

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



# СБОРНИК ТРУДОВ

IX МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
И ПУТИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ,  
ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

ТОМ I

Балаково 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Балаковский инженерно-технологический институт

# **СБОРНИК ТРУДОВ**

**IX Международной  
научно-практической конференции**

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

**Том I**

Балаково 2023

УДК 621.311, 677, 620.9

ББК 31.4+35.71+31.19

C23

Сборник трудов IX Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий» (26 апреля 2023 года). – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2023. – Т. I. – 340 с.

Сборник содержит статьи по итогам докладов, включенных в программу IX Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий» 26 апреля 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, В.А. Крошина.

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

Статьи получены до 26 апреля 2023 года. Статьи сборника издаются в авторской редакции.

ISBN 978-5-7262-3016-0

© Балаковский инженерно-технологический  
институт (филиал)  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», 2023

Подписано в печать 29.06.2023. Формат 60х84 1/16

Печ. л. 21,25. 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**

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

#### **СЕКЦИЯ 1:**

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

##### **АБРАМОВИЧ Д.А., ЕФРЕМОВА Т.А.**

Применение алгоритмов кодирования для обеспечения безопасности систем  
контроля управления доступом ..... 9

##### **АЙДАРОВ М.А., НИКОЛАЕВ Ю.Е.**

Определение эффективности гибридного энергокомплекса на базе мини-ТЭЦ  
и солнечной энергоустановки..... 13

##### **АНОШИН Д.М., ГАРИЕВСКИЙ М.В.**

Оценка влияния форм оребрения трубок на эффективность теплообмена  
в аккумуляторе фазового перехода в составе АЭС..... 19

##### **ВОСТРОВ И.А., САМОЙЛОВА Е.М.**

Разработка программируемого устройства на базе микроконтроллера семейства AVR 25

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

Перспективы термоядерного синтеза..... 29

##### **ГАРИЕВСКИЙ М.В.**

Оценка эффективности комбинирования АЭС с опреснительными установками..... 35

##### **ГОСТЕВ С.Д., ГОЦ И.Ю.**

Влияние различных режимов охлаждения после термообработки на морфологию и  
прочностные свойства поверхности стали ХН65МВУ..... 41

##### **ДОКУЧАЕВ Г.С., УСТИНОВ Н.А.**

Базовые характеристики пластинчатых теплообменных аппаратов. Краткий обзор.  
Направления совершенствования для целей теплоснабжения ..... 45

##### **ДЬЯКОНОВА В.А., ОСИПОВА Н.В., ТОКАРЕВ А.С.**

Анализ возможности применения топологической оптимизации при проектировании. 50



**ЕФРЕМОВА Т.А., ЩЕГОЛЕВ С.С.**

Аналитический обзор языков программирования микроконтроллеров, применяемых в системах управления..... 58

**МАРКЕЛОВА О.А., ФОМИН А.А.**

Технология послойного формирования изделий машиностроения и медицины с использованием металлонаполненного филамента..... 65

**МАРЬИНА Н.Л., ГАВРИЛОВ Ф.А., СИДОРОВ Д.С., ШАПОВАЛОВ М.А., ШЕЛЯСТИН А.Д.**

Применение принципа тенсегрити для создания беспилотных летательных аппаратов 70

**НАГОРНОВ А.А., МОСКВИЧЁВ К.А., РАКОВСКИЙ Р.Э., КОЗЛОВ А.В., БОБЫЛЕВ А.В.**

Совершенствование экспериментальной установки для холодной гибки труб методом раскатывания и внедрение системы ЧПУ..... 77

**ОСИПОВА Н.В., ДЬЯКОНОВА В.А., ТОКАРЕВ А.С., ПУЗЫНЯ К.Ю.**

Практическое применение модельного пластика..... 92

**РАЗУВАЕВ А.В., ЕПИШИН А.Ю.**

Алгоритм работы дизель-генераторов с двигателем 6ЧН21/21 при различных климатических условиях..... 97

**РАЗУВАЕВ А.В., КОСТИН Д.А., КУДАШЕВА И.О.**

Применение присадок с ПАВ для повышения эффективности поршневых двигателей 102

**РАЗУВАЕВ А.В., КОСТИН Д.А., МАХОВ И.Е.**

Биогаз как альтернативный вид топлива..... 107

**РАЗУВАЕВ А.В., КОСТИН Д.А., ФРОЛОВ Е.Д.**

Особенности процесса пиролиза различных веществ в газогенераторах..... 111

**РАЗУВАЕВ А.В., КРАСНОЛУДСКИЙ Н.В.**

Актуальность обеспечения энергобезопасности объектов..... 116

**РАЗУВАЕВ А.В., РУСАНОВА В.А.**

Экономика биотоплива электроэнергетики в России..... 123

**РАЗУВАЕВ А.В., ТОЛОКОННИКОВ М.А., УСТИНОВ Н.А., РЯБИНIN Н.А.**

Порядок расчета теплоиспользования в паровой машине..... 129

**РАЗУВАЕВ А.В., УНТИЛЭ Д.А., РУСАНОВА В.А.**

Оценка энергоснабжения фермерского хозяйства..... 133

**САЙДАНОВ В.О.**

Альтернативные источники электрической энергии для обеспечения железнодорожных войск..... 139

**САФОНОВ А.В., ПЕСТОВА Е.Д., САМОЙЛОВА Е.М.**

|                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Снижение трудозатрат на пусконаладочные работы при применении обучающего стенда САУ приточной вентиляции..... | 145 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

**ТОКАРЕВ А.С., ЕНА В.А., КУВАЙЦЕВА К.А.**

|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Анализ возможности изготовления деталей в машиностроении в условиях импортозамещения..... | 149 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

**УВАРОВА А.И., АНТРОПОВ П.Г.**

|                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Повышение эффективности работы ГПА на СПХГ за счет применения многоточечного впрыска влаги в проточную часть компрессора..... | 156 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

**СЕКЦИЯ 2:**

**«ИТ-ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ»**

**АВДОШИНА Т.Ф.**

|                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Организация и контроль самостоятельной работы студентов при изучении высшей математики..... | 162 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

**БАЙКИН Н.С., ОЧКУР Г.В.**

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Использование программных приложений для оптимизации процесса оценивания работ обучающихся вузов..... | 167 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

**ВИШТАК Н.М., ЛОТОВА Н.Е.**

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| Компетенции контент-менеджеров..... | 171 |
|-------------------------------------|-----|

**ВИШТАК О.В., ДЕНИСОВ В.О.**

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Моделирование технологического процесса обследования гидротехнических сооружений..... | 175 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|

**ВИШТАК О.В., МАРКИН В.В.**

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| Сервисы для разработки веб-квестов..... | 181 |
|-----------------------------------------|-----|

**ВИШТАК О.В., САМОЙЛОВ К.А.**

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| Интерактивные технологии как основа диалогового обучения..... | 188 |
|---------------------------------------------------------------|-----|

**ВИШТАК О.В., ШТЫРОВ Г.С.**

|                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------|-----|
| Использование проектной деятельности в обучении робототехнике..... | 192 |
|--------------------------------------------------------------------|-----|

**ГРАЧЕВ В.А., ПОДГОРНОВ А.А.**

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| Применение чат-ботов в профессиональной деятельности..... | 197 |
|-----------------------------------------------------------|-----|

**КОЛОСОВ А.А., ПОДГОРНОВ А.А.**

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| Использование искусственного интеллекта в распознавании образов..... | 201 |
|----------------------------------------------------------------------|-----|

**КОЛПАКОВ Е.Л., ОЧКУР Г.В.**

Использование электронных сервисов на предприятиях общественного питания..... 206

**ЛЕБЕДЕВА Я.В., ВИШТАК Н.М.**

Разработка автоматизированной обучающей системы для изучения языка программирования Python..... 210

**МИХЕЕВ И.В., ЖУМАТИЙ Е.В.**

Инструментарий для разработки графических объектов..... 216

**ПРОКОФЬЕВ Н.С., КОНСТАНТИНОВА А.Г.**

Открытое программное обеспечение в сфере образования..... 223

**ШЕСТАКОВА Е.С., ВИШТАК О.В.**

Критерии оценивания знаний слушателей в реализации дополнительных образовательных программ..... 227

**ШТЫРОВА И.А., КОНОВАЛОВ Э.Н.**

Разработка информационной системы для оценки эффективности работы образовательного учреждения..... 234

**СЕКЦИЯ 3:****«ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»****АНДРЕЕВА Н.В., КРАСИЛЬНИКОВ М.Н.**

Организация и технологические особенности возведения высотных зданий из железобетона..... 239

**ГОЛОВА Т.А., КОШКО Р.Н., ХАТКОВ С.А.**

Перспективы применения фибробетонов на территории Краснодарского края..... 245

**ЗЕМЛЯНСКИЙ А.А., АНДРЕЕВА Н.В., ЖИЛЬЦОВ А.Н., ЖАНАРСТАНОВА В.Р.**

Анализ международного опыта сейсмостойкого строительства и инновационные принципы повышения сейсмостойкости технически сложных объектов на слабых грунтах..... 249

**ЗЕМЛЯНСКИЙ А.А., АНДРЕЕВА Н.В., ЖУКОВ А.Д., ЖАНАРСТАНОВА В.Р.**

Глобальная оценка главных причин аварий резервуаров большого объёма..... 259

**ЗЕМЛЯНСКИЙ А.А., ЖУКОВ А.Д., ЖАНАРСТАНОВА В.Р.**

Расчёт по деформациям грунтового основания, армированного кольцевой системой, преднапряженной по грунту..... 270

**МАГЕРРАМОВА И.А., КОЗЛОВ Е.С., БЕЛОУСОВ Д.А.**

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Основные виды фундаментов, применяемых при строительстве зданий и сооружений АЭС..... | 281 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|

**МАГЕРРАМОВА И.А., МАГЕРРАМОВ Р.А.**

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| Бетоны для строительства АЭС..... | 288 |
|-----------------------------------|-----|

**МАГЕРРАМОВА И.А., МАГЕРРАМОВ Р.А., ГУЛИВАНСКИЙ Д.Н.**

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| Конструктивные решения покрытий ТЭЦ..... | 292 |
|------------------------------------------|-----|

**МЕЛНИЧ В.М., ЛАСТОЧКИН Е.А.**

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| Конструктивные решения объемных армоблоков с фибробетонной опалубкой..... | 297 |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|

**МЕЛНИЧ В.М., ПОПЕНОВ В.Ю.**

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| Усиление железобетонных конструкций внешним армированием..... | 302 |
|---------------------------------------------------------------|-----|

**МУРТАЗИН М.Р., МУРТАЗИНА Г.Р., ТАБОЯКОВ М.В.**

|                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Экспериментальные исследования работы балочных конструкций, усиленных путём внешнего армирования материалами на основе углеродного волокна..... | 306 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

**ПОПОВА Н.А.**

|                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Национально-романтические черты и традиции неорусского стиля в памятниках купеческой архитектуры периода модерна Балаково..... | 311 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

**ПОПОВА Н.А.**

|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Неоклассическая стилизация в памятниках купеческой архитектуры города Балаково..... | 315 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|

**РАЩЕПКИНА С.А., БИРЮКОВА Е.Д., ГАБАЛОВА Д.В.**

|                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Особенности применения метода рулонирования при возведении вертикальных резервуаров..... | 321 |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

**РАЩЕПКИНА С.А., КНЯЗЬКИНА Е.В., БИРЮКОВА Е.Д.**

|                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| К усилению стальных конструкций при реконструкции вытяжной башни..... | 329 |
|-----------------------------------------------------------------------|-----|

**РЕДКОВ В.И., ЯУРОВ В.В.**

|                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Напряженно-деформированное состояние несущих конструкций каркасно-монолитного здания при прогрессирующем обрушении..... | 335 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|



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

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

УДК 004.9

**Применение алгоритмов кодирования для обеспечения безопасности систем**  
**контроля управления доступом**

Абрамович Даниил Артемович, 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 проведен обзор методов шифрования для обеспечения безопасности в системах контроля и управления доступом. Проанализированы наиболее успешные на сегодняшний день способы защиты информации.*

В современном мире обеспечению безопасности на промышленных и стратегических объектах уделяется особое внимание. Наряду с применением штата сотрудников охраны на таких предприятиях дополнительно используются различные аппаратно-программные средства; к таким средствам можно отнести использование систем контроля и управления доступом (СКУД), которые позволяют автоматизировать учёт рабочего времени и контроль доступа на предприятие.

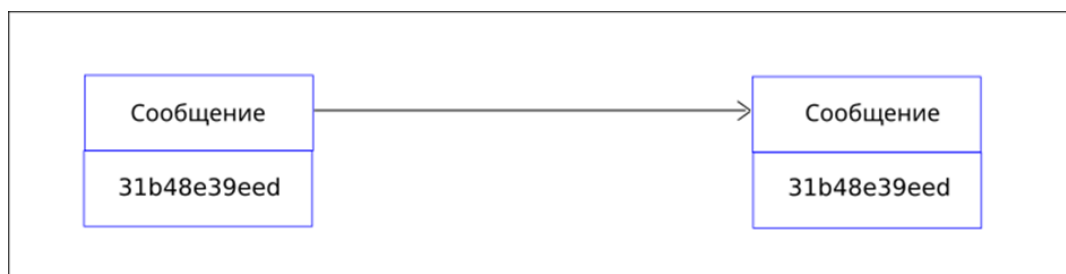
Система контроля и управления доступом представляет собой аппаратно-программный комплекс, созданный на основе технических устройств и электронных систем управления, объединённых в единую сеть, работающую на специально разработанном программном обеспечении. Для обеспечения требуемого уровня

безопасности в СКУД применяются различные методы шифрования, что делает систему более защищенной от несанкционированного доступа. Защищенные СКУД с криптоалгоритмами оптимальны для применения на объектах критической инфраструктуры, социально значимых объектах и везде, где требуется высокий уровень безопасности.

Шифрование в СКУД можно разбить на несколько составляющих:

- работа с идентификаторами (шифрование данных на картах);
- работа с периферийными устройствами (шифрование каналов связи со считывателями);
- связь контроллеров и рабочих мест с сервером.

Одним из способов повышения надежности при использовании СКУД является создание контрольной суммы или хеш-суммы, которая представляет собой значение, рассчитанное по некоторому алгоритму на основе имеющихся файлов или данных. Особенностью контрольной суммы является то, что ее алгоритм при одинаковых входных данных всегда выдает одинаковое значение (рис. 1). При этом малейшее изменение входных данных кардинально меняет значение контрольной суммы. Эта особенность позволяет использовать контрольную сумму для проверки целостности передаваемых данных между различными элементами СКУД [1].



*Рис. 1. Контрольная сумма при передаче сообщения*

В качестве способов образования контрольной суммы наиболее распространённым и надежным считается семейство криптографических алгоритмов SHA. Наиболее успешным с точки зрения производительности является криптографический хэш-алгоритм SHA-1. Алгоритм генерирует 160-битное (20-байтовое) хэш-значение для входящего сообщения любой длины, называемое дайджестом сообщения, которое обычно отображается в виде шестнадцатеричного числа с 40 цифрами. Этот метод защиты используется во многих криптографических приложениях и протоколах.

Хэш-функция основана на итерационной последовательной схеме. Основой алгоритма является функция сжатия – преобразование  $k$  входных бит в  $n$  выходных, где

$n$  – битовая глубина хэш-функции, а  $k$  – любое число больше  $n$ . При этом функция сжатия должна удовлетворять условиям криптобезопасности.

Входной поток делится на блоки по  $(k - n)$  бит. Алгоритм использует временную переменную размером  $n$  бит с определенным числом в качестве начального значения. Каждый последующий блок данных конкатенируется с выходным значением функции сжатия предыдущей итерации. Значением хэш-функции является выходное значение  $n$  бит последней итерации. Каждый бит выходного значения хэш-функции зависит от общего потока входных данных и начального значения.

При проектировании хеш-функций на основе итеративной схемы возникает проблема с размером входного потока данных. Размер входного потока данных должен быть кратен  $(k - n)$ . Как правило, перед началом алгоритма данные расширяются неким заранее известным способом (рис. 2).

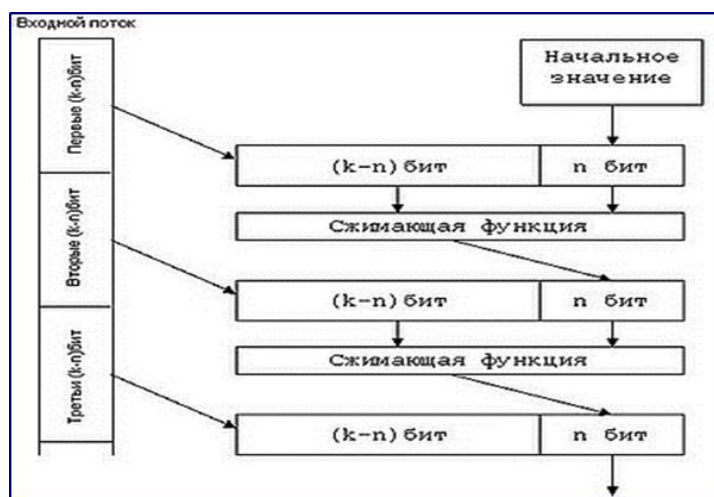
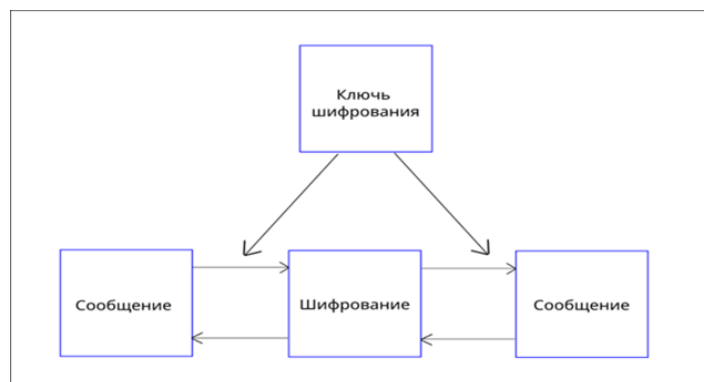


Рис. 2. Итеративная последовательная схема

Но контрольной суммы для обеспечения безопасности предприятия может быть недостаточно, так как она обеспечивает в СКУД лишь целостность информации, но остаются проблемы по безопасности информации при ее передаче по каналу связи.

Для обеспечения безопасности при передаче информации на уровне канала связи применяются так называемые алгоритмы симметричного блочного шифрования. Симметричное блочное шифрование – это способ шифрования, в котором для кодирования и декодирования применяется один и тот же криптографический ключ, обмен информацией при симметричном блочном шифровании приведен на рис. 3.



*Рис. 3. Симметричное блочное шифрование*

Наиболее распространенными алгоритмами кодирования с возможностью применения в СКУД являются:

AES – симметричный алгоритм блочного шифрования (размер блока 128 бит, ключ 128/192/256 бит), принятый в качестве стандарта шифрования правительством США по результатам конкурса AES. Этот алгоритм хорошо проанализирован и сейчас широко используется.

Преимуществом «AES» является то, что он универсален и может быть реализован на множестве систем СКУД и как следствие подходит для небольших предприятий и производств.

«Кузнечик» – симметричный алгоритм блочного шифрования с размером блока 128 бит и длиной ключа 256 бит. Данный шифр утверждён в качестве стандарта в ГОСТ Р 34.12-2015 «Информационная технология». Преимуществом алгоритма является то, что он разработан с учетом требований к безопасности СКУД и является предпочтительным для российских предприятий государственного характера.

В заключение нужно отметить, что применения различных алгоритмов кодирования или шифрования способствуют повышению безопасности и целостности информации, передаваемой между элементами СКУД.

#### Литература

1. Ворона, В. А. Системы контроля и управления доступом / В. А. Ворона, В. А. Тихонов. – М.: Питер, 2021. – 272 с.
2. Шнайер, Б. Прикладная криптография: протоколы, алгоритмы и исходный код на С / Б. Шнайер. – М.: Питер, 2020. – 1040 с.

## **Определение эффективности гибридного энергокомплекса на базе мини-ТЭЦ и солнечной энергоустановки**

Айдаров Максим Александрович, магистрант;

Николаев Юрий Евгеньевич, доктор технических наук, профессор кафедры

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

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

образования «Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов

*В статье рассматривается проблема реализации водородной инфраструктуры в России. Предлагается концепция водородных заправок, входящих в состав энергокомплексов с газопоршневыми мини-ТЭЦ. Произведена оценка количественных и энергетических показателей в зависимости от величины суммарной установленной мощности солнечных панелей, а также оценка экономической эффективности в зависимости от стоимости отпускаемого водорода.*

В последние десятилетия ведущими экономика мира активно ведется работа по организации энергетического перехода, по итогу которого главным энергоносителем планируется сделать водород. Такой высокий интерес к водороду вызван рядом причин:

- нулевая эмиссия вредных выбросов при любом способе использования водорода (как при сжигании, так и при использовании в топливных элементах);
- высокий уровень применимости, начиная от сферы ЖКХ и заканчивая авиационным транспортом;
- высокая энергоемкость, в несколько раз превышающая энергоемкость ископаемых топлив;
- возможно использование водорода в качестве аккумулятора энергии.

Так водород, полученный низкоуглеродными способами, может стать отличным способом для декарбонизации областей промышленности, полностью базирующихся на использовании ископаемого топлива. Помимо этого, существует ряд перспективных областей, в которых водород может начать применяться уже в ближайшем будущем – в централизованной и распределенной энергетике, а также в транспортном секторе.

В области энергетики водород можно применять как замену ископаемого топлива, в качестве аккумулятора энергии, за счет которого можно компенсировать неравномерность графиков потребления и стабилизировать режимы работы объектов

централизованной и распределенной генерации, а также водород можно использовать в качестве накопителя энергии в установках, работающих на возобновляемых источниках энергии [1]. Ввиду того, что уровень освоенности технологии топливных элементов на сегодняшний день позволяет создать энергоустановки с электрическим КПД порядка 60 - 65 % [2], многие крупные автоконцерны, такие как Honda, General Motors, Toyota, Ford, BMW, Daimler, Hyundai, Nissan, Volkswagen, заинтересованы в увеличении доли водородного транспорта и активно финансируют разработки в данной области [3].

