольных труб / А. С. Марутян // Строительная механика и расчет сооружений. – 2020. – № 5. – С. 69-77.
6. Салахутдинов, М. А. Стальные фермы с поясами из труб многогранного сечения / М. А. Салахутдинов, И. Л. Кузнецов, С. Ф. Саянов // Строительные конструкции, здания и сооружения. – Известия КГАСУ. – 2016 – № 4(38). – С. 236-242.
7. Патентный поиск: [сайт]. – URL: <https://findpatent.ru> / (дата обращения: 10.12.2023). – Текст: электронный.
8. Заметки путешественника: [сайт]. – URL: <https://bangkokbook.ru/poezdki/ejfelya-bashnya.html> (дата обращения: 10.12.2023). – Текст: электронный.
9. Всегда-помним: [сайт]. – URL: <https://vsegda-pomnim.com/derevja/13506-nebesnoe-derevo-67-foto.html> (дата обращения: 10.12.2023). – Текст: электронный.
10. Викимедиа: [сайт]. – URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ikitsuki\\_Bridge\\_1031224.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ikitsuki_Bridge_1031224.jpg) (дата обращения: 10.12.2023). – Текст: электронный.
11. Здания из металлических конструкций. Монтеко: [сайт]. – URL: <https://mk-monteko.ru/> (дата обращения 10.12.2023). – Текст: электронный.
12. Металлснаб: [сайт]. – URL: [https://www.metallsnab-sam.ru/goods/207541524-ugolok\\_stalnoy\\_gost\\_8509\\_93\\_40kh40kh4\\_mm\\_s235](https://www.metallsnab-sam.ru/goods/207541524-ugolok_stalnoy_gost_8509_93_40kh40kh4_mm_s235) (дата обращения: 10.12.2023). – Текст: электронный.

13. Спаренные фермы из сдвоенного уголка. Интехпром: [сайт]. – URL: <https://itpmet.ru/vipolnennii-proekti/sparennie-fermi-iz-ugolka> (дата обращения 10.12.2023). – Текст: электронный.

14. Сварить ферму из круглой трубы. Фото: [сайт]. – URL: <https://stroiteh-msk.ru/obzory/svarit-fermu-iz-krugloj-truby.html> (дата обращения: 11.12.2023). – Текст: электронный.

15. Изготовление стальных ферм. ПрофиСтрой: [сайт]. – URL: <https://profstroy36.ru/fermy> (дата обращения: 10.12.2023). – Текст: электронный.

УДК 69.07

### **Расчет напряженно-деформированного состояния и анализ устойчивости пространственного каркаса высотного здания**

Редков Валерий Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры

«Строительные материалы, конструкции и технологии»;

Багаев Ислам Хусейнович, студент специальности

«Строительство уникальных зданий и сооружений»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

образования «Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов

*Приводятся результаты расчетов напряженно-деформированного состояния высотного здания с плитным фундаментом на слоистом основании. С использованием технологии информационного моделирования построены информационные, аналитические модели и расчетные схемы для определения напряженно-деформированного состояния и анализа устойчивости каркасно-монолитного высотного здания на плитном фундаменте коробчатого типа.*

Одним из важнейших этапов проектирования уникальных зданий и сооружений на основе технологии информационного моделирования является проведение прочностных и деформационных расчетов пространственного каркаса и строительных конструкций, которые реализуются в специализированных программных комплексах [1, 2].

Рассмотрим пример 45-ти этажного здания, состоящего из основного сооружения высотой 184 м и отдельной 2-х ярусной подземной автопарковки. Характерной особенностью высотного здания является монолитное ядро жесткости 8-ми угольной формы в плане и наклонные колонны образующие сложную

(закрученную) пространственную форму надземной части сооружения (рис. 1, 2). Центральное ядро сохраняет строгую вертикальность на всю высоту, а 27 колонн, расположенных по периметру, образуют спиралевидный каркас из монолитного железобетона. Каждый из 45 этажей башни повернут относительно предыдущего на  $0,5^\circ$ , а общий угол поворота составляет  $22,5^\circ$ .