Однако, несмотря на все достоинства, у водорода как энергоносителя есть ряд значительных недостатков, из-за которых не удастся организовать энергетический переход [4, 5]:

- сложность процессов получения низкоуглеродного водорода и, как следствие, его дороговизна;
- отсутствие соответствующей инфраструктуры, необходимой для производства, хранения и распределения водорода;
- высокие требования к уровню чистоты потребляемого водорода;
- большое количество выбросов оксидов азота при сжигании водорода, ввиду высокой температуры горения водорода;
- снижение мощности существующих установок при их переводе с ископаемого топлива на водород, ввиду низкой плотности водорода и, как следствие, низкой теплотворности итоговой водородно-воздушной смеси.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что основным вектор развития водородной энергетики будет направлен на транспортный сектор, ввиду наилучшего соотношения всех достоинств и недостатков использования водорода как энергоносителя.

Однако по сравнению с зарубежными странами в России наблюдается низкий темп развития внедрения водородных технологий в транспортный сектор. Это вызвано низкой стоимостью ископаемого топлива, высокой стоимостью водорода повышенной степени чистоты, низким уровнем возобновляемых источников энергии в общем энергобалансе страны. По итогу это приводит к полному отсутствию инфраструктуры, что влечет низкую заинтересованность автопроизводителей к созданию серийных водородных автомобилей.

Для решения проблемы водородной инфраструктуры предлагается создание гибридного источника энергии путем интеграции солнечной фотоэлектрической установки (СФЭУ) с мини-ТЭЦ на базе газопоршневых установок (ГПУ) для



производства тепловой, электрической энергии, водорода и кислорода. Топливная часть мини-ТЭЦ может обеспечивать теплом и электричеством небольшое производство, городской район или поселок, а часть ФЭУ обеспечивает нагрузку электролизеров, производящих водород для водородной заправки. Кислород, являющийся побочным продуктом, получаемым в процессе электролиза, можно закачивать в баллоны и отправлять на продажу, что также оказывает влияние на величину экономического эффекта.

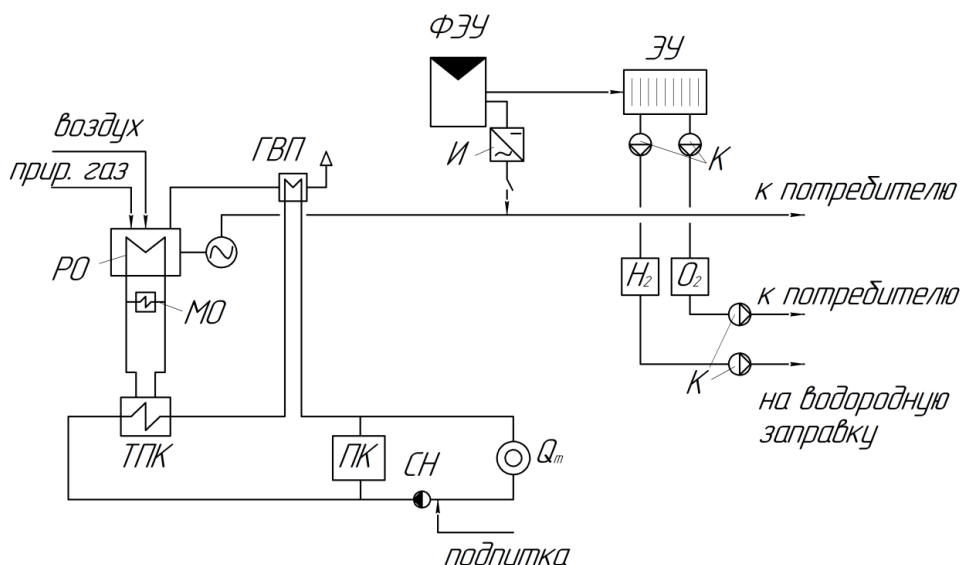


Рис. 1. Принципиальная схема работы гибридного источника энергоснабжения:  
 ГВП – газоподогреватель, ФЭУ – фотоэлектрическая установка,  
 ЭУ – электролитическая установка, И – инвертор, К – компрессор, СН – сетевой  
 насос, ПК – пиковый котел, МО – маслоохладитель, РО – рубашка охлаждения,  
 ТПК – теплообменник подогрева конденсата,  $H_2$ ,  $O_2$  – ресиверы для хранения водорода  
 и кислорода соответственно

Главной особенностью схемы является то, что фотоэлектрическая часть является не основной, а вспомогательной. Основное назначение солнечных батарей в данной схеме – обеспечение нагрузки электролизеров. Ввиду того что аккумуляторные батареи в схеме отсутствуют, постоянство выработки водорода осуществляется за счет ресиверов для хранения. Они же являются буфером между электролизером и непосредственно заправляемыми автомобилями.

Создание серии таких заправок, работающих как независимо, так и в составе гибридных энергокомплексов, позволит реализовать децентрализованную водородную инфраструктуру, аналогичную зарубежным проектам [6].

Для определения эффективности предлагаемого энергокомплекса была смоделирована его работа при следующих исходных данных:

1. Регион расположения – окраины г. Камышин.

2. Электрическая/тепловая нагрузка – 5/10,55 МВт.
3. Температурный график – 110/70 °С.
4. Нагрузка по водороду/кислороду – 65/388 кг/сут.
5. Давление в электролизере и ресиверах хранения – 2,2 МПа.
6. Давление водорода для заправки автомобилей – 35 МПа, кислорода – 15 МПа.

Данные по уровню инсоляции в регионе расположения были приняты в соответствии с [7]. Результаты расчета количественных и энергетических показателей схемы энергокомплекса для пяти вариантов, отличающихся величиной мощности СФЭУ, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета количественных и энергетических показателей

| Величина                                          | Единица измерения | Вар. 1 | Вар. 2 | Вар. 3 | Вар. 4 | Вар. 5 |
|---------------------------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Номинальная мощность СФЭУ                         | кВт               | 500    | 855    | 1385   | 2000   | 3000   |
| Количество солнечных панелей                      | шт.               | 926    | 1584   | 2565   | 3704   | 5556   |
| Номинальная мощность электролизеров               | кВт               | 672    | 936    | 1200   | 1200   | 1200   |
| Годовая выработка водорода                        | кг/год            | 17436  | 22050  | 23806  | 23806  | 23806  |
| Годовая выработка кислорода                       | кг/год            | 103780 | 131242 | 141696 | 141696 | 141696 |
| Величина годовой недовыработки водорода           | кг/год            | 6289   | 1675   | 0      | 0      | 0      |
| Величина годовой недовыработки кислорода          | кг/год            | 37432  | 9969   | 0      | 0      | 0      |
| КПД по отпуску электроэнергии с шин ТЭЦ           | %                 | 61,06  | 61,33  | 61,80  | 62,34  | 63,35  |
| КПД по отпуску тепловой энергии с коллекторов ТЭЦ | %                 | 95,80  | 95,77  | 95,69  | 95,56  | 95,35  |
| Коэффициент использования энергии топлива         | -                 | 78,51  | 79,27  | 80,87  | 82,99  | 86,67  |

Из полученных результатов видно, что начиная от установленной мощности СФЭУ, равной 1385 кВт, осуществляется полное обеспечение заправки водородом. При меньшем количестве солнечных панелей установка работает в режиме недовыработки водорода.

В свою очередь, увеличение установленной мощности СФЭУ положительно сказывается на КПД по отпуску тепловой энергии. Это связано с тем, что со стороны СФЭУ осуществляется замещение выработки ГПУ, таким образом, часть тепла, получаемого в обычных условиях когенерационным способом, замещается выработкой тепла на ПВК.

Для расчета экономических показателей приняты постоянными стоимостные характеристики тепловой, электрической энергии и кислорода:

$$T_Q = 2297,25 \frac{\text{руб.}}{\text{Гкал}}, T_3 = 585 \frac{\text{коп.}}{\text{кВт*ч}}, T_{O_2} = 780 \frac{\text{руб.}}{\text{кг}}$$

Тариф на отпускаемый водород принят равным 19 тыс. руб./кг [8]. Ввиду того, что данная стоимость в несколько раз превышает стоимость традиционного моторного топлива, в расчетах рассмотрен вариант при стоимости водорода 474 руб./кг, которая эквивалентна стоимости бензина. В качестве показателей экономической эффективности были приняты чистый дисконтированный доход (ЧДД), дисконтированный срок окупаемости (ДСО), индекс доходности (ИД). Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета экономических показателей энергокомплекса

| $N_{\text{СФЭУ}}, \text{кВт}$ | $T_{H_2} = 19185 \frac{\text{руб.}}{\text{кг}}$ |          |                                       | $T_{H_2} = 474 \frac{\text{руб.}}{\text{кг}}$ |          |                                       |
|-------------------------------|-------------------------------------------------|----------|---------------------------------------|-----------------------------------------------|----------|---------------------------------------|
|                               | ЧДД,<br>млн руб.                                | ДСО, лет | ИД, $\frac{\text{руб.}}{\text{руб.}}$ | ЧДД,<br>млн руб.                              | ДСО, лет | ИД, $\frac{\text{руб.}}{\text{руб.}}$ |
| 500                           | 1820,71                                         | 5,0      | 3,58                                  | 378,23                                        | 9,1      | 1,54                                  |
| 855                           | 2270,0                                          | 4,8      | 4,07                                  | 445,79                                        | 8,8      | 1,60                                  |
| 1385                          | 2408,39                                         | 4,75     | 4,08                                  | 438,97                                        | 8,98     | 1,56                                  |
| 2000                          | 2365,59                                         | 4,86     | 3,88                                  | 396,09                                        | 9,51     | 1,48                                  |
| 3000                          | 2295,52                                         | 5,02     | 3,58                                  | 326,01                                        | 10,46    | 1,37                                  |

По результатам расчетов видно, что при варьировании стоимости продаваемого водорода изменяется экономическая эффективность энергокомплекса. Так, при уменьшении стоимости водорода наблюдается смещение точки максимума ЧДД и ИД в область неполного обеспечения водородной нагрузки. Это вызвано, с одной стороны, ростом производственных издержек за счет увеличения капиталовложений в водородную заправку, и, с другой, снижением экономического эффекта ввиду уменьшения стоимости продаваемого водорода.

Выводы:

1. Разработана схема гибридного энергокомплекса для комбинированного производства электрической, тепловой энергии, водорода и кислорода.
2. Выполнены расчеты количественных, энергетических и экономических показателей энергокомплекса.
3. По результатам расчетов величина максимума дисконтированного дохода достигается при стоимости водорода 19,2 тыс. руб./кг и мощности СФЭУ 1385 кВт. С понижением стоимости водорода до 0,47 тыс. руб./кг максимальный ЧДД получается при мощности СФЭУ 855 кВт.

## Литература

1. Новак, А. Водород: энергия «чистого» будущего / А. Новак // Энергетическая политика. – 2021. – № 4(158). – С. 6-11.
2. Филиппов, С. П. Топливные элементы и водородная энергетика / С. П. Филиппов, А. Э. Голодницкий, А. М. Кашин // Энергетическая политика. – 2020. – № 11(153). – С. 28-39.
3. Тиунов, В. В. Анализ проблем использования водородного топлива на транспорте и в энергетике / В. В. Тиунов, П. В. Лыкасов // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. – 2019. – Т. 1. – С. 231-236.
4. Валеева, Г. Р. Водородные технологии, применимые в дорожном транспорте / Г. Р. Валеева // Труды XXVI Всероссийской студенческой научно-практической конференции «Молодежная наука». – Красноярск: КриЖТ ИрГУПСЮ, 2022. – Т. 1. – С. 43-47.
5. Новоселов, С. В. Исследование возможности использования водорода в качестве топлива для поршневых двигателей внутреннего сгорания / С. В. Новоселов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2006. – № 5(56). – С. 91-95.
6. Konrad Pütz. The way ahead for hydrogen in transport in Norway / Konrad Pütz, Tom Nørbech // Background paper for the IFP/IEA/ITF Workshop on «Developing infrastructure for alternative transport fuels and power-trains to 2020/2030/2050: A cross country assessment of early stages of implementation» OECD. – 2012. – P. 14.
7. POWER. Prediction of Worldwide Energy Resource: [сайт]. – URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (дата обращения: 7.04.2023). – Текст: электронный.
8. Байрамов, А. Н. Разработка научных основ повышения эффективности АЭС при комбинировании с водородным комплексом: специальность 05.14.01 – «Энергетические системы и комплексы»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Байрамов Артём Николаевич; Саратовской государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.». – Саратов, 2021. – 397 с.

**Оценка влияния форм оребрения трубок на эффективность теплообмена  
в аккумуляторе фазового перехода в составе АЭС**

<sup>1</sup>Аношин Даниил Михайлович, студент специальности

«Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»;

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

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

высшего образования «Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов;

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

Федеральный исследовательский центр «Саратовский научный центр

Российской академии наук», г. Саратов

*В условиях увеличения доли АЭС в энергосистемах Европейской части РФ и неравномерного суточного электропотребления необходим поиск рациональных путей аккумулирования ночной энергии АЭС. Комбинирование АЭС с тепловыми аккумуляторами фазового перехода (АФП) и дополнительной паровой турбиной позволяет аккумулировать тепловую энергию, выработанную в ночное время, и использовать ее в часы пиковых нагрузок для выработки электроэнергии. Проведено моделирование методом конечных элементов нестационарного теплообмена между теплоаккумулирующим материалом и водой для различных форм оребрения трубок применительно к элементарной секции аккумулятора фазового перехода.*

В ЕЭС России прослеживается дефицит маневренных мощностей, готовых обеспечивать электроэнергией в часы повышенной нагрузки и разгружаться в период провала электропотребления. Эта проблема обостряется по мере увеличения доли АЭС в энергосистемах. Энергетическая стратегия РФ на период до 2025 г. ставит задачи повышения эффективности атомной энергетики путем реализации мер по регулированию неравномерности суточных графиков нагрузки. Одним из решений этой проблемы может стать создание на АЭС аккумуляторов тепловой энергии, наибольший интерес из которых представляют тепловые аккумуляторы фазового перехода [1-4].

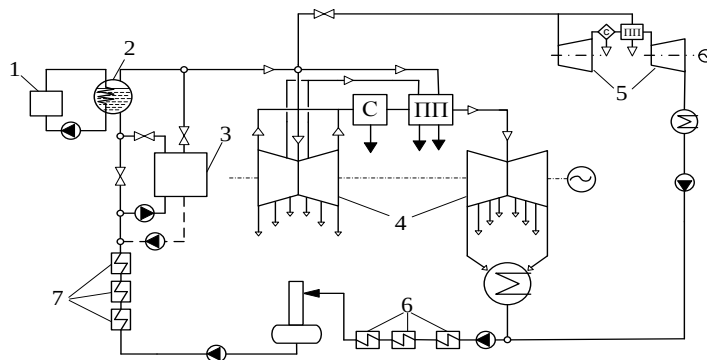
За рубежом аккумулирование тепловой энергии с фазовым переходом является одной из основных тем исследований за последние 30 лет [5]. К примеру, разработки в области аккумулирования тепла с использованием аккумуляторов фазового перехода ведутся в США, Италии, ФРГ, Франции, Японии, Великобритании и в других странах. Сегодня аккумулирование тепловой энергии за счет скрытой теплоты фазового

перехода активно используется в солнечной энергетике, а также при строительстве зданий [6].

Для эффективного использования АФП и выбора наилучшего материала необходимо комплексно оценивать многие факторы. Соответствие температуры фазового перехода параметрам установки, высокая удельная теплота фазового перехода и низкая стоимость теплоаккумулирующего материала (ТАМ) являются основными требованиями, а затем уже всесторонне рассматривается множество других факторов.

В литературе имеется информация о большом количестве различных теплоаккумулирующих материалов с температурой плавления от 80 до 400 °С. При комбинировании АФП с влажно-паровыми циклами АЭС необходимый температурный режим фазового перехода ограничивается диапазоном 250 - 275 °С. В качестве теплоаккумулирующего материала, нагреваемого за счет теплоты конденсации свежего пара в часы спада электропотребления и отдающего тепло при нагреве поступающей питательной воды основного контура регенерации в часы пиковой нагрузки, выбран нитрат лития  $\text{LiNO}_3$ . Такой выбор обусловлен соответствием температуры плавления 253 °С параметрам технологических процессов в цикле АЭС, а также высокой удельной теплотой фазового перехода нитрат лития, которая составляет 370 кДж/кг. Плотность  $\text{LiNO}_3$  в твердом и жидком состоянии составляет соответственно 2310 и 1776 кг/м<sup>3</sup>, теплоемкость 1,8 и 2,03 кДж/кг·К, теплопроводность 1,37 и 0,619 Вт/м<sup>2</sup>·К [7].

Использование АФП в комбинации с двухконтурной АЭС с ВВЭР на основе водо-водяного реактора предполагает осуществление зарядки аккумулятора частью свежего пара в ночные часы снижения электропотребления. В режиме пиковых нагрузок при разрядке аккумулятора часть питательной воды после подогревателей высокого давления нагревается в АФП и затем подмешивается к питательной воде в основном тракте. За счет повышения температуры питательной воды на входе в парогенераторы при той же мощности реактора генерируется избыток свежего пара, который направляется на дополнительную паротурбинную установку (рис. 1).

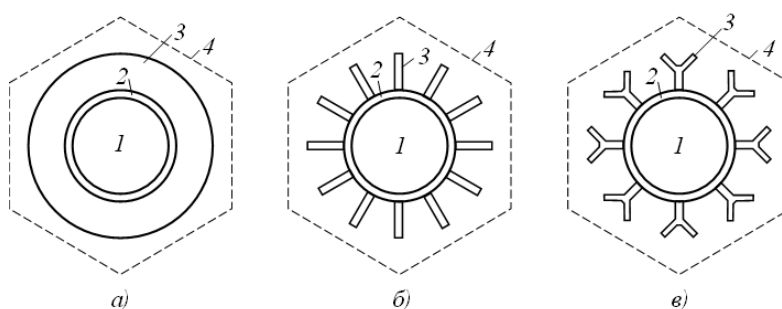


*Рис. 1. Схема комбинирования энергоблока АЭС с ВВЭР и системы теплового аккумулятора с подогревом воды в АФП:*

*1 – реактор; 2 – парогенератор; 3 – АФП; 4 – основная паровая турбина; 5 – дополнительная(-ые) паровая турбина; 6, 7 – регенеративные подогреватели низкого и высокого давления соответственно [8]*

Скорости зарядки и разрядки теплового аккумулятора фазового перехода сдерживаются плохой теплопроводностью имеющихся материалов фазового перехода и не могут удовлетворить потребности систем АФП. Увеличение площади поверхности теплообмена за счет оребрения является простым и эффективным методом увеличения теплопередачи от ТАМа к воде [9].

Для использования в схеме АЭС выбран кожухотрубный тип конструкции АФП с вертикальными трубами и шахматным расположением трубного пучка. Расчет производился для одной ячейки АФП с шахматным расположением трубок с различным оребрением. Элементы конструкции аккумулятора фазового перехода, включающие трубки (внешним диаметром 29 мм и толщиной 2 мм) с рассмотренными типами оребрения, водой и ТАМом, представлены на рис. 2, параметры моделируемой элементарной ячейки АФП (размер «под ключ» 58 мм) при длине трубы 2 м представлены в табл. 1.



*Рис. 2. Элементы конструкции аккумулятора фазового перехода (вид сверху):*

*а) – радиальное дисковое оребрение; б) – продольное оребрение; в) – продольное древовидное оребрение; 1 – вода; 2 – труба; 3 – оребрение; 4 – граница элементарной ячейки АФП с теплоаккумулирующим материалом*

Таблица 1

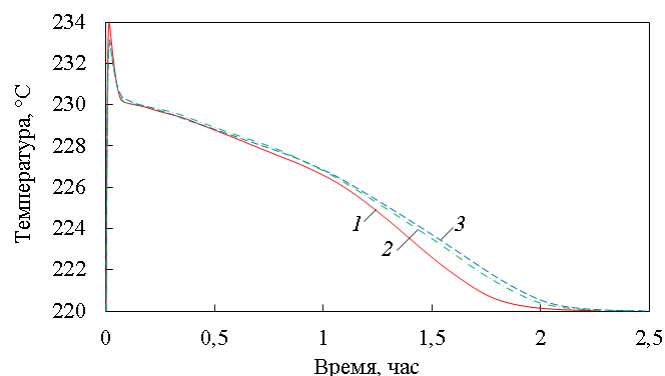
Параметры элементарной ячейки АФП при различном оребрении

| Параметры                                                                       | Радиальное<br>дисковое<br>оребрение | Продольное<br>оребрение | Продольное<br>древовидное<br>оребрение |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------|
| Длина трубы, м                                                                  | 2,0                                 | 2,0                     | 2,0                                    |
| Площадь основания элементарной ячейки, м <sup>2</sup>                           | 0,002913                            | 0,002913                | 0,002913                               |
| Площадь поверхности теплообмена с ТАМом, м <sup>2</sup>                         | 0,66329                             | 0,63880                 | 0,66801                                |
| Коэффициент оребрения                                                           | 3,64                                | 3,51                    | 3,67                                   |
| Общий объем ячейки АФП, м <sup>3</sup> , в том числе:                           | $5,827 \cdot 10^{-3}$               | $5,827 \cdot 10^{-3}$   | $5,827 \cdot 10^{-3}$                  |
| ТАМ                                                                             | $4,048 \cdot 10^{-3}$               | $4,050 \cdot 10^{-3}$   | $4,101 \cdot 10^{-3}$                  |
| труба с оребрением                                                              | $0,797 \cdot 10^{-3}$               | $0,795 \cdot 10^{-3}$   | $0,744 \cdot 10^{-3}$                  |
| вода                                                                            | $0,982 \cdot 10^{-3}$               | $0,982 \cdot 10^{-3}$   | $0,982 \cdot 10^{-3}$                  |
| Доля объема ТАМа в ячейке, %                                                    | 69,47                               | 69,51                   | 70,38                                  |
| Масса ТАМа в ячейке, кг                                                         | 9,383                               | 9,388                   | 9,506                                  |
| Энергия фазового перехода ТАМа в ячейке, кДж                                    | 3471,8                              | 3473,5                  | 3517,3                                 |
| Суммарная энергия ТАМа с учетом перегрева (272°C) и переохлаждения (220°C), кДж | 4382,1                              | 4384,3                  | 4439,5                                 |

Для расчета температуры теплоносителя на выходе из АФП проведено математическое моделирование нестационарного теплообмена между теплоаккумулирующим материалом и водой через металлическую трубку методом конечных элементов в Ansys Fluent. В качестве материала для труб принята конструкционная углеродистая сталь 10. Зависимость теплофизических свойств стали от температуры принималась линейной по справочным данным. Зависимости теплофизических свойств воды в трубах от температуры (при давлении 6,91 МПа) задавалась полиномами. В качестве начальных условий для решения были заданы температуры теплоносителя на входе в АФП  $t_{\text{вх}} = 220$  °С (температура питательной воды) и температура перегретого ТАМа  $t_{\text{там}} = 272$  °С (после нагрева свежим паром при зарядке АФП).

Результаты расчета температуры воды (средней по потоку) на выходе из трубы элементарной ячейки с аккумулятором фазового перехода при разрядке АФП в зависимости от времени разрядки для труб с рассмотренными типами оребрения при расходе воды 0,023 кг/с приведены на рис. 3.





*Рис. 3. Динамика температуры воды на выходе ячейки при разрядке АФП:  
1 – радиальное дисковое оребрение; 2 – продольное оребрение; 3 – продольное  
древовидное оребрение*

В процессе разрядки АФП выделяются 3 этапа: 1) охлаждение жидкого теплоаккумулирующего материала до температуры кристаллизации; 2) кристаллизация теплоаккумулирующего материала при постоянной температуре и 3) переохлаждение застывшего ТАМа. По полученным графикам температуры питательной воды на выходе из АФП (рис. 3) видно, что для всех типов оребрения средняя температура воды на выходе из АФП в течение первых двух этапов разрядки почти одинакова (поверхности теплообмена для всех типов оребрения подбирались одинаковыми).

После того как большая часть ТАМа кристаллизовалась и наступает этап переохлаждения теплоаккумулирующего материала, видно (рис. 3), что температура воды на выходе из АФП при продольном древовидном оребрении по сравнению с обычным продольным оребрением выше, хотя и незначительно. При использовании же дискового оребрения температура теплоносителя на выходе из элементарной ячейки АФП значительно ниже, чем при использовании других форм оребрения. Связано это с тем, что между дисками создается своя зона теплообмена и переток тепла от горячей зоны ТАМа к холодной затруднен. Кроме того, при разбиении на такие зоны затрудняется конвекция ТАМа (при вертикальной компоновке трубного пучка), что также ухудшает теплообмен. Таким образом, радиальное дисковое оребрение показало себя как неэффективная конструкция в АФП, т. к. уступает другим формам в процессе кристаллизации и переохлаждения ТАМа и обладает большей металлоемкостью.

Наиболее перспективным видом можно считать продольное древовидное оребрение, т. к. такая форма ничем не уступает по эффективности обычному продольному оребрению, а в некоторых этапах оказывается даже эффективнее. Следует заметить, что площадь теплообмена между сталью и ТАМом была почти

одинакова для трубок со всеми видами оребрения. Для соблюдения одинаковой площади внешней поверхности теплообмена при разных формах оребрения варьировалось число ребер. Наименьшее число ребер (8 ребер) потребовалось для трубки с продольным древовидным оребрением, в свою очередь для достижения такой же площади поверхности теплообмена при продольной форме оребрения потребовалось уже 12 ребер. Продольное древовидное оребрение характеризуется значительно меньшей металлоемкостью, а значит, меньшими капиталовложениями в производство таких трубок и всю установку в целом. Это еще раз подтверждает перспективность и эффективность такой формы оребрения.

Заключение. Проведено моделирование нестационарного теплообмена между теплоаккумулирующим материалом и водой при разрядке аккумулятора фазового перехода для различных форм оребрения трубок применительно к элементарной секции аккумулятора фазового перехода методом конечных элементов на основе программного комплекса для ЭВМ. Показано, что наиболее эффективной формой оребрения среди рассмотренных является продольное древовидное оребрение.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00090, <https://rscf.ru/project/22-29-00090>.

#### Литература

1. Thermo-economic assessment of flexible nuclear power plants in future low-carbon electricity systems: Role of thermal energy storage / A. A. Al Kindi, M. Aunedi, A. M. Pantaleo [et al.] // *Energy Conversion and Management*. – 2022. – V. 258. – P. 115484.
2. Aminov, R. Efficiency and economic assessment of combining nuclear power plants with multifunctional heat accumulation systems / R. Aminov, V. Yurin, M. Murtazov // *International Journal of Energy Research*. – 2021. – V. 45. – No. 8. – Pp. 12464-12473.
3. Аминов, Р. З. Применение многофункциональных систем с тепловыми аккумуляторами фазового перехода как путь повышения безопасности и эффективности АЭС / Р. З. Аминов // *Теплоэнергетика*. – 2022. – № 8. – С. 5-13.
4. Аминов, Р. З. Оценка эффективности АЭС при использовании аккумуляторов фазового перехода / Р. З. Аминов, М. В. Гариевский // *Теплоэнергетика*. – 2023. – № 2. – С. 78-89.
5. Rocha, T. T. M. A timeline of the phase-change problem for latent thermal energy storage systems: A review of theoretical approaches from the 1970's to 2022 /

T. T. M. Rocha, P. V. Trevizoli, R. N. de Oliveira // Solar Energy. – 2023. – V. 250. – Pp. 248-284.

6. Imran Khan, M. Progress in research and development of phase change materials for thermal energy storage in concentrated solar power / M. Imran Khan, F. Asfand, S. G. Al-Ghamdi // Applied Thermal Engineering. – 2023. – V. 219. – P. 119546.

7. Latent heat storage above 120 °C for applications in the industrial process heat sector and solar power generation / R. Tamme, T. Bauer, J. Buschle [et al.] // International Journal of Energy Research. – 2008. – V. 32. – No. 3. – Pp. 264-271.

8. Патент 2680380 Российская Федерация, МПК G21D 5/00. Способ повышения мощности и безопасности энергоблока АЭС с реактором типа ВВЭР на основе теплового аккумулирования: № 2017141963: заявл. 01.12.2017; опубл. 20.02 / Аминов Р. З., Юрин В. Е., Муртазов М. А.

9. Dhaidan, N. S. Improved performance of latent heat energy storage systems utilizing high thermal conductivity fins: A review / N. S. Dhaidan, J. M. Khodadadi // Journal of Renewable and Sustainable Energy. – 2017. – V. 9. – No. 3. – P. 034103.

УДК 62-519

### **Разработка программируемого устройства на базе микроконтроллера семейства AVR**

Востров Игорь Александрович, студент направления

«Автоматизация технологических процессов и производств»;

Самойлова Елена Михайловна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Техническая механика и мехатроника»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования «Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов

*В данной статье рассматриваются вопросы создания и программирования устройства на базе микроконтроллера семейства AVR, разбор современных электроприводов и их структуры.*

Целью данной статьи является изучение программируемых устройств и их возможностей, проектирование и изготовление программируемого устройства на базе

микроконтроллера, а также разработка конструкторско-технической документации на устройство.

Программируемые устройства на сегодняшний день распространены повсеместно, начиная от будильника, настольных ламп и фитнес-трекингов до систем аэронавигации, систем управления космическими станциями. Сами программируемые устройства делятся на программируемые логические интегральные схемы, программируемые логические контроллеры, базовые матричные кристаллы, схемы ASIC, специализированные компьютеры и процессоры, а также микроконтроллеры. Наиболее распространенными являются микроконтроллеры, программируемые логические контроллеры и специализированные процессоры [1].

В данной статье рассматривается разработка программного управляемого устройства на базе микроконтроллера. Подобное технологическое решение широко представлено различными устройствами – как промышленными, так и бытовыми. Применение программируемых устройств обусловлено необходимостью выполнения в цикличном режиме различных операций, повышения скорости реакции на различные события в производстве (изменение технологических параметров, срабатывание сторожевых датчиков и так далее), создания автономных устройств управления и регулирования и тому подобное.

Программное управление узлами и агрегатами значительно повышает производительность труда вследствие повышения точности и скорости выполнения операций. Основным типом программно-управляемых агрегатов являются электроприводы [2].

Современные электроприводы являются основной структурной составляющей большинства производственных установок, транспортных средств и бытовой техники. Они обеспечивают энергетическую основу автоматизации самых разнообразных технологических и производственных процессов. Электропривод позволяет повысить производительность, экономичность и надежность работы технологического оборудования, реализовать новые технологии, расширить функциональные возможности и сферы применения автоматизации.

Структура систем управления электроприводом содержит аналогово-цифровые преобразователи и устройства цифровой техники. Микроконтроллерное управление используется для управления электроприводом с синхронным, вентильным и вентильно-индукторным двигателем [3].

На примере разрабатываемого устройства демонстрируется возможность управления в режиме реального времени несколькими электроприводами посредством

8-разрядного микроконтроллера. В данном случае осуществляется программное управление положением валов электродвигателей 18 сервоприводов. Макет, выполненный в виде игрушки робота-гексапода, демонстрирует программное изменение положения ног робота, это реализуется изменением напряжения на управляющих входах сервоприводов. Время изменения управляющего сигнала с микроконтроллера не превышает долей секунды, что позволяет оперативно реагировать на поступающие команды оператора или возникающие события в процессе эксплуатации. Пример робота-гексапода представлен на рис. 1.

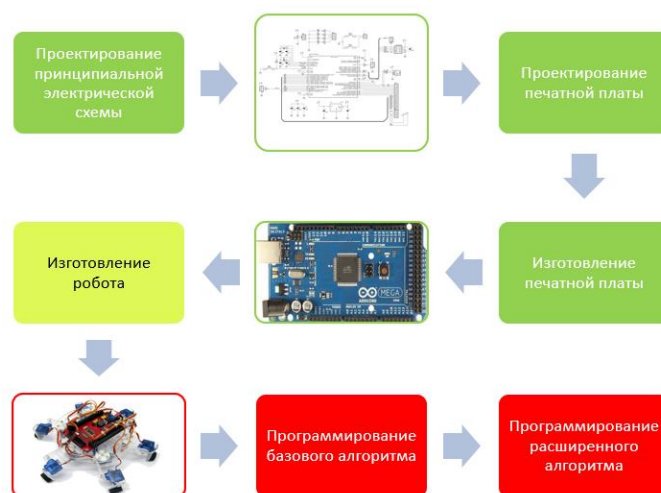


*Рис. 1. Гексапод*

Сам микроконтроллер может быть перепрограммирован на модифицированную версию алгоритма или же на принципиально новый алгоритм, что дает возможность расширять и изменять функционал. Достоинством микроконтроллеров является возможность перепрограммирования в непроизводственных условиях. В разрабатываемом устройстве это возможно посредством подключения стандартным проводом USB к персональному компьютеру, без применения дополнительных программаторов.

В проекте будет применен микроконтроллер в качестве программируемого элемента системы. Несмотря на то, что микроконтроллеры обладают меньшей производительностью по сравнению с другими программируемыми устройствами, они имеют ряд решающих преимуществ: программный способ реализации алгоритмов, что значительно упрощает их программирование и позволяет реализовать гибкую настройку «на месте», также по сравнению с другими программируемыми устройствами микроконтроллеры имеют минимальные массогабаритные показатели.

Разрабатываемое устройство представляет собой роботизированную мобильную платформу на базе микроконтроллера. Соответственно, основным элементом системы является микроконтроллер, этапы проекта представлены на рис. 2.



*Рис. 2. Этапы проекта*

По результатам проекта будет получена программируемая роботизированная мобильная платформа на базе микроконтроллера, запрограммированная на выполнение как минимум простейших команд по перемещению в пространстве.

#### Литература

1. Бородин, В. Б. Микроконтроллеры. Архитектура, программирование, интерфейс / В. Б. Бородин, М. И. Шагурин. – М.: Изд-во ЭКОМ, 1999. – 400 с.
2. Васильев, А. Е. Микроконтроллеры. Разработка встраиваемых приложений: учебное пособие / А. Е. Васильев. – СПб: БХВ-Петербург, 2008. – 304 с.
3. Кравченко, А. В. 10 практических устройств на AVR-микроконтроллерах / А. В. Кравченко. – М: Изд-во Корона-век, 2009. – 320 с.

## Перспективы термоядерного синтеза

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 применения термоядерного синтеза. Выявлена актуальность применения термоядерного синтеза в современном мире. Проведён сравнительный анализ ядерного синтеза и деления. Определены достоинства и недостатки термоядерной энергетики. Обнаружены проблемы применения термоядерного синтеза и способы их решения. Изучена и проанализирована доступная информация по существующим и перспективным проектам получения термоядерной энергии.*

Термоядерный синтез представляет собой энергетически выгоднейший процесс в ядерной энергетике, известный человечеству, который абсолютно безопасно для человека и его деятельности, а также окружающей среды выделяет колоссальное количество энергии, по сравнению с привычными для нас источниками (ядерной реакцией деления, реакцией горения). Более того, пока горючее (нефть, газ, уголь, торф) и энергоёмкое (уран  $^{235}_{92}\text{U}$ , плутоний  $^{239}_{94}\text{Pu}$ ) топливо постепенно иссякает, природных запасов которого осталось на пару десятков лет, термоядерный синтез будет работать на практически неисчерпаемом топливе. Кроме того, термоядерная энергетика позволит значительно уменьшить загрязнение окружающей среды [1].

Термоядерный синтез – цепочка разновидностей ядерных реакций, происходящих в горячей плазме и приводящих к слиянию легких (по атомной массе) атомных ядер в более тяжелые. Энергия, необходимая для преодоления кулоновского барьера при сближении ядер, черпается из кинетической энергии их хаотического движения. В результате выделяется ядерная энергия связи, значительная часть которой переходит в тепло [2].

Проведём сравнительный анализ ядерного синтеза и деления: в ядерных реакторах используется деление ядер урана и управляемая цепная ядерная реакция, а в реакторах термоядерного синтеза – управляемый термоядерный синтез. В отличие от

ядерной, термоядерная реакция энергетически более выгодна, так как энергия, выделившаяся на единицу массы в результате термоядерной реакции в 4 раза больше. Ядерная энергетика деления используется на современных атомных электростанциях (АЭС), а термоядерная реакция используется пока только в опытных реакторах типа ТОКАМАК и Стелларатор [2].

По сравнению с привычными для нас источниками энергии термоядерный синтез имеет ряд существенных преимуществ: его топливо вполне доступно, нет экологически опасных выбросов в атмосферу и проблемы отработанного радиоактивного топлива, повышенная безопасность эксплуатации и выделение большей энергии.

Наиболее перспективное топливо для термоядерных реакторов – дейтерий и тритий. Любое требуемое количество дейтерия может быть получено при переработке воды из мирового океана. С тритием сложнее, в природе он, конечно же, есть, в верхних слоях атмосферы, но его легче получить в ядерных реакторах.

Дейтерий и тритий – это изотопы первого и самого лёгкого химического элемента – водорода. Если их смесь нагреть до температуры в 100 миллионов градусов Цельсия и выше, то они превратятся в полностью ионизированную плазму. Благодаря чему их ядра смогут разогнаться настолько сильно, что, преодолевая кулоновские силы, они сольются, образуя ядро гелия и высокоэнергетический нейтрон. В результате каждого акта такого синтеза выделяется 17,6 МэВ ( $\approx 2,82 \cdot 10^{-12}$  Дж) энергии [3]:

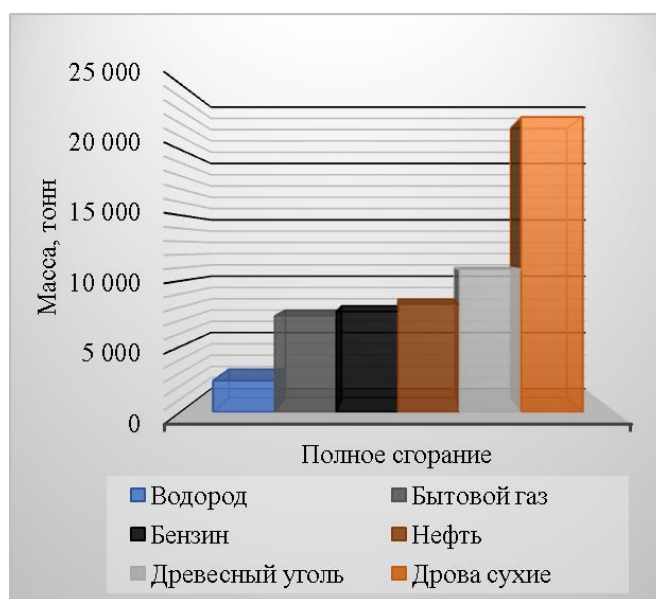


где  ${}^2_1\text{H}$  – дейтерий;  ${}^3_1\text{H}$  – тритий;  ${}^4_2\text{He}$  – гелий 4 ( $\alpha$ - частица);  ${}^1_0\text{n}$  – нейтрон.

Энергии, которая выделяется во время термоядерного синтеза, получается намного больше, чем от любых привычных для нас источников. К примеру, при делении 1 кг ядерного топлива высвобождается 83,52 ТДж энергии, а синтез 1 кг дейтерий-тритиевой смеси высвобождает 337,32 ТДж энергии, что в 4 раза больше [3]. На рис. 1 приведены примеры массы привычного для нас топлива в тоннах, при полном сгорании которого выделится тоже количество теплоты, что при синтезе 1 кг дейтерий-тритиевой смеси. Так, при синтезе 1 кг дейтерий-тритиевой смеси (D-T-топлива) выделится тоже количество теплоты, что при полном сгорании 2392 тонн экологически чистого топлива – водорода, или 8227 тонн нефти или 22488 тонн дров сухих. В данной диаграмме масса топлива рассчитывалась делением количества теплоты, выделяемого



синтезом 1 кг дейтерий-тритиевой смеси ( $337,32 \cdot 10^{12}$  Дж), на удельную теплоту сгорания выбранного топлива, приведённую в справочных данных.



*Рис. 1. Диаграмма массы привычного нам топлива, при полном сгорании которого выделится то же количество теплоты, что при синтезе 1 кг дейтерий-тритиевой смеси*

Но рентабельность термоядерного синтеза сопровождается целым рядом проблем, для решения каждой из которых было необходимо создать отдельный компонент термоядерной установки.

Одна из проблем – нагреть топливо до невероятных температур для получения плазмы, необходимой для протекания термоядерной реакции. Выше мы выяснили, что для получения плазмы нужно нагреть термоядерное топливо до температуры в 100 млн. градусов Цельсия. В наиболее перспективных реакторах эта проблема была решена применением бесконтактного индукционного нагрева плазмы [3].

Затем возникла проблема удержания невероятно горячей плазмы. Но к счастью, она была успешно решена советскими учёными А.Д. Сахаровым и И.Е. Таммом, предложившими идею магнитного удержания плазмы в 1950 году. Принцип технологии заключается в равномерном сжатии плазмы в тороидальном сосуде при помощи электрических катушек, магнитными силами, с целью не допустить соприкосновение высокотемпературной плазмы со стенками сосуда, тем самым предотвратив ее расплавление, ведь малейшее испарение стенок повлечёт за собой смешивание её паров с плазмой и к её затуханию (прекращению термоядерной реакции).

Пожалуй, главная задача термоядерных установок – получить полный контроль над поведением плазмы, с которой, к сожалению, на данный момент не справляется ни один термоядерный реактор.

Плазма – это ионизованный газ, считается, что это четвёртое агрегатное состояние вещества среди газообразных, жидких и твёрдых. Появляется плазма – вещество, которое очень сильно нагрели. Молекулы распадаются до атомов, атомы ионизируются – получается нечто такое, что очень сложно сохранять в спокойствии, из-за постоянных электростатических и тепловых взаимодействий между ними [2].

Отсюда можно сделать вывод: из-за того, что полностью контролировать состояние плазмы учёным пока не удаётся, выход энергии при термоядерном синтезе получается нестабильным и неоднородным, а это приводит к целому ряду дополнительных проблем. Одна из самых главных – разрушение первой стенки реактора, ведь при попадании электронов на стенку она мгновенно расплавляется, а каждый подобный срыв грозит остановкой работы реактора на несколько месяцев [3].

ТОКАМАК, или тороидальная вакуумная камера с магнитными катушками, была впервые построена в 1958 году в Курчатовском институте (СССР, сейчас Россия) и на тот момент являлась первой в мире экспериментальной термоядерной установкой, конструкция которой оказалась весьма успешной.

ТОКАМАК – это электрофизическое устройство, основное назначение которого – формирование плазмы, что возможно при температурах около 100 миллионов градусов Цельсия, и сохранение её достаточно долгое время в заданном объёме [3].

На рис. 2 представлена схема термоядерного реактора ТОКАМАК. Индуктор находится прямо по центру установки и осуществляет разогрев топлива по средствам индукционной связи с ним внутри тороидального сосуда. Тороидальные катушки удерживают плазму своими магнитными силами. Полоидальные витки используются как дополнительный способ удержания и нагрева плазмы [1].