Концепция технологии информационного моделирования, проектирования пространственного каркаса и строительных конструкций высотного здания была реализована в связке программных комплексов Autodesk и SCAD Office. Информационная модель проектируемого здания построена в программном комплексе Autodesk и экспортирована в вычислительный комплекс SCAD Office (рис. 1).



*Рис. 1. Компьютерные модели высотного здания в Autodesk и SCAD Office:*

Количество надземных этажей высотного здания – 45 и два этажа – подземные (технические). Размеры здания в осях 54,3х54,3м, высота этажей 4,0 м. Планы подземного и надземных этажей здания приведены на рис. 2. Размеры сечения колонн здания изменяются по высоте от 1000 мм до 500 мм. Толщина стен ядра жёсткости переменная по высоте и изменяется от 1200 до 400 мм.

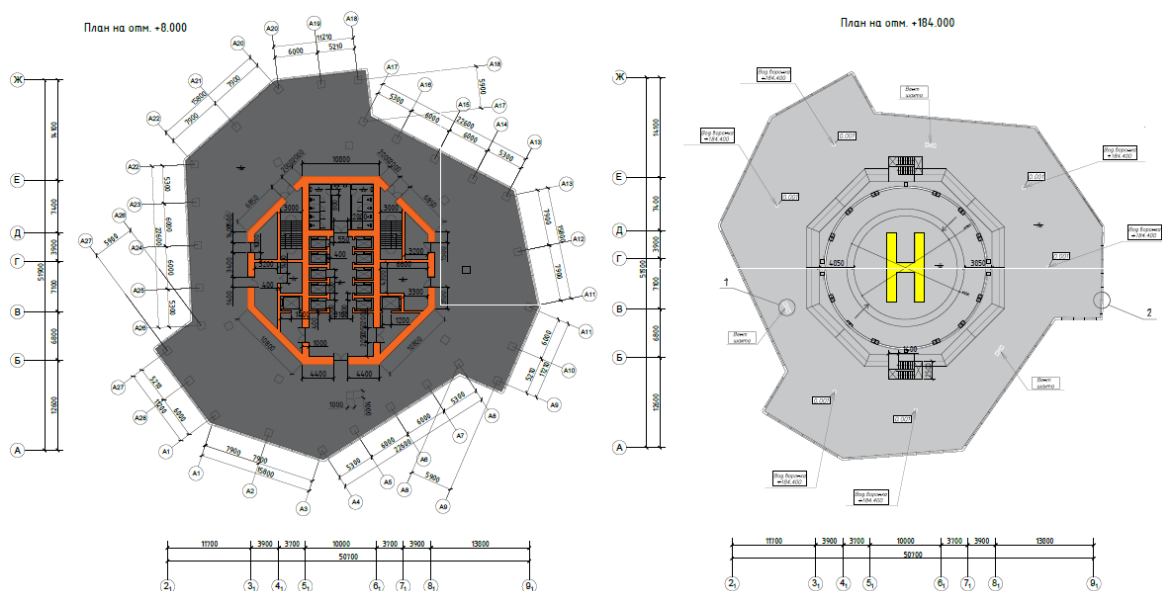


Рис. 2. Планы высотной части здания на отм. +8.000 и 184.000 м

Отметка подошвы коробчатого плитного фундамента – 12,00 м. Толщина нижней плиты коробчатого фундамента – 2,0 м. Пространственная жесткость и устойчивость высотного здания обеспечивается совместной работой вертикальных и горизонтальных элементов системы: железобетонных стен, колонн, горизонтальных дисков перекрытий и покрытия, плитного фундамента.

Слоистое основание плитного фундамента представлено глинистыми грунтами: ИГЭ-2 – суглинки тугопластичные ( $E = 8$  МПа); ИГЭ-3 – глины полутвёрдые ( $E = 11$  МПа); ИГЭ-4 – глины твёрдые ( $E = 15$  МПа).