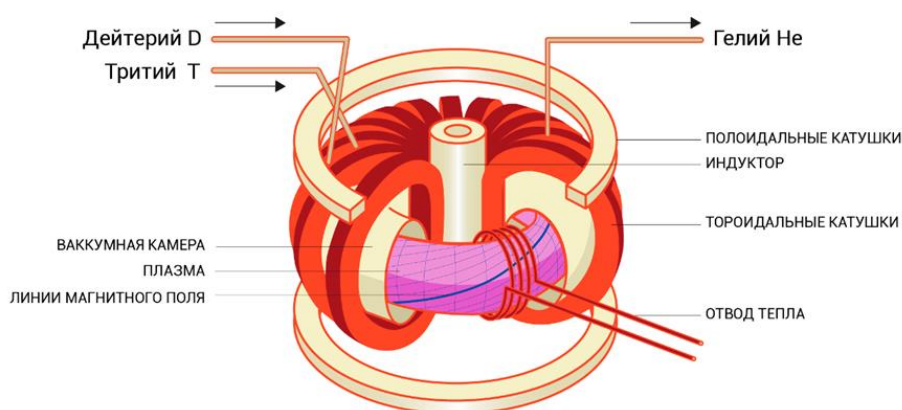


Рис. 2. Схема термоядерного ректора ТОКАМАК

Еще один тип из наиболее известных термоядерных реакторов – стелларатор. Он практически идентичен ТОКАМАКу, но имеет некоторые отличия в конструкции. В

стеллараторе магнитное поле создаётся внешними электромагнитами, благодаря чему он считается более надёжной и стабильной установкой. ТОКАМАК, в отличие от стелларатора, работает в импульсном режиме из-за постоянных срывов плазмы, но он хорошо изучен в действии и у него более простая конструкция [3].

Именно поэтому ТОКОМАК был выбран для строительства первого в мире международного экспериментального термоядерного реактора, проект которого именуют ИТЕР (англ. ITER, лат. iter – «путь»). В нём принимают участие 35 стран мира, в том числе и Россия. Кстати, идея объединить усилия разных государств в попытке «приручить» термоядерный синтез принадлежит русскому учёному Е.П. Велихову [4].

Сооружения ИТЕР расположены на юге Франции на 180 гектарах земли. Стоимость проекта на 2015 год оценивалась в 19 млрд евро. Согласно расчётам, весить ИТЕР будет 23 000 тонн, в диаметре он будет достигать 20 метров, а в высоту более 60 метров. Объём плазмы, который учёные планируют получать на этой грандиозной установке – 830 кубических метров. Сама же термоядерная реакция будет протекать при температуре в 150 млн градусов Цельсия, что в 10 раз больше, чем в ядре Солнца. Чтобы нагреть и удержать столь колоссальный объём плазмы, используются кабели из сверхпроводников, которые для поддержания сверхпроводящего состояния в процессе работы будут охлаждаться до криогенных температур жидким гелием, температура которого составляет  $-269^{\circ}\text{C}$ . Магнитная система, состоящая из центрального соленоида, 18 тороидальных и 6 полоидальных катушек, имеет длину проводника 195 км и массу 9677 т, номинальный ток 46 - 68 кА, и магнитное поле в 200 000 раз большее, чем у Земли [4].

Во время зажигания плазмы приходится пик потребления электроэнергии до 620 МВт на период около 30 секунд, а постоянное энергопотребление систем ТОКАМАКа составит примерно 110 МВт, из которой около 80 % будет потребляться криогенной системой (для охлаждения сверхпроводников) и системой водяного охлаждения стенок реактора. Согласно расчётам ИТЕР будет производить около 500 МВт тепловой энергии в среднем за один цикл, с пиком более 1100 МВт в момент зажигания плазмы. При 50 МВт мощности, вводимой в ТОКАМАК с помощью систем, нагревающих плазму, он будет вырабатывать 500 МВт термоядерной энергии в течение периодов от 400 до 600 секунд. Эта десятикратная отдача по мощности выражается  $Q \geq 10$  (отношением потребляемой мощности нагрева к тепловой выходной мощности). Но на время проведения экспериментов ИТЕР не будет производить

электроэнергию, а вся полученная тепловая энергия будет рассеиваться в окружающую среду [4].

Ожидается, что после зажигания плазмы, термоядерная реакция станет самоподдерживающейся, а это позволит исключить затраты энергии на подогревание плазмы, что значительно повысит энергоэффективность установки. Предполагается, что крайне дорогого компонента термоядерного топлива – трития, образуемого в результате реакции деления ядер лития, при захвате им нейтрона, будет достаточно, чтобы обеспечить требования самой установки, либо даже превысит эти потребности, что значительно увеличит экономическую эффективность установки. Кроме того, уже в перспективе создание постоянно обновляющийся жидкой литиевой стенки реактора, которая позволит не только набирать тритий, но и решит ряд проблем с расплавлением стенок [4].

Сейчас предполагается, что первая плазма дейтерия и трития будет получена в 2025 году, а в 2035 году начнётся полноценная работа реактора [4].

Обеспечить же полный цикл, от наработки урана-235 ( $^{235}_{92}\text{U}$ ) из тория ( $^{232}_{90}\text{Th}$ ) – тяжёлого слаборадиоактивного металла, запасы которого в природе практически не ограничены (торий в больших количествах находится в горных породах), до производства собственно атомной энергии поможет так называемый гибридный реактор. По задумке учёных, он будет объединять сразу две установки – атомный реактор и ТОКАМАК. Гибридный реактор работает по следующему принципу: с ТОКАМАКа вырывается огромное количество быстрых нейтронов в атомный реактор, тем самым запуская атомную реакцию и бомбардируя нейтронами торий, в совокупности превращая его в уран, что увеличивает эффективность данной установки. Плюс такой технологии заключается в том, что для успешного запуска гибридных реакторов нам хватает накопленных знаний. А это значит, что строительство гибридных реакторов можно начинать в ближайшее время [5].

В заключение хочется сказать, что гибридные реакторы, как и реакторы на быстрых нейтронах, по мнению многих исследователей, помогут избежать энергетического кризиса. А что до мечты – построить термоядерные электростанции и обрести неисчерпаемый источник энергии, то и она непременно сбудется, а когда – это лишь вопрос времени. Тем не менее, разработка, строительство и запуск ИТЕР имеет большое значение в науке и энергетике, ведь именно эта установка послужит для проверки ряда теоретических концепций, результаты которых внесут огромный вклад не только в термоядерную энергетику, но и науку в целом.

## Литература

1. Акатов, А. А. Будущее ядерной энергетики. Термоядерные реакторы / А. А. Акатов, Ю. С. Коряковский. – М.: АНО «Информационный центр атомной отрасли», 2012. – 20 с.
2. Кристиансен, М. Введение в управляемый термоядерный синтез / М. Кристиансен, М. Хеглер. – М.: Мир, 1980. – 229 с.
3. Роуз, Дж. Физика плазмы и управляемые термоядерные реакции / Дж. Роуз, М. Кларк. – М.: Государственное издательство литературы по атомной науке и технике гос. комитета по использованию атомной энергии СССР, 1963. – 487 с.
4. ИТЕР: [сайт]. – URL: <https://www.iter.org/> (дата обращения: 16.04.2023). – Текст: электронный.
5. Рыжков, С. В. Системы альтернативной термоядерной энергетики / С. В. Рыжков, А. Ю. Чирков. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2018. – 194 с.

УДК 621.311.25:621.039.524.44

### **Оценка эффективности комбинирования АЭС с опреснительными установками**

Гариевский Михаил Васильевич, кандидат технических наук, научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Федеральный исследовательский центр «Саратовский научный центр

Российской академии наук», г. Саратов

*В последнее время значительный интерес исследователей вызывает разработка энергокомплекса на базе атомных электростанций для производства электроэнергии и опреснения морской воды. Для оценки эффективности комбинирования АЭС с ВВЭР с опреснительными установками предложен индекс термозкономической эффективности многопродуктовой АЭС, позволяющий определить, на производство каких продуктов более выгодно ориентироваться с учетом изменения цен на базовую и пиковую энергию и опресненную воду. Проведена экономическая оценка различных технологий опреснения на основе себестоимости опресненной воды и индекса термозкономической эффективности.*

В настоящее время снабжение пресной водой является серьезной проблемой в ряде регионов мира (на Ближнем Востоке, в Африке и Азии). Дефицит пресной воды в этих регионах неуклонно растет из-за роста населения и экономики, загрязнения пресноводных ресурсов и изменения климата. Для эффективного решения этой проблемы во многих странах строятся опреснительные установки для

крупномасштабного опреснения морской воды [1, 2]. Но процесс опреснения воды требует большого количества энергии. Эта энергия может быть получена от различных типов источников энергии, таких как электростанции на ископаемом топливе, возобновляемые (солнечные, ветряные и волновые) электростанции или АЭС. Однако использование ископаемого топлива приводит к значительным выбросам  $\text{CO}_2$ , а электростанции на возобновляемых источниках энергии зависят от погодных условий и имеют высокие капиталовложения.

Атомные электростанции, как известно, покрывают базовую часть графика электрической нагрузки. Эксплуатация АЭС в базовом режиме связана со стремлением обеспечить оптимальное значение такого важного экономического показателя, как коэффициент использования установленной мощности (КИУМ), поскольку доля топливных затрат в себестоимости кВт·ч у АЭС ниже, чем у угольных и газовых ТЭС, но их строительство обходится дороже. Ужесточение требований к эксплуатационной надёжности и ядерной безопасности АЭС приводят к еще большему увеличению капиталовложений.

При строительстве Россией АЭС по выигранным тендерам за рубежом (Бушерская АЭС в Иране, АЭС Аккую в Турции и др.) в связи с малой емкостью энергосистем сооружение таких АЭС неизменно будет вызывать снижение востребованного КИУМ ниже технически достижимого и экономически оптимального.

Одним из способов повышения эффективности АЭС и обеспечения ее участия в переменном режиме без снижения коэффициента использования установленной мощности является создание энергокомплексов с многопродуктовым производством: электроэнергии и опресненной воды [3-5]. Такой энергокомплекс на базе АЭС приведет к экономии ископаемого топлива, уменьшению выбросов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  и др. вредных ингредиентов, снижению затрат в энергосистеме за счет использования более дешевого в пересчете на условное топливо ядерного горючего [6].

В широком смысле используемые технологии опреснения воды делятся на две основные группы: термические и мембранные методы [7]. При термическом опреснении пресная вода получается в результате процесса фазового перехода, т. е. путем испарения и конденсации для отделения солей от воды, поэтому для этого метода требуется большое количество тепловой энергии. Разновидности термического опреснения: многоступенчатая мгновенная дистилляция (MSF – multi stage flash) и многоступенчатая дистилляция (MED – multi effect distillation). Основным мембранным методом опреснения, который используется в настоящее время, является обратный осмос (RO – reversed osmosis). Так, в 2012 г. из суммарной производительности

опреснительных установок в мире 74,8 млн м<sup>3</sup>/сутки 63 % приходилось на установки RO, 23 % на MSF, 8 % – MED, 6 % на остальные методы [8].

И термические, и мембранные методы имеют свои достоинства и недостатки. Недостатки термических методов: значительная металлоемкость и соответственно большие капитальные затраты, необходимость использования большого объема пара (для нагрева опресняемой воды); достоинства: возможность использовать избыточное тепло, высокое качество воды. Недостатки метода обратного осмоса: большие затраты электроэнергии для мощных насосов высокого давления, обеспечивающих продавливание воды через мембраны, необходимость периодически заменять поврежденные в процессе эксплуатации мембраны; достоинства: меньшие энергозатраты.

Эффективным способом повышения экономических показателей опреснительной установки является использование гибридных технологий опреснения, сочетающих преимущества термических и мембранных процессов опреснения [8]. Внедрение гибридного метода опреснения приводит к снижению забираемой исходной морской воды, меньшему удельному потреблению энергии, а также увеличивает срок службы мембран обратного осмоса, что приводит к снижению затрат. Кроме того, важным достоинством гибридных технологий является эффективная работа даже при значительных суточных и сезонных колебаниях потребности в электроэнергии и обессоленной воде.

Экономическая эффективность опреснительных установок на базе АЭС с ВВЭР определяется комплексом технико-экономических параметров: сроком строительства, капиталовложениями, эксплуатационными затратами, показателями безопасности, соотношением цен (в условном эквиваленте) на ядерное топливо и газ, ценами на базовую и пиковую энергию на оптовом рынке, а также продукцию многопродуктового энергокомплекса: электроэнергию и опресненную воду [9].

При оценке эффективности инвестиционных проектов как за рубежом, так и в РФ применяются следующие критерии: чистый дисконтированный доход (NPV), внутренняя норма доходности (IRR), срок окупаемости (PP), рентабельность (P), индекс доходности (PI), а также другие. В условиях широкой географии площадок АЭС российского дизайна и изменения цен на ядерное горючее, электроэнергию, опресненную воду и т. д. необходимо помимо общеизвестных критериев эффективности проекта создать критерии для управления многопродуктовыми комплексами на базе энергоблоков АЭС, т. к. для таких энергокомплексов характерны не только вариативные схемно-параметрические, но и меняющиеся экономические

характеристики: объемы поставляемой электроэнергии, цены на оптовом рынке электроэнергии и мощности, цена на опресненную воду. Для предварительной оценки эффективности возможно использовать индекс термoeкономической эффективности многопродуктовой АЭС, который будет показывать, на производство каких продуктов более выгодно ориентироваться (с вариативно возможным изменением схем) с учетом изменения соотношения указанных цен [10]. Этот коэффициент не заменяет известные показатели и представляет отношение валовой выручки от продажи продуктов и(или) решения других системных задач (числитель) к затратам на ядерное горючее:

$$\chi_{т.эк} = \frac{N_{баз} \cdot \tau_{баз} \cdot C_{баз}^{э/э} + N_{пик} \cdot \tau_{пик} \cdot C_{пик}^{э/э} + P_{дон} \cdot \tau_{баз} \cdot C_{дон}}{Q_p \cdot \tau_{АЭС} \cdot C_{я} / q_{я}}, \quad (1)$$

где  $N_{баз}$ ,  $N_{пик}$  – электрическая мощность энергокомплекса на базе АЭС в базовом и пиковых режимах, МВт;  $\tau_{баз}$ ,  $\tau_{пик}$  – время работы энергокомплекса в базовом и пиковых режимах, час;  $C_{баз}^{э/э}$ ,  $C_{пик}^{э/э}$  – цена на базовую и пиковую электроэнергию на оптовом рынке электроэнергии и мощности, руб./МВт·ч;  $P_{дон}$  – производство дополнительных продуктов (обессоленной воды) на многопродуктовом комплексе на базе энергоблоков АЭС, м<sup>3</sup>/ч;  $C_{дон}$  – отпускная цена на дополнительные продукты многопродуктового энергокомплекса руб./м<sup>3</sup>;  $Q_p$  – тепловая мощность реакторной установки, МВт(т);  $\tau_{АЭС}$  – время работы ректора, ч;  $C_{я}$  – стоимость ядерного топлива, руб./кг UO<sub>2</sub>;  $q_{я}$  – теплотворная способность ядерного топлива, МВт·ч/кг UO<sub>2</sub>.

Расчетная модель может учитывать капиталовложения и затраты в реконструкцию и дополнительные затраты во вспомогательное оборудование. При этом понятия дисконтированного дохода (ЧДД) и срока окупаемости зависят не только от первичных капиталовложений, но и от складывающегося соотношения цен на продукты, а также от функций, выполняемых энергоблоками в конкретной энергосистеме.

В табл. 1 приведены показатели различных технологий опреснения и результаты расчета технико-экономических показателей энергокомплекса АЭС с опреснительными установками. Принято, что опреснительная установка работает 8 часов в сутки, при этом АЭС разгружается по электрической энергии при неизменной мощности реактора. Цена на обессоленную воду принята 1,9 дол./м<sup>3</sup>, цена на дневную электроэнергию принята на 75 % выше ночной. При использовании гибридной технологии опреснения 2/3 воды производится методом обратного осмоса.



Таблица 1

## Результаты расчета эффективности АЭС с опреснительными установками

| Параметры                                                                  | RO     | MED    | MSF    | RO+MED | RO+MSF |
|----------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Капвложения в опреснительную установку, дол./( $\text{м}^3/\text{сут.}$ )  | 900    | 1300   | 1400   | 900    | 900    |
| Потребляемая тепловая энергия, ( $\text{кВт}\cdot\text{ч}$ )/ $\text{м}^3$ | 5      | 2      | 3,5    | 4      | 4,5    |
| Потребляемая электроэнергия, ( $\text{кВт}\cdot\text{ч}$ )/ $\text{м}^3$   | 0      | 50     | 60     | 16,7   | 20     |
| Мощность АЭС ночью, МВт                                                    | 937,5  | 931,3  | 896,3  | 933,3  | 923,8  |
| Мощность АЭС днем, МВт                                                     | 1000   | 1000   | 1000   | 1000   | 1000   |
| Производство обессоленной воды в сутки, тыс. $\text{м}^3/\text{сут.}$      | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    |
| Амортизационные отчисления, млн дол./год                                   | 6,923  | 10,000 | 10,769 | 6,923  | 6,923  |
| Расходы на тепловую и электроэнергию, млн дол./год                         | 7,500  | 14,700 | 27,300 | 9,300  | 13,200 |
| Эксплуатационные расходы, млн дол./год                                     | 6,300  | 3,600  | 3,600  | 5,400  | 5,700  |
| Общие ежегодные расходы, млн дол./год                                      | 20,723 | 28,300 | 41,669 | 21,623 | 25,823 |
| Себестоимость опресненной воды, дол./ $\text{м}^3$                         | 0,691  | 0,943  | 1,389  | 0,721  | 0,861  |
| Индекс термoeкономической эффективности                                    | 2,174  | 2,171  | 2,155  | 2,172  | 2,168  |

Таким образом, одним из способов повышения эффективности АЭС и обеспечения ее участия в переменном режиме без снижения коэффициента использования установленной мощности является создание энергокомплексов с многопродуктовым производством электроэнергии и опресненной воды. Согласно полученным результатам по минимуму себестоимости опресненной воды и максимуму индекса термoeкономической эффективности (табл. 1) наиболее эффективной технологией опреснения воды является метод обратного осмоса, а также гибридная технология на основе обратного осмоса и многоступенчатой дистилляции.

## Литература

1. Technology options and cost estimates of nuclear powered desalination in the United Arab Emirates / B. A. Khuwaileh, F. E. Alzaabi, B. Almomani [et al.] // Journal of Nuclear Science and Technology. – 2023. – V. 60 – No. 3. – Pp. 223-237.

2. О необходимости разработки двухцелевых атомных энерготехнологических комплексов для обеспечения электрической энергией и пресной водой засушливых территорий Ирана / С. Х. Газай, Х. Садеги, Е. А. Соколова [и др.] // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок. – 2020. – № 3(21). – С. 63-75.

3. Экономическая оценка процессов опреснения воды на энергоблоке № 1 Бушерской АЭС / K. Sadeghi, S. H. Ghazaie, Е. Д. Федорович [et al.] // Теплоэнергетика. – 2020. – No. 5. – С. 31-43.

4. Листопадов, И. Ю. Оценка эффективности инвестиций в ядерное опреснение морской воды / И. Ю. Листопадов, В. В. Харитонов // Атомная энергия. – 2021. – Т. 130. – № 3. – С. 174-179.
5. Кретов, М. Г. О возможности повышения эффективности АЭС в условиях потребности в опреснении морской воды / М. Г. Кретов, И. В. Лагсберман, А. Ю. Киселев // Энергетик. – 2016. – № 2. – С. 45-49.
6. Nuclear desalination: A state-of-the-art review / A. Al-Othman, N. N. Darwish, M. Qasim [et al.] // Desalination. – 2019. – V. 457. – Pp. 39-61.
7. Анализ методов и принципов работы установок для опреснения морской воды в Крымском регионе / В. В. Бирюк, Е. В. Благин, А. А. Горшкалев [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. Машиностроение. – 2016. – № 4(100). – С. 18-22.
8. New Technologies for Seawater Desalination Using Nuclear Energy // International Atomic Energy Agency. – 2015. – 176 p.
9. Desalinated Water Costs from Steam, Combined, and Nuclear Cogeneration Plants Using Power and Heat Allocation Methods / O. Zeitoun, J. Orfi, S. U.-D. Khan, H. Al-Ansary // Energies. – 2023. – V. 16. – No. 6. – P. 2752.
10. Хрусталеv, В. А. Внепиковое опреснение воды на базе отборного пара энергоблоков АЭС с ВВЭР / В. А. Хрусталеv, В. М. Сучков // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20. – № 3-4. – С. 23-35.

**Влияние различных режимов охлаждения после термообработки на морфологию и прочностные свойства поверхности стали ХН65МВУ**

<sup>1,2</sup> Гостев Сергей Дмитриевич, аспирант;

<sup>1</sup> Гоц Ирина Юрьевна, кандидат химических наук,

доцент кафедры «Материаловедение и биомедицинская инженерия»

<sup>1</sup> Институт машиностроения, материаловедения и транспорта

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения

высшего образования «Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов;

<sup>2</sup> Общество с ограниченной ответственностью «ТОСС», г. Саратов

*В статье рассматриваются вопросы влияния различных вариантов охлаждения после термической обработки на свойства поверхности коррозионно-стойкой, хромоникелевой нержавеющей стали марки ХН65МВУ. Были проведены замеры таких физических показателей поверхности, как микротвердость HV, пористость и величина зерна, и приведены некоторые зависимости данных параметров от методов охлаждения. Также был проведен микроструктурный анализ полученных образцов стали ХН65МВУ, что позволило наглядно увидеть сходства и различия в морфологии ее поверхности при использовании различных вариантов термообработки.*

Коррозионно-стойкие, нержавеющие стали используются в различных областях промышленности, где необходима высокая устойчивость металла к агрессивной среде, в том числе при достаточно высоких температурах. Области применения могут быть различны, например химическая промышленность, кораблестроение, стекольная промышленность и другие. Так ранее мы уже рассматривали возможность применения данных сталей в стекольной промышленности на примере сталей ХН77ТЮР и ХН65МВУ [1], было показано, что при взаимодействии стали ХН77ТЮР с различными электровакуумными стеклами начинается активная химическая реакция, что в итоге негативно влияет на качество получаемой стеклянной продукции. В свою очередь сталь ХН65МВУ (химический состав указан в табл. 1) показала более хороший результат, в связи с чем было решено провести ряд исследований по дальнейшему улучшению качества поверхности данной стали путем дополнительной термической обработки. Ранее мы также проводили исследования по изменению микротвердости поверхности у данной в зависимости от температуры отжига [2].

Таблица 1

## Химический состав стали ХН65МВУ

| Марка   | Ni    | Mo    | Cr     | W       | Mn      | Fe        | Si        | C          | P           | S           |
|---------|-------|-------|--------|---------|---------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|
| ХН65МВУ | 60-67 | 15-17 | 14 -16 | 3 - 4,5 | До<br>1 | До<br>0,5 | До<br>0,1 | До<br>0,02 | До<br>0,015 | До<br>0,012 |

В данном исследовании было решено рассмотреть изменения поверхности стали в зависимости от вида охлаждения при одинаковых температурно-временных режимах отжига. Основываясь на информации из источников [3-5], были выбраны 2 температурно-временных режима обработки: нагрев до 950 °С с выдержкой на данной температуре в течение 30 минут и нагрев до 1100 °С с выдержкой в течение 3 часов. Выбранные нами при этом режимы охлаждения указаны в табл. 2.

В качестве измеряемых параметров нами были выбраны микротвердость HV, измеряемая на микротвердомере HVS - 1000В., зернистость и пористость, измеряемые на анализаторе изображения микроструктур АГПМ - 6М с компьютерной программой «Металлограф», а также микроскоп биологический Биолам-И для визуального контроля полученных поверхностей.

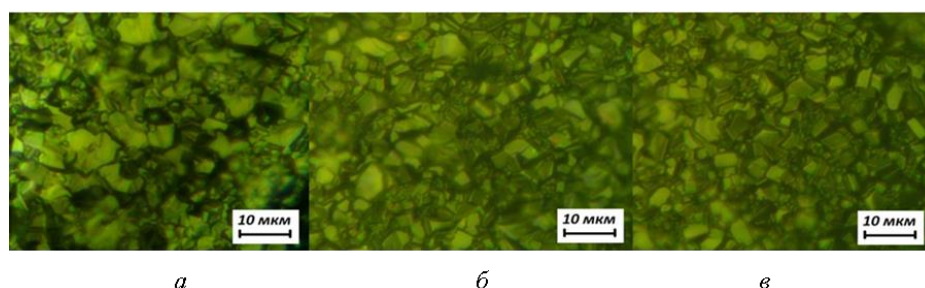
Таблица 2

Режимы термообработки стали ХН65МВУ, а также основные характеристики ее поверхности, после данных режимов обработки

| Режим обработки                       | Микротвердость,<br>HV | Величина зерна |          | Пористость,<br>дол. |
|---------------------------------------|-----------------------|----------------|----------|---------------------|
|                                       |                       | < 5мкм         | < 10 мкм |                     |
| Без обработки                         | 271                   | 75             | 25       | 0,43                |
| Полный отжиг<br>(950 °С - 30 минут)   | 326                   | 75             | 25       | 0,35                |
| Нормализация<br>(950 °С - 30 минут)   | 407                   | 75             | 25       | 0,42                |
| Закалка в воде<br>(950 °С - 30 минут) | 298                   | 20             | 80       | 0,43                |
| Полный отжиг<br>(1100 °С - 3 часа)    | 699                   | 70             | 30       | 0,52                |
| Нормализация<br>(1100 °С - 3 часа)    | 615                   | 15             | 85       | 0,51                |
| Закалка в воде<br>(1100 °С - 3 часа)  | 575                   | 35             | 65       | 0,46                |

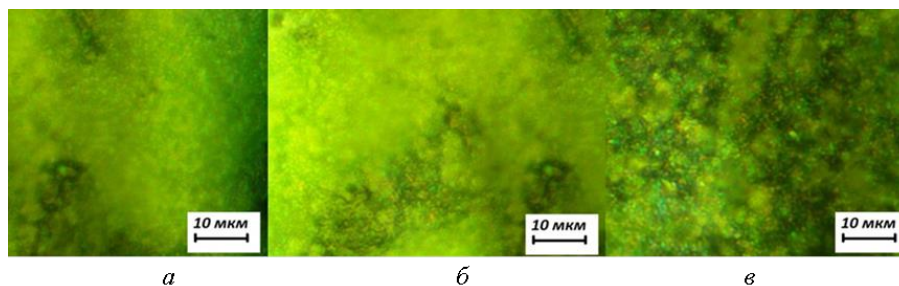
Как видно из проведенных измерений микротвердости HV поверхности стали ХН65МВУ, при увеличении температуры и длительности выдержки микротвердость значительно возрастает, причем независимо от применяемого вида охлаждения образца, что касается зернистости и пористости, то данные показатели также увеличиваются с

повышением температуры и длительности нагрева, что подтверждается теоретическими данными [6]. Если сравнивать между собой режимы охлаждения, то после закалки, независимо от температуры нагрева, микротвердость ниже, чем после нормализации или полного отжига. Что касается зернистости, то при низких температурах нагрева, после закалки, она резко возрастает, чего не наблюдается при высоких температурах. Также стоит отметить, что при низких температурах нагрева закалка дала сильное увеличение величины зерна по сравнению с необработанным образцом, в отличие от микротвердости, которая практически не изменилась, а после нормализации и полного отжига наоборот мы наблюдаем резкий рост микротвердости поверхности при неизменной зернистости.



*Рис. 1. Фотографии поверхности стали XH65MBU с увеличением  $X1000$ , после различных вариантов охлаждения при одинаковой термической обработке  $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$  с выдержкой в течение 3 часов:*

*а – плавное охлаждение на воздухе (полный отжиг); б – резкое охлаждение на воздухе (нормализация); в – резкое охлаждение в воде (закалка)*



*Рис. 2. Фотографии поверхности стали XH65MBU с увеличением  $X1000$ , после различных вариантов охлаждения при одинаковой термической обработке  $950\text{ }^{\circ}\text{C}$  с выдержкой в течение 30 минут:*

*а – плавное охлаждение на воздухе (полный отжиг); б – резкое охлаждение на воздухе (нормализация); в – резкое охлаждение в воде (закалка)*

Визуально полученные после различных температур нагрева образцы значительно отличались между собой, если после нагрева до  $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$  все образцы имели ровную матовую серого цвета поверхность, то образцы после нагрева до  $950\text{ }^{\circ}\text{C}$  на поверхности имели хрупкую окисную пленку зеленого цвета, покрывающую до 80 % поверхности образцов. По нашим предположениям, данная пленка не что иное, как

оксид хрома ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) [7].

Рассмотрев полученные образцы под микроскопом при увеличении в X1000 (рис. 1, 2) и сравнив изображения с фотографиями структур из специализированного атласа [8], было определено, что поверхность образцов, нагретых до 1100 °С, имеет схожую между собой феррито-перлитную структуру. При этом структура поверхности образцов из-за наличия окисной пленки под микроскопом не просматривалась.

Выводы.

В работе были рассмотрены вопросы изменения физических характеристик поверхности коррозионностойкой стали марки ХН65МВУ после таких режимов термообработки, как полный отжиг, нормализация и закалка. Показано, что с увеличением температуры и длительности обработки измеренные нами контрольные параметры (микротвердость HV, пористость, зернистость) увеличиваются, также показано, что на одних и тех же температурно-временных режимах охлаждение образца путем закалки в воде дает наименьшую микротвердость поверхности. Также показано, что независимо от метода охлаждения, структура поверхности стали ХН65МВУ имеет схожую структуру, а значительное влияние на нее оказывают только температура и длительность термической обработки.

### Литература

1. Взаимодействие коррозионностойких сталей марок ХН65МВУ и ХН77ТЮР с электровакуумными стеклами С93-3 и С93-3М / под ред. А. Р. Халикова // Сборник материалов X Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современной науки». – Уфа: Изд-во ООО «Научно-издательский центр «Вестник науки», 2023. – 267 с.
2. Гостев, С. Д. Влияние различных режимов отжига на поверхность коррозионностойких, хромоникелевых сталей на примере сталей ХН65МВУ и ХН77ТЮР / С. Д. Гостев, А. Р. Давыдова // Сборник статей III Международной научно-практической конференции «Наука молодых – наука будущего». – Петрозаводск: Изд-во «Новая наука», 2023. – 317 с.
3. Теплухин, Г. Н. Металловедение и термическая обработка: учебное пособие / Г. Н. Теплухин, А. В. Гропянов. – СПб: СПбГТУ РП, 2011. – 169 с.
4. Морозов, Н. П. Термическая обработка стальных деталей машин, инструментов и отливок / Н. П. Морозов, В. В. Уваров, В. С. Уварова. – Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет им. С. П. Королева, 1995. – 132 с.

5. Машиностроение. Энциклопедия. Стали. Чугуны / В. В. Мухин, Г. Г. Беляков, А. И. Александров [и др.]. – М.: Изд-во Машиностроение, 2001. – 784 с.

6. Борздыка, А. М. Термическая обработка жаропрочных сталей и сплавов / А. М. Борздыка, В. З. Цейтлин. – Москва: Изд-во Машиностроение, 1964. – 247 с.

7. Кожина, Л. Ф. Хром и его соединения: учебно-методическое пособие для студентов направления подготовки «Педагогическое образование» профиль «Химия» / Л. Ф. Кожина. – Саратов: Электронный ресурс, 2017. – 48 с.

8. Атлас микроструктур черных и цветных металлов: учебное наглядное пособие / А. А. Андрушевич, А. Г. Анисович, Т. К. Романова [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2012. – 100 с.

УДК 621.565

### **Базовые характеристики пластинчатых теплообменных аппаратов.**

#### **Краткий обзор. Направления совершенствования для целей теплоснабжения**

Докучаев Георгий Сергеевич, студент направления

«Теплоэнергетика и теплотехника»;

Устинов Николай Андреевич, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Атомная энергетика»

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

*Рассмотрены результаты литературного обзора по основным конструкциям, характеристикам, конструктивным размерам основных элементов пластинчатых теплообменных аппаратов. Рассмотрены области их применения, преимущества и недостатки по сравнению с прочими типами теплообменной аппаратуры. Выбран метод повышения надежности аппарата при эксплуатации с теплоносителями с разным давлением среды за счет создания жесткой конструкции пакета теплообменных пластин путем использования сфероидальных сегментов. Намечен план работ, по оценке эффективности предполагаемого решения.*

Пластинчатые теплообменные аппараты в различных отраслях принимают разное применение. К примеру, на некоторых предприятиях нефтяной промышленности они занимают до 50 % среди общего значения теплообменных аппаратов. Среди всей теплообменной аппаратуры являются самыми высокоэффективными с точки зрения теплопереноса и, несмотря на некоторые

недостатки, широко применяются в ряде отраслей: пищевой и химической промышленности, системах нагрева технических и пищевых жидкостей, охлаждении промышленного оборудования, для подключения зданий к сетям централизованного отопления и охлаждения. Особенно широко используются в нефтяной и пищевой промышленности, поскольку они компактны и могут быть изготовлены в различных видах и легко чистятся [1].

Конструктивно представляют собой набор пластин различной формы, составленных на некотором расстоянии друг от друга. Величина зазора определяется толщиной разделяющей уплотняющей прокладки. По исполнению выполняются разборными, сварными и полуразборными – в зависимости от того, для работы с какой жидкостью их используют.

Разборные теплообменники имеют возможность полной разборки агрегата и позволяют не заменять его целиком в случаях протечек, а быстро выявить нерабочие элементы, поменять их и вновь запустить теплообменник в эксплуатацию, кроме того легко увеличить тепловую производительность такого теплообменного аппарата, добавляя или убирая необходимое число пластин. При смене теплоносителя с другой вязкостью можно изменить схему движения теплоносителя для обеспечения допустимого гидравлического сопротивления.

Недостатки разборных пластинчатых теплообменников:

Разборный пластинчатый теплообменник имеет межпластинчатые уплотнения, применение которых накладывает некоторые ограничения на применение данных аппаратов:

Ограничение температур и давлений рабочих сред.

Невозможность применения некоторых рабочих сред, активных относительно материалов уплотнений.

Необходимо постоянное наблюдение за работой аппаратов с целью своевременного выявления протечек через уплотнения.

Серийно выпускаемые разборные пластинчатые теплообменники могут работать с загрязненными рабочими средами при размере твердых включений не более 4 мм.

Полусварной пластинчатый теплообменник используется, когда один из теплоносителей имеет высокое давление или температуру или является опасным веществом. Данное вещество протекает по каналам, образованным сваренными между собой пластинами. Необходимо, чтобы это вещество не оставляло загрязнений, удаление которых потребовало бы разборки теплообменника. Отсутствие резиновых прокладок в сварных модулях, как элементов наиболее подверженных разрушению при



работе в агрессивных условиях, гарантирует герметичность контура. Материалы пластин аналогичны материалам разборных теплообменников – нержавеющие стали, титан и др. В остальном полусварной пластинчатый теплообменник по конструкции повторяет разборный.

Неразборные теплообменники это одни из самых надежных, эффективных, которые к тому же имеют компактные размеры. Данный тип теплообменных аппаратов успешно используют для работы с экстремально высокими температурами и давлением, а также применяют в работе с высоковязкими средами, которые разрушают резиновые уплотнители. Такие теплообменники не имеют открытых прокладок, это цельносварной пластинчатый теплообменник, который используется прежде всего в нефтегазовой, химической и нефтехимической промышленности. За счёт этого нагрузки в нём могут быть выше других [1, 2].

Существенным недостатком неразборного теплообменного аппарата является невозможность изменения тепловой нагрузки в широком диапазоне из-за невозможности добавления-устранения теплообменных пластин. Невозможна замена теплоносителя на более вязкий из-за возможного существенного возрастания гидравлического сопротивления. При этом в эксплуатации являются самыми простыми, так как отсутствуют уплотнительные элементы и нет необходимости постоянного контроля. Практически являются необслуживаемыми в длительном отрезке эксплуатации.

Конструктивными характеристиками являются суммарная поверхность теплообменного аппарата от 1 до 800 м<sup>2</sup>. Площадь одиночной пластины может составлять от 0,2 до 1,3 м<sup>2</sup>. Поверхность пластин может быть плоской или волнистой в виде «елочки», также существуют множество ребристых. Зазор между пластинами выбирается от 2 мм и до 5 мм. Толщина пластин зависит от материала и давления в аппарате и составляет от 0,4 до 1 мм [3, 4].

Эксплуатационными параметрами являются температура используемых теплоносителей от минус 70 до плюс 200 °С, избыточное давление не ниже 0,02 бар и до 24.5 бар, скорость движения теплоносителей между пластинами 1 - 3 м/с и переходных штуцерах 1м/с При необходимости изменения скорости для получения необходимой интенсивности теплообмена и гидравлического сопротивления

реализуются различные схемы организации движения, например,  $c \times \frac{5+5+5}{6+5+5}$ , что

означает: над чертой – число каналов в каждом ходе для нагревающей среды, под чертой – то же для нагреваемой среды [5, 6].

Главной технической характеристикой является тепловая нагрузка, которая для одиночного теплообменного аппарата достигает в существующих конструкциях, выпускаемых серийно, 900 кВт. Коэффициент теплопередачи достигает значений от 6 000 до 8 000 Вт/(м<sup>2</sup>\*°C).

Самым большим преимуществом пластинчатых теплообменников по сравнению с другими теплообменниками является их эффективность теплопередачи. Пластины, разделяющие две жидкости, тоньше по сравнению с другими теплообменными поверхностями. Это увеличивает скорость передачи тепла и таким образом снижает тепловые потери, которые могут возникнуть во время передачи [1].

Но вместе с тем у них имеются недостатки перед другими типами. При некачественном теплоносителе они могут относительно быстро снизить свою производительность. Происходит это из-за быстрого загрязнения внутренних поверхностей теплообменника [7].

Патентные исследования по теме совершенствования пластинчатых теплообменных аппаратов показали, что в кожухотрубчатых теплообменных аппаратах трубы можно заменить дисками, оставив при этом корпус, как например, в патенте на полезную модель: ПМ № 121914. В свою очередь в патенте RU №2696666 демонстрируется способ полностью сварных теплопередающих пластин. Благодаря этому можно полностью избежать резиновых прокладок между теплопередающими пластинами. Это делает теплообменник пригодным для работы с широким спектром агрессивных текучих сред при высоких температурах и при высоких давлениях [8].

Применительно к планируемым исследованиям можно сделать следующие выводы:

1. Ресурсосбережения в коммунальном хозяйстве можно достичь преобразованием кожухотрубчатых аппаратов в кожухопластинчатые с пластинами, выполненными в виде дисков. При условии, что остаточное состояние кожуха может обеспечить работу с давлением среды, с которой предполагается использовать данный аппарат.

2. Необходимо разработать мероприятия по увеличению жесткости пакета пластин, нагруженных разным давлением со стороны теплоносителей, например, за счет дистанцирования между пластинами с помощью сфероидальных выступов, выдавленных на пластинах.

Для предварительной оценки перспективности предложенной конструкции пластинчатого теплообменного аппарата необходимо выполнить следующие расчетные исследования, базирующиеся на известных методиках:

1. Определить, как взаимосвязаны между собой площадь поверхности аппарата на единицу его длины и гидравлическое сопротивление в зависимости от толщины применяемых пластин и расстояния между ними по условиям существующих конструкций.

2. Разработать методику определения расчетной скорости движения теплоносителей между соседними пластинами для вычисления гидравлического сопротивления и коэффициента теплоотдачи между теплоносителями и пластинами.

3. Установить зависимость между увеличением теплообменной поверхности и увеличением гидравлического сопротивления из-за уменьшения проходного сечения плоских каналов между пластинами от размера и числа сфероидальных сегментов.

4. Оценить значение коэффициента теплоотдачи на сфероидальном сегменте из представления каждого сегмента набором поперечно обтекаемых цилиндров бесконечно малой длины.

5. Выполнить модель предполагаемого кожухопластинчатого аппарата и провести на нем лабораторные исследования теплопередачи и гидравлического сопротивления.

Комплекс данных работ предполагается выполнить в рамках выпускной квалификационной работы по направлению «Теплоэнергетика».

#### Литература

1. Электронная библиотека: [сайт]. – URL: <https://vc.ru/u/787088-koroli-vody-i-para/242567-cto-takoe-plastinchatye-teploobmenniki> (дата обращения: 15.04.2023). – Текст: электронный.

2. Электронная библиотека: [сайт]. – URL: <https://proteplo.org/blog/plastinchatiy-teploobmennik> (дата обращения: 15.04.2023). – Текст: электронный.

3. Электронная библиотека: [сайт]. – URL: <https://www.freelancejob.ru/upload/262/75067763589322.pdf> (дата обращения: 16.04.2023). – Текст: электронный.

4. Электронная библиотека: [сайт]. – URL: <https://www.holcom.ru/plastinchatye-teploobmenniki> (дата обращения: 16.04.2023). – Текст: электронный.

5. Электронная библиотека: [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200021721> (дата обращения: 16.04.2023). – Текст: электронный.

6. Электронная библиотека: [сайт]. – URL: [https://portal.tpu.ru/SHARED/l/LBA/learning/ingenering/Tab/Lecture\\_08.pdf](https://portal.tpu.ru/SHARED/l/LBA/learning/ingenering/Tab/Lecture_08.pdf) (дата обращения: 17.04.2023). – Текст: электронный.

7. Электронная библиотека: [сайт]. – URL: <https://teploobmen.ru/blog/preimushchestva-i-nedostatki-plastinchatykh-teploobmennikov/> (дата обращения: 17.04.2023). – Текст: электронный.

8. Федеральный институт промышленной собственности: [сайт]. – URL: <https://www1.fips.ru/iiss/> (дата обращения: 17.04.2023). – Текст: электронный.

УДК 62-3

### **Анализ возможности применения топологической оптимизации при проектировании**

Дьяконова Валерия Александровна, студент специальности

«Проектирование технологических машин и комплексов»;

Осипова Наталья Валерьевна, студент специальности

«Проектирование технологических машин и комплексов»;

Токарев Артем Сергеевич, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Технология машиностроения»

Трёхгорный технологический институт – филиал федерального государственного  
автономного образовательного учреждения высшего образования

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

*Значительную часть искусственной окружающей среды составляют конструкции различного назначения. При разработке многих из них предъявляются требования достаточной прочности и жёсткости при минимуме массы. Аддитивные технологии открывают большие возможности при проектировании и изготовлении изделий, позволяя реализовать идеи топологической оптимизации. Настоящая работа посвящена выявлению оптимальных сторон топологической оптимизации и исследованию возможности повышения экономической эффективности производства изделия за счет использования топологической оптимизации.*

На сегодняшний день в связи с бурным развитием аддитивных технологий стали доступны практически неограниченные по сложности формы деталей. Поэтому можно сказать, что ситуация в корне изменилась: теперь задача инженеров-конструкторов состоит в том, чтобы проектировать на уровне как можно более близком к

оптимальному. Ключевой технологией синтеза оптимальных конструкций, гармонично дополняющей методы 3D-печати, является топологическая оптимизация.

Гипотеза: предполагается, что при уменьшении массы и максимальных напряжений изделия «Рычаг передней подвески автомобиля MAZDA CX-7» с применением топологической оптимизации характеристики изделия улучшатся.

Цель исследования – повышение экономической эффективности производства детали «Рычаг передней подвески автомобиля MAZDA CX-7» за счет использования топологической оптимизации.