В вычислительном комплексе SCAD Office 21.1 построена пространственная модель высотного здания на слоистом грунтовом основании и выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния каркаса здания на действие всех видов нагрузок (постоянных, длительных, кратковременных), в том числе сейсмических. Отдельные результаты МКЭ-расчетов каркасно-монолитного высотного здания на основное сочетание нагрузок приведены на рис. 3.

Расчетами напряженно-деформированного состояния конструкций высотного здания с коробчатым плитным фундаментом установлены особенности распределения вертикальных перемещений в плане и по высоте здания. Так, при основном сочетании нагрузок, максимальные вертикальные перемещения по оси  $Z$  конструкций ядра жесткости (на уровне 45 этажа) находятся в пределах 266-277 мм (рис. 3в). При этом концевые участки покрытия и перекрытий получили значительно большие вертикальные перемещения в пределах 352-363 мм, что свидетельствует о недостаточной жесткости наклонных колонн по периметру здания. Максимальные вертикальные перемещения фундаментной плиты коробчатого типа находятся в

диапазоне 191-234 мм (рис 3в). Максимальные горизонтальные перемещения конструкций каркаса здания от ветровых нагрузок (Ветер1) по оси Y находятся в пределах 21,2-22,9 мм (рис. 3б).

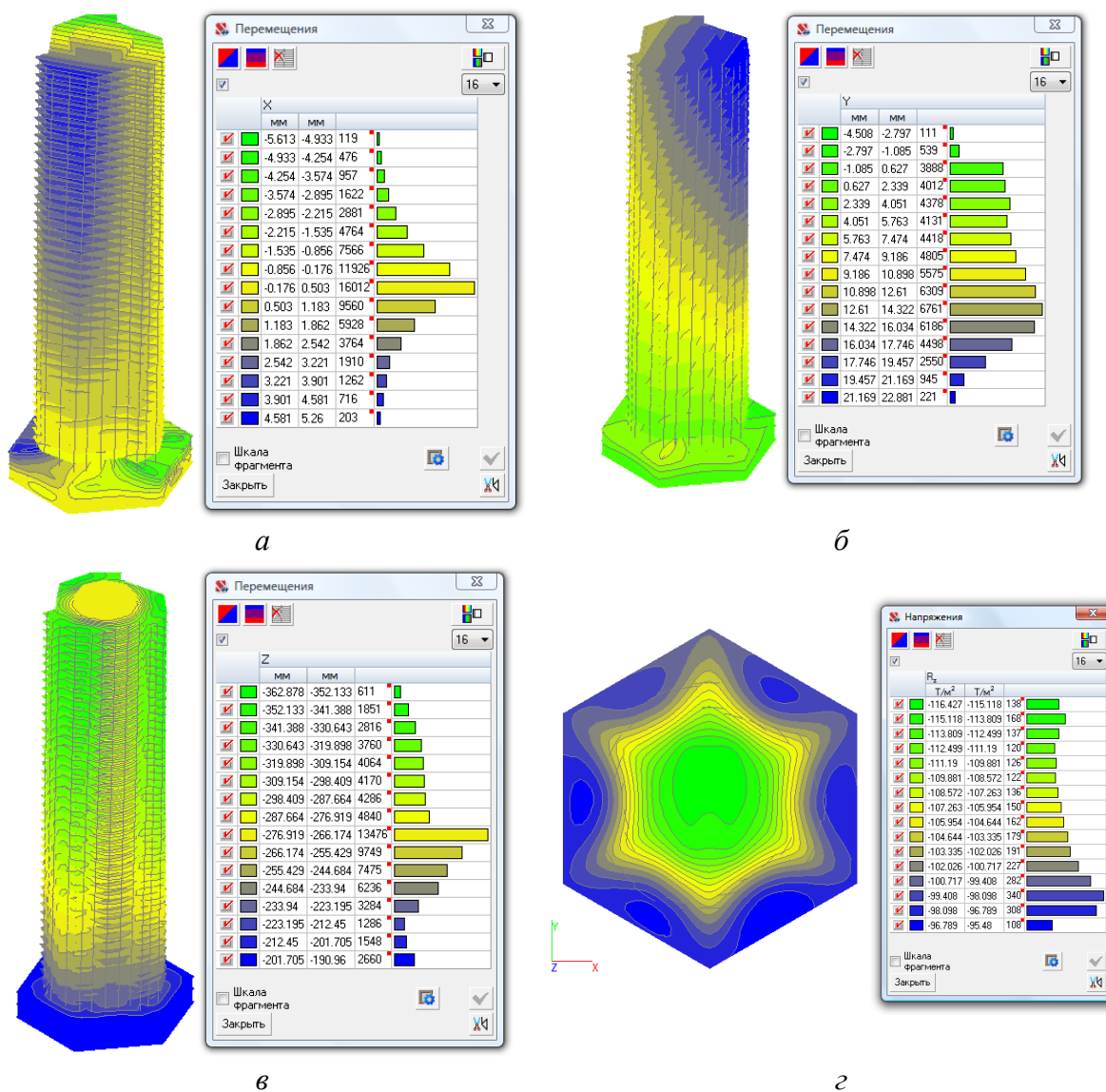


Рис. 3. Результаты расчетов компьютерной модели здания на плитном фундаменте:

а – изополя горизонтальных  $x$  перемещений по оси X;

б – изополя горизонтальных перемещений по оси Y;

в – изополя вертикальных горизонтальных перемещений по оси X;

г – напряжений  $R_z$  (отпора грунта) для фундаментной плиты

Вычислительный комплекс SCAD Office позволяет выполнять расчеты на устойчивость конструктивной системы здания. Для анализа устойчивости рассматриваемой системы выбран высокопроизводительный метод PARFES – Parallel Finite Element Solver [3] – прямой параллельный конечно-элементный метод решения систем линейных алгебраических уравнений, получаемых при применении МКЭ к задачам строительной механики и механики деформируемого твердого тела. В данном