Определены следующие задачи:

- анализ литературы данной тематики;
- выявление оптимальных сторон топологической оптимизации;
- выбор и моделирование детали для дальнейших конструктивных изменений и оптимизации в инженерной программе;
- проведение необходимого анализа детали в программе Autodesk Inventor Professional до и после топологической оптимизации, чтобы определить основные параметры изделия и сделать выводы о возможности его дальнейшего применения;
- формулирование вывода по проделанной работе.

Значительную часть искусственной окружающей среды составляют конструкции различного назначения. При разработке многих из них предъявляются требования достаточной прочности и жёсткости при минимуме массы.

Совсем недавно появился принципиально новый метод создания конструкций – аддитивные технологии. Возможности этого метода и отдельных направлений его развития многообразны и обещают большой технический эффект. Метод позволяет изготавливать конструкции из различных материалов: полимеров, металлов, керамики и всевозможных комбинаций из них [1]. Стало возможным производство конструкций с внутренними полостями, стержневыми структурами внутри оболочек и т. д.

Одно из направлений оптимизации конструкций – топологическая оптимизация. Топологическая оптимизация – это метод проектирования изделий, направленный на повышение прочностных характеристик при уменьшении массы изделия [2].

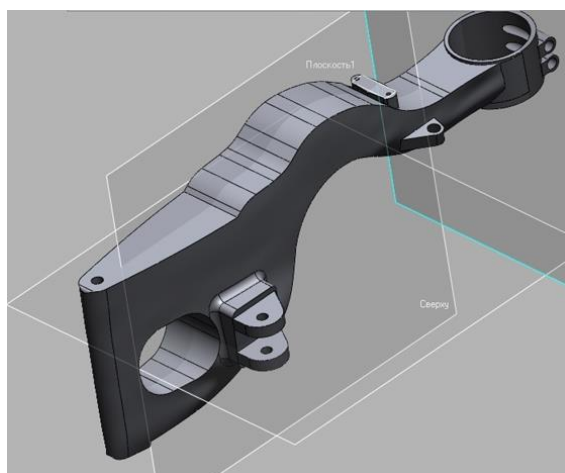
Топологическая оптимизация модифицирует геометрию модели, сохраняя ту часть изделия, которая работает и несет нагрузку, не оставляя ничего лишнего [1]. Также она помогает найти вариант дизайна конструкции с наиболее рациональным распределением материала и пустот в объёме и, таким образом, заметно снизить его массу.

В связи с нынешним положением в мире актуальность импортозамещения растёт с каждым днем. Из-за сложности с поставками и возможностью дальнейшего сотрудничества с другими странами встает вопрос замены иностранных деталей, узлов и машин на отечественную продукцию. В работе представлено возможное развитие, усовершенствование и снижение стоимости такой детали «Рычаг передней подвески автомобиля MAZDA CX-7».

Процесс топологической оптимизации.

Первый этап состоит в подготовке модели: необходимо создать 3D-модель по готовым чертежам.

На рис. 1 представлена 3D-модель детали «Рычаг передней подвески автомобиля MAZDA CX-7», разработанная в программе Autodesk Inventor Professional, с которой мы в дальнейшем и работали.



*Рис. 1. 3D-модель детали «Рычаг передней подвески автомобиля MAZDA CX-7»*

Следующий этап начинается с выбора области, в рамках которой оптимизатор проводит поиск. Самым лучшим вариантом является указание в качестве этой области на весь свободный объём. Одним из наиболее значимых факторов при выборе области для оптимизации является учёт взаимодействия детали в сборке: выбираем нагрузку, распределение сил, защемление, моменты.

После указания области для оптимизации, в рамках которой программа будет искать результат, важно также определить те области, которые точно нужно сохранить. Это участки, через которые компоненты контактируют друг с другом, или части, без которых нормальное функционирование детали невозможно.

Далее необходимо сделать анализ напряжений: он показывает, в каком диапазоне можно работать и где наиболее нагруженные области. Анализ напряжений и коэффициента запаса прочности исходной детали представлен на рис. 2.

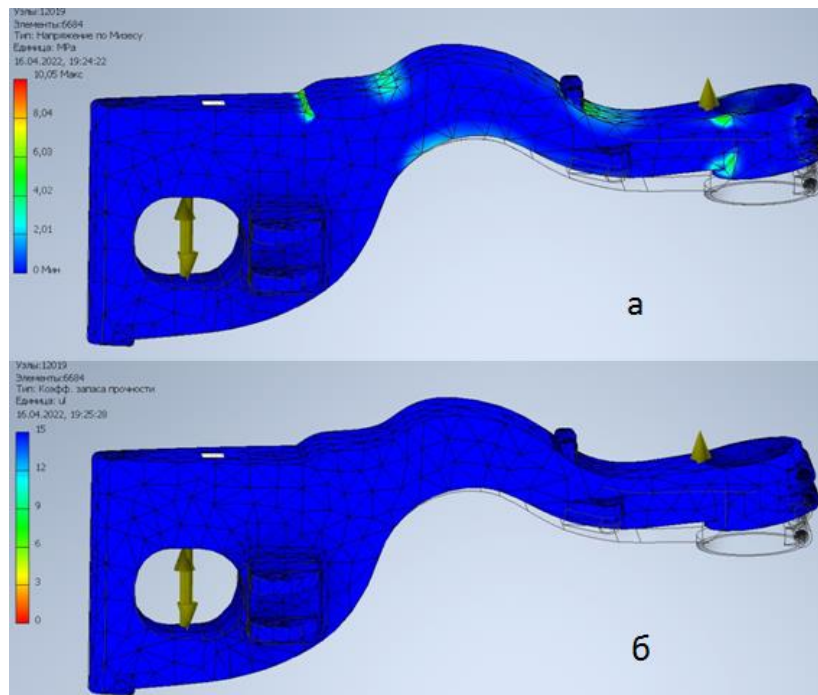


Рис. 2. Анализ исходной детали:  
а – напряжение; б – коэффициент запаса прочности

Далее была произведена топологическая оптимизация и рассчитан анализ напряжений и коэффициент запаса прочности, который представлен на рис. 3.

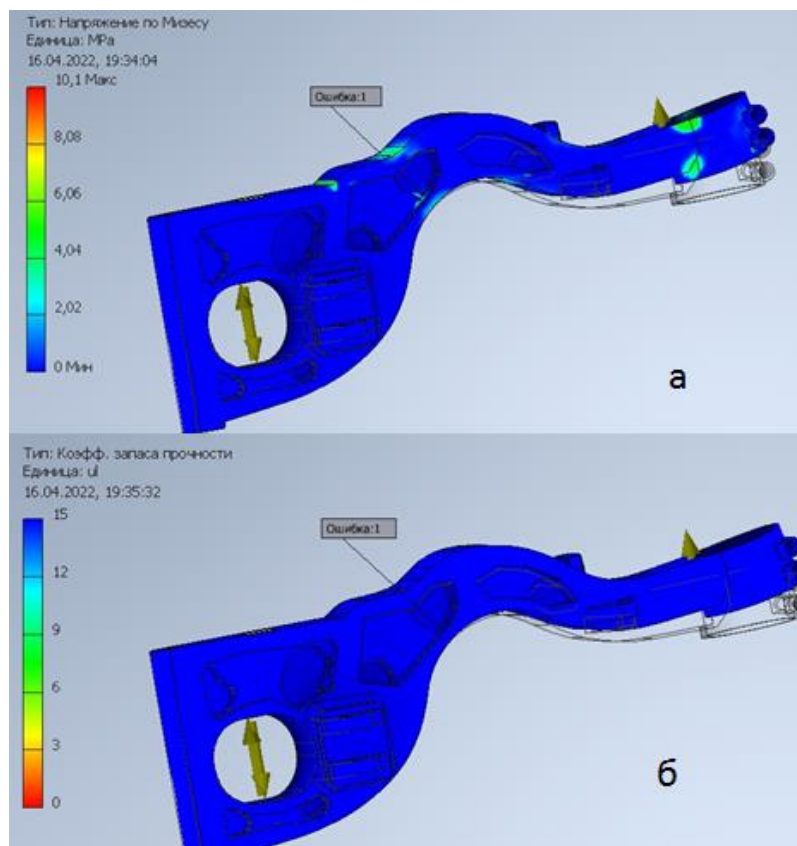


Рис. 3. Анализ оптимизированной детали:  
а – напряжение; б – коэффициент запаса прочности

Проведенный анализ напряжений показал, на сколько уменьшилась исходная масса детали «Рычаг передней подвески автомобиля MAZDA CX-7» в ходе данных преобразований, что составило около 18 - 20 %. В ходе топологической оптимизации жесткость детали также повысилась, так как были усилены необходимые участки и облегчены те участки, что не несли особой нагруженности по сравнению с другими элементами.

Это показывает и коэффициент запаса прочности, на оптимизированной детали он равномерно распределен на поверхности, в то время как на исходном варианте выделены наиболее нагруженные области. Что касается максимального напряжения, в исходном случае оно составляло 2,08 МПа, в полученном варианте – 2,02 МПа, что показывает минимальные изменения.

Таблица 1 сравнивает массу и максимальное напряжение исходной и оптимизированной детали «Рычаг передней подвески автомобиля MAZDA CX-7».

Таблица 1

| Сводная таблица                |                 |                         |
|--------------------------------|-----------------|-------------------------|
|                                | Исходная деталь | Оптимизированная деталь |
| Максимальное напряжение, (МПа) | 2,08            | 2,02                    |
| Масса, (кг)                    | 5,47            | 4,48                    |

Деталь «Рычаг передней подвески автомобиля MAZDA CX-7» изготавливается из стали 30ХГСА, которая была заменена аналогом – металлическим порошком марки 316L. Ниже в табл. 2 приведены основные характеристики двух материалов.

Таблица 2

Сравнительных характеристика материалов

| Параметры                  | 30ХГСА                                                                                              | 316L                                                            |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| ГОСТ                       | ГОСТ 4543-2016<br>Металлопродукция из<br>конструкционной легированной<br>стали. Технические условия | ГОСТ 13084-88<br>Порошки высоколегированных<br>сталей и сплавов |
| Твердость НВ,<br>нее более | 229 МПа                                                                                             | Твердость по Виккерсу (HV10):<br>233<br>Твердость Бринеллю 165  |
| Термообработка:            | Закалка 880 °С, Среда<br>охлаждения: масло, Отпуск<br>540 °С, Среда охлаждения: вода                | Охлаждение на открытом<br>воздухе                               |



|                                                                                     |                                                                                                                                       |                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Состав:                                                                             | C = 0,28 - 0,34<br>Si = 0,9 - 1,2<br>Mn = 0,8 - 1,1<br>Ni до 0,3<br>S до 0,025<br>P до 0,025<br>Cr = 0,8 - 1,1<br>Cu до 0,3<br>Fe ~96 | C < 0,03<br>Si < 1<br>Mn < 2<br>Ni 10 – 14<br>S < 0,03<br>P < 0,045<br>Mo 2-3<br>Fe основа |
| $\sigma_b$ - временное сопротивление разрыву (предел прочности при растяжении), МПа | 1080                                                                                                                                  | $\geq 600$                                                                                 |
| предел текучести $\sigma_T$                                                         | 835 Н/мм <sup>2</sup>                                                                                                                 | 550 ± 50 МПа                                                                               |
| Относительное удлинение, $\delta$                                                   | 10%                                                                                                                                   | $\geq 35$ %                                                                                |
| Относительное сужение, $\psi$                                                       | 45%                                                                                                                                   | 59 %                                                                                       |
| Ударная вязкость КСЧ                                                                | 49 Дж/см <sup>2</sup>                                                                                                                 |                                                                                            |
| Плотность                                                                           |                                                                                                                                       | $\geq 7,9$ г/см <sup>3</sup>                                                               |

В ходе сравнительного анализа двух материалов можно сделать следующие выводы. Согласно табл. 2, твердость стали 30 ХГСА выше, но путем термической обработки показатели материала 316L могут быть значительно улучшены, при этом сталь 316L не нуждается в дополнительных охлаждающих жидкостях. По составу два материала схожи. Различия в содержании каждого элемента незначительны. Так свойства сохраняются.

Сталь 316L выигрывает в относительном удлинении и сужении, но проигрывает по временному сопротивлению разрыву стали 30 ХГСА. Показатели предела прочности сравнимо схожи у двух материалов.

Изготовление продукции.

В табл. 3 представлены экономические составляющие производства.

Таблица 3

#### Экономические составляющие производства

| Цена расходного материала, р | Цена за 1 г расходного материала, р | Расход электричества, р | Аренда помещения, р | Амортизация, р | ТО, р |
|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|---------------------|----------------|-------|
| 18000                        | 8                                   | 125                     | 650                 | 1570           | 262,5 |

Так полная себестоимость товара, исходя из формулы 1, будет составлять:

$$\text{ПСТ} = \text{ПФ} + \text{Э} + \text{Сбр} + \text{А} + \text{НР} \quad (1)$$

где: ПСТ – полная себестоимость товара; ПФ – полуфабрикаты, которые были использованы во время его изготовления; Э – энергетические ресурсы; Сбр – бытовые расходы; А – амортизация; НР – накладные расходы.

Полуфабрикаты, которые были использованы во время его изготовления, высчитаем по формуле 2:

$$\text{ПФ} = m \cdot \text{Ц} \cdot 1000 \quad (2)$$

где  $m$  – масса изделия, кг; Ц – цена за 1 г расходного материала, р.

$$\text{ПФ} = 9000 \cdot 2 = 18000 \text{ р.}$$

Энергетический ресурс рассчитывается по формуле 3:

$$\text{Э} = \text{Ст} \cdot t \quad (3)$$

где Ст – стоимость кВт/ч;  $t$  – время, которое уйдет на изготовление одной детали.

$$\text{Э} = 5 \cdot 25 = 125 \text{ р.}$$

Затраты на аренду помещения были рассчитаны по формуле 4.

$$\text{Сбр} = \frac{\frac{\text{СП}}{\text{РЧ}} \cdot t}{2} \quad (4)$$

где СП – стоимость помещения, р/мес; РЧ – рабочие часы.

$$\text{Сбр} = \frac{\frac{10000}{192} \cdot 25}{2} = 650$$

Амортизацию высчитаем по формуле 5.

$$\text{А} = \frac{\text{С}}{\text{К}} \quad (5)$$

где С – стоимость оборудования, р; К – Количество сделанных моделей без серьёзной поломки.

$$\text{А} = \frac{15700000}{10000} = 1570$$

$$18000 + 125 + 650 + 1570 + 262,5 = 20\,607,5.$$

Так, без учета трудового фактора (инженера, оператора оборудование и т. д.) стоимость готового изделия составит примерно 20 607,5 р. Оригинальная продукция обходиться в 23 000 р.

Изучение и применение форм и принципов природы имеет значение как с инженерной стороны, так и с эстетической. Природные системы являются примером конструкций, которые гармонично функционируют на основе принципов обеспечения оптимальной надежности, создания оптимальной формы при экономии энергии и материалов. Использование принципов закона минимума способствует созданию

функционально и эстетически полноценных изделий для разных отраслей промышленности.

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

- были изучены необходимые материалы и разработаны варианты оптимизации изделия;
- были выявлены области, которые можно облегчить и которые требуют добавления массы для дополнительного усиления;
- смоделирован вариант топологической оптимизации для изделия «Рычаг передней подвески автомобиля MAZDA CX-7»;
- были рассмотрены изменения основных характеристик и улучшение свойств изделия, затрат материала на его изготовления;
- проведен экономический расчет.

В данной работе рассмотрена возможность изготовления продукции при использовании аддитивных технологий. В нынешних условиях импортозамещения рассматриваются способы замены имеющейся зарубежной продукции на аналогичную и не теряющую основных свойств и качества – отечественную. Так, был представлен один из возможных способов изготовления аналогов зарубежной продукции для конкретной детали «Рычаг передней подвески автомобиля MAZDA CX-7».

В данной работе было рассмотрено применение топологической оптимизации области машиностроения. Поставленная в начале работы цель была достигнута, задачи выполнены.

Когда-то новая, а на сегодняшний день одна из быстроразвивающихся отраслей – аддитивное производство – позволяет нам создавать и реализовывать на практике без особых трудностей все более сложный, но при этом экономически и металлоемки конструкции [3]. Данная отрасль промышленности открывает перед нами всё большие возможности и способы реализации креативных идей. Это одно из тех направлений, за которым стоит будущее развитие в мире.

#### Литература

1. Кравченко, Е. Г. Аддитивные технологии в машиностроении: учебное пособие / Е. Г. Кравченко, А. С. Верещагина, В. Ю. Верещагин. – Комсомольск-на-Амуре: КНАГУ, 2018. – 140 с.
2. Тарасова, Т. В. Возможности технологий аддитивного производства для изготовления машиностроительной продукции различного назначения / Т. В. Тарасова, А. А. Филатова. – М.: ВИАМ, 2016. – С. 32.

3. Bendsoe, M. P. Topology Optimization: Theory, Methods and Applications / M. P. Bendsoe, O. Sigmund. – New York: Springer, 2003. – P. 271.

УДК 004.01

**Аналитический обзор языков программирования микроконтроллеров,  
применяемых в системах управления**

Ефремова Татьяна Александровна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Атомная энергетика»;

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

*Современная промышленная автоматизация невозможна без использования микроконтроллеров. В статье рассматривается реализация интерфейсов с применением микроконтроллеров для различных датчиков и исполнительных механизмов. Проводится классификация и анализ программ-трансляторов языков программирования. Обзор сред для программирования микроконтроллеров.*

Одним из примеров использования микроконтроллеров в промышленной автоматизации являются системы управления производственными линиями. С помощью микроконтроллеров можно контролировать процессы на линии, измерять параметры продукции и принимать решения по изменению настроек оборудования.

В целом использование микроконтроллеров в промышленной автоматизации является неотъемлемой частью современных технологий. Быстрое развитие микроконтроллеров и их специализированной периферии позволяет создавать все более сложные и эффективные системы управления.

Программирование микроконтроллеров – это сложный процесс, который прошел большой путь развития. Сначала программирование велось в машинных кодах, но сейчас существуют современные интегрированные системы написания программ, отладки и программирования микроконтроллеров. Важно знать, какой язык программирования выбрать для своего проекта. На сегодняшний день наиболее популярными языками программирования для микроконтроллеров являются С, С++ и

Assembly. Каждый из этих языков имеет свои преимущества и недостатки, и выбор зависит от конкретных требований проекта.

Языки программирования могут быть разделены на две основные группы: «высокого» и «низкого» уровня. Языки программирования «низкого» уровня отличаются тем, что каждый оператор имеет только одну машинную команду, и набор машинных команд зависит от конкретного процессора. Эти языки программирования называются ассемблерами, и для каждого процессора есть своя группа ассемблеров. Кроме того, ассемблеры для одного и того же процессора могут отличаться дополнительными возможностями, которые облегчают программирование.

Для увеличения производительности труда программистов можно использовать языки программирования «высокого» уровня, которые позволяют заменять один оператор на несколько машинных команд. Кроме того, такие языки позволяют разработать программы, которые могут работать на различных микроконтроллерах. Наиболее распространенными языками программирования высокого уровня являются Си и PLM. Однако выбор языка программирования зависит от состава аппаратуры, на которой будет работать программа, и требуемого быстродействия программно-аппаратного комплекса в целом [1].

Альтернативы ассемблеру не существует в тех случаях, когда объём оперативной и постоянной памяти невелик (в районе нескольких килобайт). Именно на этих языках программирования можно получить самый короткий и быстродействующий код программы (при прочих равных условиях). Для микроконтроллерных систем, где объём памяти программ несколько десятков килобайт, выбор языка программирования высокого уровня может привести к значительному увеличению размера программы, хотя такие языки позволяют сократить время создания программы.

Трансляция исходного текста языка программирования в машинные коды микроконтроллера – это процесс преобразования операторов. В настоящее время ручная трансляция программ практически не применяется, вместо этого используются специальные программы-трансляторы. Классификация таких программ приведена на рис. 1. Компиляторы и интерпретаторы – два главных класса программ-трансляторов. При использовании компиляторов весь исходный текст программы преобразуется в машинные коды, которые записываются в память микроконтроллера.

Исходный текст программы записывается в память микроконтроллера при использовании интерпретатора, а трансляция происходит при считывании очередного

оператора из памяти. Использование интерпретаторов замедляет процесс по сравнению с компиляторами, так как трансляция оператора в цикле происходит многократно.

Выигрыш от использования интерпретатора возможен только при его разработке для языка программирования «высокого» уровня. В этом случае можно сократить использование внутренней памяти программ и упростить процесс отладки (если применяется язык программирования Basic) или упростить перенос программ между различными типами процессоров (если применяется язык программирования Java).

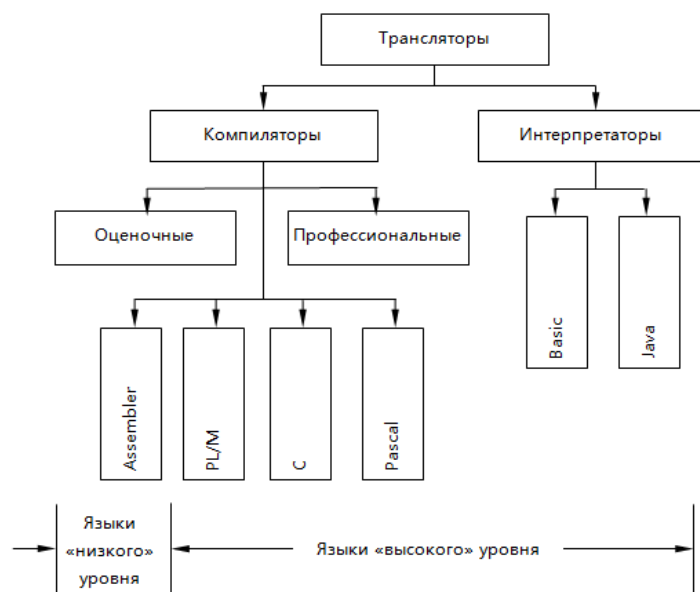


Рис. 1. Классификация программ-трансляторов языков программирования

Для языков программирования низкого уровня, таких как Assembler, использование интерпретатора нецелесообразно, поэтому применяются только компиляторы. Компиляторы также используются для программирования микроконтроллеров на языке программирования высокого уровня.

Существуют два вида программ-компиляторов: оценочные и профессиональные. Оценочные компиляторы позволяют писать простейшие программы для конкретного процессора и определить, подходит ли процессор для решения задач в процессе разработки устройства. Они позволяют транслировать одиночный файл исходного текста программы, а также включать в процесс трансляции содержимое отдельных файлов специальной директивой. Использование оценочных компиляторов позволяет получить исполняемый или загрузочный модуль программы сразу после работы компилятора, что делает их известными как компиляторы с единой трансляцией.

Оценочные компиляторы подойдут для небольших проектов, где нет необходимости в частых изменениях кода, а профессиональные компиляторы будут

более удобны для крупных и сложных проектов, где необходимо быстро и эффективно производить трансляцию кода.

Профессиональные компиляторы позволяют использовать более широкий набор функций и возможностей, что делает их незаменимыми инструментами для опытных разработчиков. Однако такие компиляторы часто имеют более высокую стоимость и сложность в использовании.

В отличие от оценочных компиляторов при использовании профессиональных компиляторов не нужно транслировать весь текст программы, а можно транслировать только ту часть программы, которая менялась после предыдущей трансляции.

Важно понимать, что выбор компилятора зависит от целей разработки и индивидуальных потребностей каждого разработчика. Однако независимо от выбранного компилятора его правильное использование может значительно ускорить и упростить процесс разработки и создания устройств на базе микроконтроллеров.

Для ускорения написания программы можно разделить ее на отдельные модули, каждый из которых может быть написан отдельным программистом. Если же программу пишет один человек, он также может сократить время написания программы, используя уже готовые и отлаженные программные модули. В компиляторах с раздельной трансляцией процесс трансляции программы разбивается на два этапа: трансляция отдельных программных модулей и их последующее связывание в единую программу. Такие компиляторы позволяют значительно упростить и ускорить процесс написания программ.

Существует множество компаний, которые предлагают бесплатные оценочные компиляторы для микроконтроллеров. Тем не менее, только Intel выпустила профессиональный пакет разработки программ, включающий в себя язык программирования PLM-51 и профессиональный язык программирования ASM-51.

Другие компании, такие как FRANCLIN, IAR и KEIL, разрабатывают и продают профессиональные компиляторы для микроконтроллеров семейства MCS-51.

Современные средства написания и отладки программ для микроконтроллеров включают эмуляторы процессоров или отладочные платы, текстовый редактор, компиляторы языка высокого уровня и ассемблера, редактор связей и загрузчик программы в отладочную плату.

Интегрированная среда разработки программного проекта объединяет все программы, позволяя поддерживать один или несколько проектов. Язык программирования ASM51 поддерживает модульное написание программ и транслирует их исходный текст в объектный перемещаемый код. Для ускорения

разработки макроопределения используются для стандартных программных последовательностей, которые пишутся один раз. Ассемблер настраивается индивидуально на работу с конкретным кристаллом и поддерживает работу с любыми ресурсами MCS-51-совместимых микроконтроллеров.

Используя компоновщик L51, можно объединить один или несколько объектных модулей в исполняемую программу. Этот компоновщик определяет абсолютные адреса для сегментов программ, написанных с помощью C51, ассемблера A51 или любого другого компилятора, совместимого с MCS-51. Еще одним преимуществом компоновщика является автоматический выбор библиотек и подключение только необходимых модулей из них.

Для программирования контроллеров MCS-51 используется язык высокого уровня PLM-51 (Programming Language for Microcomputers), который соответствует требованиям программного обеспечения микроконтроллеров для различных систем. Компилятор plm51.exe транслирует исходный текст на языке PLM-51 в перемещаемые объектные модули, которые затем могут быть объединены с другими модулями, написанными на языках программирования PLM-51 или ASM-51. В процессе компиляции компилятор выводит на экран дисплея или в файлы листингов сообщения об ошибках и вспомогательную информацию, которая может быть использована при отладке и разработке программ.

Для генерации команд микроконтроллеров семейства MCS-51 можно установить компилятор plm51.exe на компьютеры серии IBM или их совместимые версии в операционной системе DOS 3.X и выше. Однако язык программирования PLM-51 не поддерживает знаковую арифметику и вычисления с плавающей запятой, так как он предназначен для написания управляющих программ. Эта особенность является как преимуществом, так и недостатком языка программирования. Загрузочные модули, созданные на этом языке, получаются почти такими же компактными, как и написанные на языке ассемблера. Однако если в процессе реализации алгоритма управления объектом требуются сложные вычисления, то необходимо использовать отдельно написанные библиотеки математической поддержки или писать их самостоятельно.

Язык программирования C-51 используется для сложных математических вычислений. В настоящее время существуют трансляторы, которые создают загрузочный модуль на этом языке программирования. Они почти такие же компактные, как загрузочный модуль, созданный на языке программирования PLM-51. C-51 – стандартизированный процедурный язык программирования, созданный в



начале 1970-х годов для использования в операционной системе UNIX. Сегодня Си портирован на многие операционные системы и является одним из самых популярных языков программирования. Этот язык не имеет практически никаких ограничений, что позволяет использовать его для решения широкого круга задач. Однако при написании программ для микроконтроллеров семейства MCS-51 необходимо учитывать особенности аппаратуры этих микросхем. Именно поэтому был создан диалект языка Си – C-51 [2].

Язык программирования C-51, соответствующий стандарту ANSI-C, предназначен для разработки программ для микроконтроллеров семейства MCS-51. В состав этого языка внесены изменения, отображающие особенности построения памяти микроконтроллеров, а также позволяющие обращаться к встроенным портам, таймерам и другим устройствам. Описания переменных используются для отображения особенностей микроконтроллеров. Разработка программ на языке C-51 позволяет получить компактные и быстродействующие программы, а гибкость программирования обеспечивается на широко известном языке C. Скорость работы и компактность программ, написанных на языке C-51, сравнимы с программами, написанными на языке программирования ассемблер.

Язык программирования Си не имеет своих средств ввода и вывода, поэтому он использует функции операционных систем для этого. В языке C-51 можно изменять библиотечные функции, чтобы обращаться к конкретным ячейкам памяти микроконтроллера, для которого пишется программа.

Компилятор c51.exe – это программное средство, которое транслирует исходный текст на языке C-51 в перемещаемые объектные модули. Затем эти модули могут объединяться с другими модулями, написанными на языках PLM-51, ASM-51 или C-51. При компиляции компилятор выводит сообщения об ошибках и вспомогательную информацию на экран или в файлы листингов, которые могут быть использованы при разработке и отладке программ.

Интегрированные среды программирования часто применяются для упрощения процесса разработки программы. Они включают в себя редактор исходного текста, трансляторы с выбранного языка программирования, редакторы связей, загрузчики и другие программные средства.

Далее рассмотрены среды программирования микроконтроллеров семейства ADuC 8xx.

Для микроконтроллеров ADuC доступен широкий набор средств, которые помогают в проектировании и отладке. Среди них отладочная среда mVision3 от

компании Keil Software, предназначенная для микроконтроллеров семейства MCS-51. Она включает в себя средства управления проектами, мощный текстовый редактор и многофункциональный отладчик, а также удобную программную оболочку. Комплект поставки включает подробное руководство, где можно найти справочную информацию по всем вопросам и раздел для быстрого освоения программы.

Поддерживаются микроконтроллеры фирм Analog Devices, AMD, Atmel, Dallas Semiconductor, Infineon, Intel, OKI, Philips, Temic, Winbond. Компания Cygnal разработала интегрированную среду разработки (IDE) для микроконтроллеров семейства MCS-51. В данной среде содержатся все необходимые инструментальные средства для разработки и отладки проектов. Она позволяет производить отладку прикладных программ, написанных на Си или ассемблере, в режимах: пошаговом (включая обработку источников прерывания), выполнения до контрольной точки, выполнения до точек останова. Также можно контролировать и изменять содержимое регистров, памяти данных и памяти программы.

Для микроконтроллера AduC842 компания Cygnal создала интегрированную отладочную среду, которая может работать под управлением операционных систем Windows 95/98/Me и Windows NT. Обмен данными между отладочной средой и микроконтроллером осуществляется по последовательному порту компьютера при помощи соединительного интерфейсного кабеля JTAG. Компания подготовила комплект программного обеспечения для микроконтроллера AduC842, в который входят необходимые компоненты.

Для разработки программ для микроконтроллеров существует несколько программ: компилятор языка ассемблер MetaLink 2-passAssembler, демо-версия компилятора Си Keil 'C' Compiler, программное обеспечение Serial Downloader для программирования на плате, полноценный симулятор микроконтроллера на PC ADuC842 Simulator, отладчик ADuC Debugger и библиотека программ с примерами применения Example Code Library.

Эти программы могут использоваться в качестве среды разработки с фирменной отладочной платой или отдельно, позволяя проводить полный цикл разработки и отладки программ. Однако у них есть ограничения на объем транслируемых программ или количество символьных меток, а также они не обеспечивают ряд сервисных возможностей.

В процессе анализа языков программирования и сред для микроконтроллеров предпочтительным является язык C-51 и программный продукт mVision3 фирмы Keil Software в качестве среды разработки. Это связано с отсутствием операций над

плавающей точкой в языке PLM-51 и достаточным объемом Flash ПЗУ микроконтроллера для написания программ на языке высокого уровня. Оценочная или учебная версия могут быть использованы для написания простых программ для конкретного процессора, ограничиваясь лишь объемом транслируемой программы до 2 Кбайт. Таким образом, данная программная среда обладает функционалом профессиональной среды разработки и является достаточной для проведения исследований.

### Литература

1. Васильев, А. С. Основы программирования микроконтроллеров: учебно-методическое пособие / А. С. Васильев, О. Ю. Лашманов, А. В. Пантюшин. – СПб.: НИУ ИТМО, 2016. – 95 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/91371> (дата обращения: 03.05.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Сильвашко, С. А. Основы программирования микроконтроллеров на C++: учебное пособие / С. А. Сильвашко. – Оренбург: ОГУ, 2019. – 126 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/311843> (дата обращения: 24.05.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

УДК 621.7

### **Технология послойного формирования изделий машиностроения и медицины с использованием металлонаполненного филамента**

Маркелова Ольга Анатольевна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Материаловедение и биомедицинская инженерия»;

Фомин Александр Александрович, доктор технических наук, доцент кафедры

«Материаловедение и биомедицинская инженерия»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования «Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов

*Предложена технология послойной печати изделий металлонаполненным филаментом, заключающаяся в изготовлении филамента с использованием смеси*

*металлических порошков и полимера, формирования заготовки путем послойного наложения нагретого филамента, последующей выдержкой в печи для удаления связующего вещества и спекания для придания целостной формы. Разработана компьютерная программа, позволяющая определить оптимальные режимы трехмерной печати и термической обработки полученных изделий.*

Перспективность применения технологий аддитивного производства для нужд машиностроения и медицины не вызывает сомнений [1-3]. Так, в медицине 3D-печать применялась для изготовления индивидуальных конструкций стоматологических имплантатов [4, 5], скаффолдов (блоков) для регенерации костной ткани [6], тканеинженерных конструкций для замещения костной ткани с опухолевыми поражениями [7-8], имплантатов тазобедренных суставов [9] и другого. При этом печать осуществляется не только металлами [10, 11], но и фосфатами кальция и другой керамикой [12-13]. Использование технологии трехмерной печати способно снять ограничения, возникающие при использовании традиционных методов создания внутрикостных конструкций, связанные со сложностью получения индивидуальных конструкций, приближенных к анатомической форме.

Методика получения изделий во многом зависит от используемой технологии трехмерной печати. Существующие методы и технологии печати можно классифицировать в зависимости от используемых материалов и способов воздействия на них [14]. Наиболее распространенными методами формирования объемных конструкций сложной геометрии с высокой точностью являются: стереолитография (SLA-метод – основан на фотополимеризации слоев), селективное лазерное сплавление (SLM), селективное лазерное спекание (SLS), сплавление электронным лучом (EBM), экструзия материалов (ME) [15]. Несмотря на эффективность данных методов, они являются дорогостоящими и сложными в реализации, кроме того в изделии возникают термомеханические напряжения, которые влияют на механические свойства готового изделия. В связи с этим интерес представляет разработка технологии трехмерной печати металлами, которую можно реализовать, применяя недорогое технологическое оборудование, в частности распространенные 3D-принтеры, использующие технологию послойного плавления пластика.

Разработка технологии получения модифицированных филаментов и разработка технологии 3D-печати позволит создавать металлические внутрикостные конструкции, отличающиеся регулируемой пористостью наравне с достаточной механической прочностью. Причем применение данной технологии будет отличаться меньшими финансовыми затратами и экономией материала по сравнению с традиционными

методами изготовления подобных конструкций. Технологию можно использовать для изготовления деталей машиностроения, имеющих сложную геометрию.

Предложена аддитивная технология формирования изделия, включающая следующие этапы (рис.1):

1. Подготовка порошка для получения металлонаполненного филамента. На этом этапе происходит смешение металлического порошка (70 %), связующего полимера (25 %) и специальных добавок (5 %).

2. Полученные порошки смешиваются в шаровой мельнице при нагреве 40 °С.

2. Филамент получают путем экструзии с параллельным нагревом гранул. Диаметр нити – 1,75 мм.

3. Трехмерная печать металлонаполненным филаментом при следующих технологических режимах: высота слоя – 0,5 мм, максимальная высота слоя – 0,8 мм, скорость печати – 10 мм/мин, температура сопла – 230 °С, температура подогрева стола – 70 °С.

4. Удаление связующего вещества путем нагрева изделия до 350 °С и выдержкой 5 ч.

5. Спекание изделия в вакуумной печи при температуре 700 - 1300 °С.

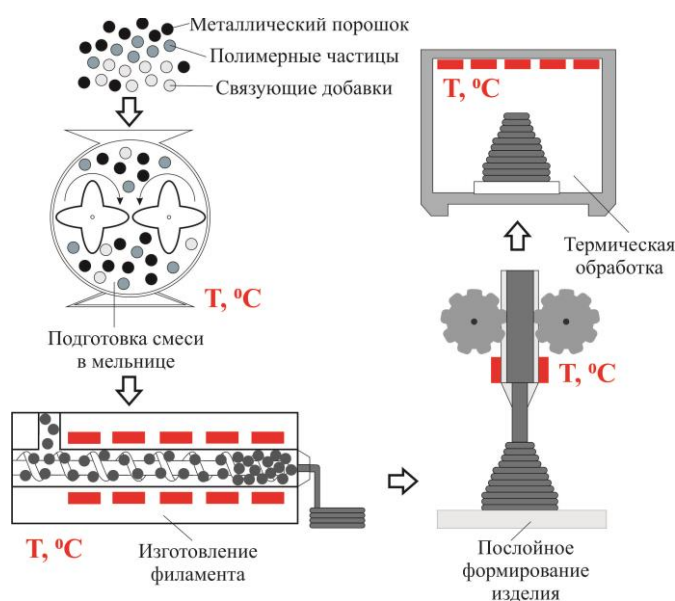


Рис. 1. Технология аддитивного производства изделия на основе металлонаполненного филамента

Металлонаполненный филамент был получен по оригинальной методике путем спекания металлических порошков различных типов (алюминия и стали) с полимерным составляющим (PVA) и специальными добавками.

Образцы, содержащие в основе частицы алюминия (рис. 2а), имеют равномерную структуру, размер отдельных частиц 30 - 40 мкм. В образце с

металлонаполненным филаментом из порошка стали размер частиц составляет 10 - 50 мкм (рис. 2б).

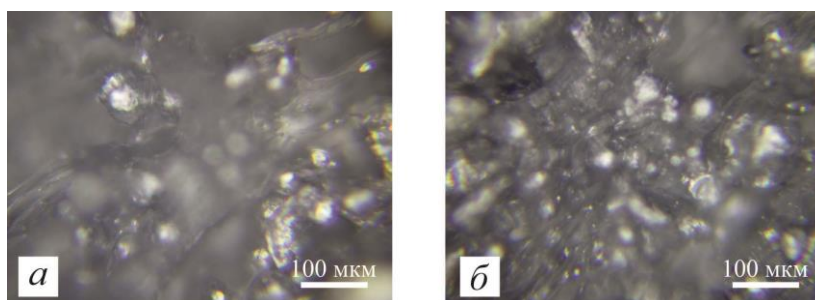


Рис. 2. Микрофотографии образцов, полученных методами послойной печати металлонаполненным филаментом с порошком алюминия (а) и стали (б)

Разработана компьютерная программа, предназначенная для определения технологических режимов формирования индивидуальных внутрикостных конструкций методом послойной печати металлонаполненным филаментом и последующего спекания (рис. 3).

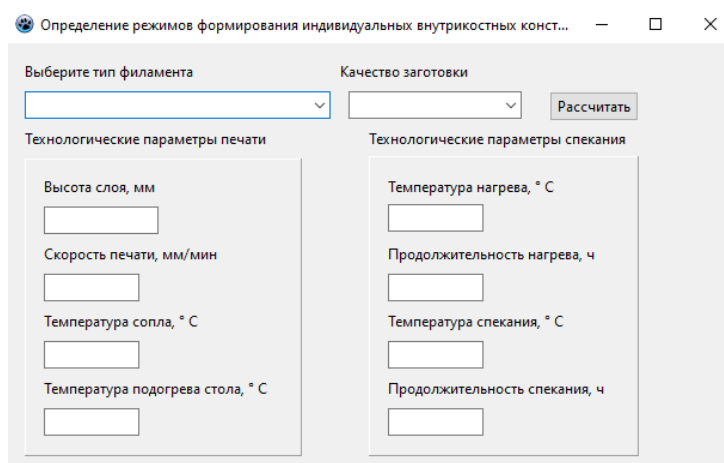


Рис. 3. Интерфейс программы для определения режимов формирования индивидуальных внутрикостных конструкций методом послойной печати металлонаполненным филаментом

Программа обеспечивает выполнение следующих функций: на основе введенных данных пользователем о типе металлонаполненного филамента и необходимого качества изделия (высокое качество, низкое качество (для формирования макетов)) программа рассчитывает данные о высоте слоя при печати, скорости печати, температуре сопла и подогрева стола при печати, температуры и продолжительности нагрева для удаления связующего вещества и температуры и продолжительности спекания.

Применение данной программы при изготовлении индивидуальных конструкций внутрикостных имплантатов позволит значительно снизить осложнения при

имплантации на этапе хирургического лечения и репаративной регенерации, а также программа может быть использована при изготовлении деталей для машиностроения.

Статья подготовлена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ для молодых ученых и аспирантов СП-50.2022.4.

### Литература

1. Производство новых внутрикостных остеointегрируемых имплантатов методом аддитивных технологий / В. П. Кузнецов, В. Г. Горгоц, А. В. Аникеев, А. А. Еманов // Вестник КГУ. Серия: Технические науки. – 2017. – № 2(45). – С. 120-125.
2. Пелешок, С. А. 3D-печать и медицина / С. А. Пелешок, К. П. Головкин // Известия Российской военно-медицинской академии. – 2022. – Т. 41. – № 3. – С. 325-333.
3. Лазерная аддитивная 3d-печать титановых сплавов: современное состояние, проблемы, тенденции / Н. В. Казанцева, П. В. Крахмалев, И. А. Ядройцева, И. А. Ядройцев // Физика металлов и металловедение. – 2021. – Т. 122. – № 1. – С. 8-30.
4. 3D-printed pre-tapped-hole scaffolds facilitate one-step surgery of predictable alveolar bone augmentation and simultaneous dental implantation / C. Zhang, Z. Chen, J. Liu [et al.] // Composites Part B: Engineering. – 2022. – P. 229.
5. 3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial surgery: Printing techniques, materials, and applications / D. Khorsandi, A. Fahimipour, P. Abasian [et al.] // Acta Biomater. – 2021. – V. 122. – Pp. 26-49.
6. Icarin-releasing 3D printed scaffold for bone regeneration / L. Zou, L. Hu, P. Pan [et al.] // Composites Part B: Engineering. – 2022. – V. 232.
7. Обзор применения 3D технологий в хирургическом лечении опухолей позвоночника / Т. Т. Керимбаев, В. Г. Алейников, Ж. Смагул [и др.] // Нейрохирургия и неврология Казахстана. – 2017. – № 4(49). – С. 61-65.
8. Индивидуальное эндопротезирование на основе 3D-технологий после резекции костей таза / Е. А. Сушенцов, Э. Р. Мусаев, Д. И. Софронов [и др.] // Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи. – 2017. – № 3. – С. 14-20.
9. Finite-element analysis of load-bearing hip implant design for additive manufacturing / Y. K. Cheah, A. H. Azman, M. Y. Bajuri // Fail Anal Prev. – 2022.
10. Three-dimensional printing of medical devices used directly to treat patients: A systematic review / T. Kermavnar, A. Shannon, K. J. O'Sullivan [et al.] // 3D Print Addit Manuf. – 2021. – V. 8(6). – Pp. 366-408.

11. Additive manufacturing of aluminum metal matrix composites: Mechanical alloying of composite powders and single track consolidation with laser powder bed fusion / E. M. Parsons, S. Z. Shaik // Addit Manuf. – 2022. – V. 50.
12. 3D printed calcium phosphate scaffolds with controlled release of osteogenic drugs for bone regeneration / H. Sun, C. Zhang, B. Zhang // Chemical Engineering – 2022. – V. 427.
13. Development of a manufacturing process for binder jet 3D printed porous Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> supports used in heterogeneous catalysis / Bui H. M. , Fischer R. , Szesni N. [et al.] // Addit Manuf. – 2022. – V. 50.
14. Абрамов, А. А. Изучение методов и технологий трехмерной печати для получения высокопористых материалов / А. А. Абрамов, П. Ю. Цыганков, Н. В. Меньшутина // Успехи в химии и химической технологии. – 2020. – Т. 34. – № 6(229). – С. 85-87.
15. Qu, H. Additive manufacturing for bone tissue engineering scaffolds. Materials Today Communications // International Journal of Bioprinting. – 2020. – V. 24. – P. 101024.