постпроцессоре для каждого выбранного нагружения (или комбинации нагружений) определяются: коэффициент запаса устойчивости; первая форма потери устойчивости (без анализа кратности); свободные длины стержневых элементов. Интервал поиска коэффициентов запаса устойчивости принят от 0 до 2000, точность – 0.010000.

Расчетами на устойчивость установлено, что наименьший коэффициент запаса местной потери устойчивости обнаружен на конечном элементе номер 1263 и равен 40,479098 при нулевых перемещениях и углах поворота всех узлов расчетной схемы. Коэффициент запаса устойчивости системы составляет 29,613188 (форма 1 потери устойчивости).

Анализ результатов расчетов показал, что применение плитного фундамента коробчатого типа на естественном основании в рассмотренных инженерно-геологических условиях не обеспечивает выполнения требований Строительных Норм [3, 4] по предельным деформациям основания фундамента и конструкций высотного здания. Поэтому в качестве основного варианта фундаментов рекомендован свайно-плитный фундамент, позволяющий существенно уменьшить абсолютные значения и неравномерности деформаций основания фундамента и несущих конструкций здания.

#### Литература

1. Иноземцев, В. К. Высотные здания и сооружения. Проблемы геомеханики, общей устойчивости и динамической неустойчивости: учебное пособие / В. К. Иноземцев, В. И. Редков. – Саратов: СГТУ, 2022. – 300 с.
2. SCAD Office. Версия 21. Вычислительный комплекс SCAD++ / В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов [и др.]. – М.: Изд-во «СКАД СОФТ», 2015. – 848 с.
3. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85. – Москва, 2016. – 96 с.
4. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83. – Москва, 2016. – 162 с.