УДК: 721.01: 624.01

### **Применение принципа тенсегрити для создания беспилотных летательных аппаратов**

<sup>1, 2</sup>Марьина Надежда Леонидовна, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство», учитель;

<sup>2</sup>Гаврилов Федор Алексеевич, ученик;

<sup>2</sup>Сидоров Данила Сергеевич, ученик;

<sup>2</sup>Шаповалов Максим Антонович, ученик;

<sup>2</sup>Шелястин Артем Дмитриевич, ученик

<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>Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение  
«Гимназия № 2» г. Балаково Саратовской области

*В работе авторами проведено углубленное исследование потенциала использования идеи «тенсегрити» при проектировании оригинальных конструкций.*



*Проанализированы основные функции дронов, сложившиеся тенденции и способы их проектирования. Высказывается предположение о необходимости повышения эффективности работы летательных аппаратов, что возможно добиться использованием многоэлементных предварительно напряженных стержневых конструкций.*

Новым и перспективным направлением в развитии современных технологий является использование самонапряженных систем, в которых часть элементов работает на сжатие за счет предварительного растяжения других элементов. Явление «Тенсегрити» берёт свое начало в первой половине 20 века и исследуется до сих пор.

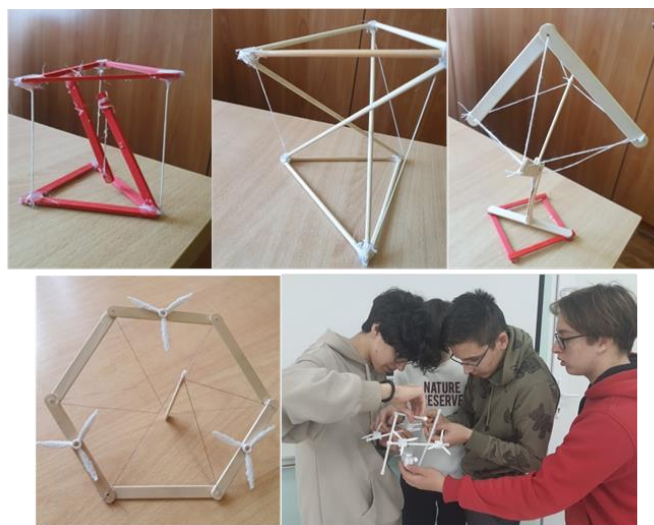
Тенсегрити – это слово-изобретение: сокращение от «напряженной целостности». Тенсегрити описывает принцип конструктивной взаимосвязи, в которой структурная форма обеспечивается полной замкнутостью системы, всесторонне непрерывной, напряженным состоянием системы (в целом), а не каким-то локально разрывным или локально сжатым поведением ее элементов (рис. 1). Тенсегрити предоставляет возможность масштабирования конструкции без опасности ее разрушения или разъединения элементов [1].

Основоположником разработок конструкций в технике тансегрити считают Фуллера. Фуллер родился почти слепым и почти все свои творения создал, опираясь на тактильные ощущения. Он считал, что треугольники и тетраэдры – наиболее устойчивые формы. Еще в 20-х годах архитектор доказывал, что в природе все построено на принципе тенсегрити, с соблюдением баланса натянутых связей. В России изучением тенсегрити занимался ученый Карл Иогансон (1890 - 1929). Он еще за четверть столетия до создания этого термина Фуллером восхищал посетителей технических выставок своими «самонапряженными конструкциями».

Дрон – в технологическом контексте это беспилотный летательный аппарат, беспилотный летающий робот. Беспилотники (БПЛА) могут управляться дистанционно, а могут летать автономно с помощью встроенного программного обеспечения (плана полета), работающего в тесной связи с бортовыми сенсорами и системами GPS [2].

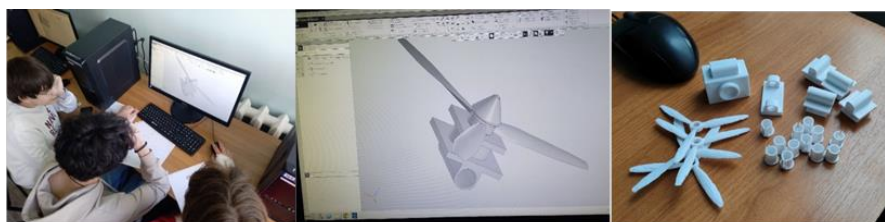
В недавнем прошлом БПЛА использовались исключительно в военных целях для уничтожения военных целей и в разведывательных мероприятиях. Но сегодня БПЛА получили широкое гражданское применение, начиная от поисково-спасательных операций, наблюдения, мониторинга погоды, трафика, тушения пожаров, в сельском хозяйстве для автоматизированного программирования и контроля работы сельхозтехники, в бизнесе, связанном с видео и фото съемкой, в службе доставки

малогабаритных грузов, в научных исследованиях, энергетические компании используют дрон для исследования работы линий электропередач и т. д. и т. п.



*Рис. 1 . Наши модели, сделанные в стиле тенсегрити. Проба конструирования*

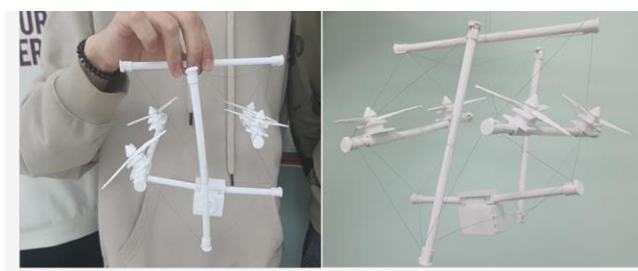
С течением времени наука доказала, что принцип тенсегрити – это фундаментальный принцип конструирования природы, действующий на уровне органов, тканей, клеток и даже молекул.



*Рис. 2. Работа над конструкцией ТенсоДрона*

Структуры тенсегрити характеризуются принципом проектирования, требующим, чтобы все элементы конструкции испытывали либо чисто растягивающие, либо чисто сжимающие силы [3]. Таким образом, эти элементы могут быть спроектированы легкими и устойчивыми к повреждениям. Кроме того, конструкция предварительно напряжена, то есть ее элементы деформируются и накапливают потенциальную энергию [4]. Структура в целом демонстрирует кажущуюся эластичность, деформируясь под действием внешних сил и восстанавливая свою первоначальную форму при подъеме сил. Тенсегрити-конструкции спроектированы таким образом, чтобы выдерживать удары без механических повреждений [5], что делает их подходящим кандидатом для конструкции корпуса дрона. Другой важной характеристикой является их благоприятное соотношение массы и жесткости [6]. Наконец, конструкции из тенсегрити можно складывать, что упрощает их транспортировку [7]. В этой работе представлен первый прототип тенсегрити-дрона,

основанный на конструкции из шести стержней [8, 9], приводимой в действие четырьмя роторами (рис. 2, 3).



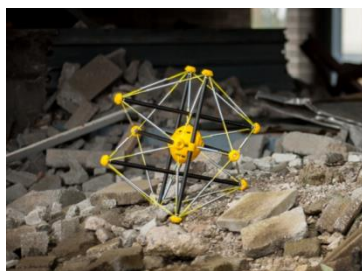
*Рис. 3. ТенсоДрон: дрон на основе техники тенсегрити*

В данной работе исследуется еще одно преимущество использования тенсегрити-конструкций для проектирования корпусов дронов: возможность управления их формой за счет приведения в действие одного из конструктивных элементов (одного из тросов, распорок или поставленной в середине троса пружины или гидравлического узла). Благодаря этому дрон может менять свою форму во время полета, чтобы пройти через узкие проемы, снизить риск столкновений или изменить кажущуюся жесткость конструкции. Таким образом, общий вклад работы двоякий: первый – это конструкция дрона на основе тенсегрити и его прототип, и второй – это метод планирования с учетом деформации траектории.

Дизайн структур тенсегрити изучался со времени основополагающей работы Йогансона и Фуллера в 1940-х и 1950-х годах. Было предложено и изучено несколько хорошо функционирующих тенсегрити-структур, таких как тенсегрити-призмы и башни, различные симметричные сфероподобные структуры и тенсегрити-фермы [10]. Моделирование продемонстрировало его способность выдерживать удары без механических повреждений, а также его способность двигаться путем качения, используя управляемую деформацию конструкции для изменения взаимного положения ее центра масс.

Проектирование новых тенсегрити-структур может быть выполнено различными способами, включая комбинации известных структур и прямую оптимизацию топологии [11]. Как только топология конструкции (какой элемент к какому соединен) должна быть определена конфигурация (положение конструкций и тросов) и предварительное напряжение (определяемое длинами покоя деформируемых элементов) [12]. Конфигурация с заданным предварительным напряжением является статически устойчивой, если она соответствует локальному минимуму потенциальной энергии конструкции. При разных длинах покоя деформируемых элементов разная конфигурация будет соответствовать локальному минимуму потенциальной энергии.

Таким образом, изменяя остаточные длины деформируемых элементов, можно управлять формой конструкции. Задача нахождения распределения сил, доказывающего, что конфигурация соответствует локальному минимуму потенциальной энергии, может решаться несколькими способами, в том числе методом плотности сил. Задача нахождения статически устойчивой конфигурации по заданным длинам покоя деформируемых элементов может быть решена как задача нелинейной оптимизации.



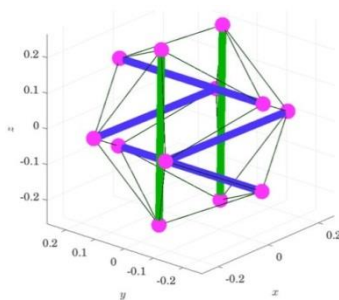
*Рис. 4. Американский прототип*

Американская компания Squishy Robotics также сделала прототип своего робота в технике тесегрити и провела испытания, сбросив его с вертолета, находившегося на высоте 183 метров. Благодаря тому, что в работе применяется конструкция напряженной целостности, он пережил падение и продолжил передавать изображение с камеры (рис. 4.). Это вдохновило нашу команду на разработку ТенсоДрона.

В этой работе шестистержневая тенсегрити-конструкция используется для создания первого в мире тенсегрити-дрона. Набор данных устойчивых конфигураций генерируется с помощью минимизации энергии, представленной как единая задача нелинейной оптимизации, как это было предложено в [13], с использованием различных длин покоя деформируемых элементов для создания различных конфигураций.

Тенсегрити-конструкция состоит из элементов, испытывающих растягивающие усилия, называемых канатами, и элементов, воспринимающих сжимающие усилия, называемых распорками. В чисто тенсегритиной конструкции стойка соединяется с кабелями только в двух точках, называемых узлами (рис. 5). Прямой способ моделирования системы состоит в том, чтобы смоделировать каждую стойку как твердое тело с заданной массой, а тросы – как невесомые пружины. Однако для упрощения моделирования статического равновесия конструкции можно использовать несколько упрощений. Одним из часто используемых упрощений является предположение, что структуру можно эквивалентно смоделировать как набор массивных точечных узлов, соединенных безмассовыми пружинами. Таким образом,

масса конструкции сосредоточена в узлах, и предполагается, что внешние силы действуют непосредственно на узлы. Сама конструкция ТенсоДрона состоит из карбоновых стержней и прочных нитей-канатов. Натяжение регулируют невесомые безмассовые пружины.



*Рис. 5. Схема разрабатываемого ТенсоДрона:  
распорки длины статического покоя показаны синим цветом,  
активируемые распорки - зеленым, узлы - розовым, а тросы - черным*

Нами представлены две конструкции тенсегрити-дронов (рис. 1. и рис. 3 дрона, корпус которых представляет собой тенсегрити-конструкцию). Дрон приводится в движение четырьмя двигателями и управляется полетным контроллером. Это возможно благодаря рассмотренным ранее свойствам тенсегрити-конструкций (их устойчивости к ударам), а также из-за геометрии рамы ТенсоДрона, которая позволяет использовать двигатели для изменения ориентации дрона, когда он находится на земле, и сделать дрон «лицом вверх» чтобы взлететь.

В этой статье обсуждается новый тип конструкции дронов, основанный на тенсегрити-структурах. Такая конструкция позволяет дронам выдерживать столкновения, что было продемонстрировано в экспериментальных исследованиях. Приведение в действие одного или нескольких конструктивных элементов (в частности, изменение остаточных длин упругих элементов) позволяет изменить форму конструкции, как это было продемонстрировано ранее, например, в конструкциях планетарных посадочных модулей с тенсегрити.

Обе предложенные конструкции дрона, но с разным распределением частот вибрации рамы, с более выраженными и более низкими доминирующими частотами для тенсегрити-дрона.

Будущая работа над тенсегрити-дронами может идти по двум направлениям: оптимальная механическая конструкция дронов и разработка оценки состояния и управления с учетом динамического поведения тенсегрити-фреймов.

## Литература

1. Фуллер, Р. Б. Синергетика: Исследование геометрии мышления / Р. Б. Фуллер. – Изд-во: Macmillan Publishing Co. Inc, 1997. – С. 372.
2. Дроны и возможности их использования / П. Кардаш, Дж. Доскоч, М. Хейдук [и др.] // Окружающая среда. – 2016. – С. 1-7.
3. Минчев, С. Грузовой дрон, вдохновленный оригами / С. Минчев, Д. Флореано // Материалы Международной конференции IEEE/RSJ по интеллектуальным роботам и системам (IROS), 2017 – Ванкувер, Канада. – С. 6855-6862.
4. Мотро, Р. Тенсегрити: структурные системы будущего / Р. Мотро. – Elsevier: Амстердам, Нидерланды, 2003. – С. 23-28.
5. Введение в механику структур тенсегрити / Р. Скелтон, Р. Адхикари, Дж. Пино [и др.] // Материалы 40-й конференции IEEE по решениям и управлению. – Орlando, 2001. – Т. 5. – С. 4254-4259.
6. Хауреги, В. Г. Структуры тенсегрити и их применение в архитектуре / В. Г. Хауреги. – Испания: Университет Кантабрии, 2020. – Т. 2. – С. 543.
7. Боудербала, М. Складные системы тенсегрити / М. Боудербала, Р. Мотро. – Материалы симпозиума по развертываемым структурам: теория и приложения. – Берлин, 2000. – С. 27-36.
8. Савин, С. И. Планирование пути с поддержкой морфинга для летающих тенсегрити-роботов как полуопределенная программа / С. Савин, А. П. Климчик. – Робот ИИ. – 2022. – Т. 9. – С. 25-28.
9. Калекеева, М. Е. Беспилотный летательный аппарат для безопасного полета в непосредственной близости от людей / М. Е. Калекеева, И. Ж. Асильбекова, А. Ж. Абжапбарова // Вестник КазАТК. – 2022. – № 4(123). – С. 46-53.
10. Аль-Бадр Амер Исследование метода одновременного планирования траектории и последовательности деформаций для тенсегрити-дрона / Аль-Бадр Амер, С. И. Савин, Л. Ю. Ворочаева // Известия высших учебных заведений. – 2022. – № 12. – С. 24-33.
11. Пружинная защита от столкновения для летающих роботов / А. Клапточ, А. Бриод, Л. Далер [и др.] // Материалы Международной конференции по интеллектуальным роботам и системам. – Токио, 2013. – С. 1886-1892.
12. Устойчивый к столкновениям летательный аппарат с тенсегритиной структурой икосаэдра / Жа Дж., Ву Х., Крюгер Дж. [и др.] // Материалы

Международной конференции по интеллектуальным роботам и системам (IROS). – Лас-Вегас, 2021. – С. 1407-1412.

13. Довгаль, В. А. Анализ уязвимостей и угроз безопасности роя дронов с поддержкой Wi-Fi, противостоящего атакам злоумышленников / В. А. Довгаль, Д. В. Довгаль // Вестник АГУ. – 2020. – Вып. 3(266). – С. 67-73.

УДК 621.774

### **Совершенствование экспериментальной установки для холодной гибки труб методом раскатывания и внедрение системы ЧПУ**

<sup>1</sup>Нагорнов Алексей Александрович, студент специальности  
«Проектирование технологических машин и комплексов»;

<sup>2</sup>Москвичёв Кирилл Анатольевич, студент специальности  
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»;

<sup>2</sup>Раковский Роман Эдуардович, студент специальности  
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»;

<sup>1,2</sup>Козлов Александр Васильевич; доктор технических наук,  
профессор кафедры «Технология машиностроения»;

<sup>1,2</sup>Бобылев Андрей Викторович, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Технология машиностроения»

<sup>1</sup>Трёхгорный технологический институт – филиал федерального государственного  
автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Трёхгорный;

<sup>2</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)», г. Челябинск

*Гибка труб является одной из основных операций технологического процесса изготовления криволинейных участков трубопроводов. На основе анализа существующих конструкций трубогибов были выработаны направления их совершенствования. В результате работы был изготовлен трубогиб и проведен ряд лабораторных экспериментов, результаты которых подтверждают работоспособность трубогиба и методикигиба. С целью совершенствования оборудования был произведён анализ рынка, подбор комплектующих, спроектированы структурная и функциональная схемы, спроектирована система ЧПУ.*

Гибка труб является одной из важнейших операций технологии изготовления криволинейных участков трубных коммуникаций. Роль трубопроводов как коммуникационных и транспортирующих средств очень велика, что позволяет им конкурировать с другими транспортно-коммуникационными средствами, а зачастую является единственным технологически и экономически оправданным средством доставки [1]. В настоящее время по трубам транспортируют не только жидкости, но и порошкообразные вещества. Помимо нефтепродуктов и газов по трубам перекачивают даже уголь и известняк, отходы золотых рудников и концентрат железной руды, древесную щепу для целлюлозных фабрик [2].

С целью совершенствования процесса холодной гибки труб был разработан принципиально новый метод [3]. Внутреннее раскатывание трубы с одновременным изгибанием позволяет создавать внутри стенок трубы кольцевые пластические зоны, в которых происходит резкое уменьшение усилий гибки (рис. 1, 2) [4]. В процессе изготовления криволинейных участков с малым радиусомгиба в материале трубы имеет место ряд физико-механических и тепловых явлений, изучение которых представляет практический интерес [5]. Для проверки работоспособности методов и решений была разработана кинематическая схема трубогиба, представленная на рис. 3 [6].

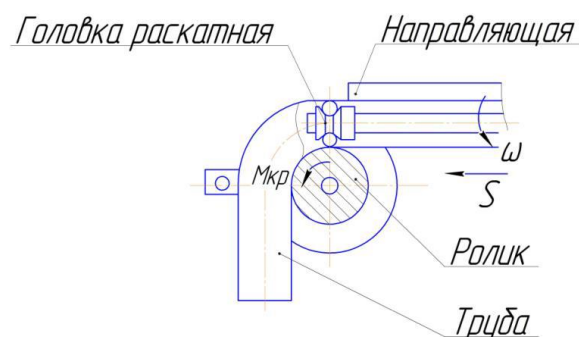


Рис. 1. Схема гибки методом раскатывания

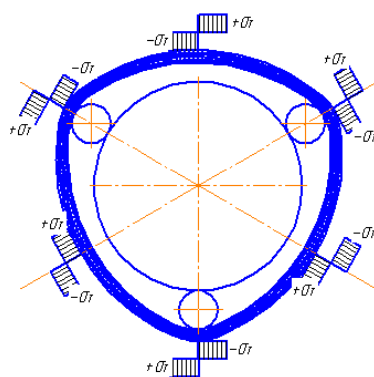


Рис. 2. Схема деформации трубы при раскатывании



Станок для холодной гибки труб устроен следующим образом [7]: на нижнюю плиту сварной рамы станка установлены электродвигатели 1. На верхней плите установлены цилиндрический редуктор 4, шпиндельный узел 6 и червячный редуктор 5, на выходном валу которого находится раскатной ролик 8.

В качестве привода главного движения станка используется электродвигатель мощностью 2 кВт и частотой вращения 1460 об/мин., движение которого передается через ременную передачу 2 на шпиндельный узел 6, на конце которого установлена борштанга с раскатной головкой 7. Привод движения подачи осуществляется электродвигателем мощностью 1,5 кВт и частотой вращения 940 об/мин. Движение от него передается через ременную передачу 3 на цилиндрический редуктор 4, а с него на червячный редуктор 5. Подача при гibe осуществляется поворотом ролика, в котором зажата изгибаемая труба [8].

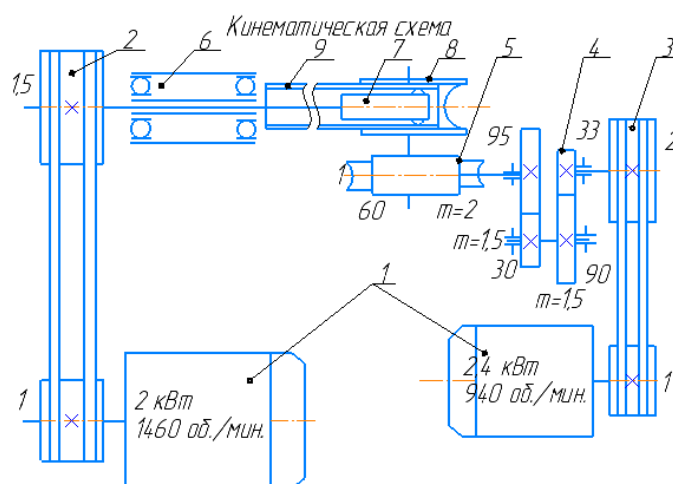


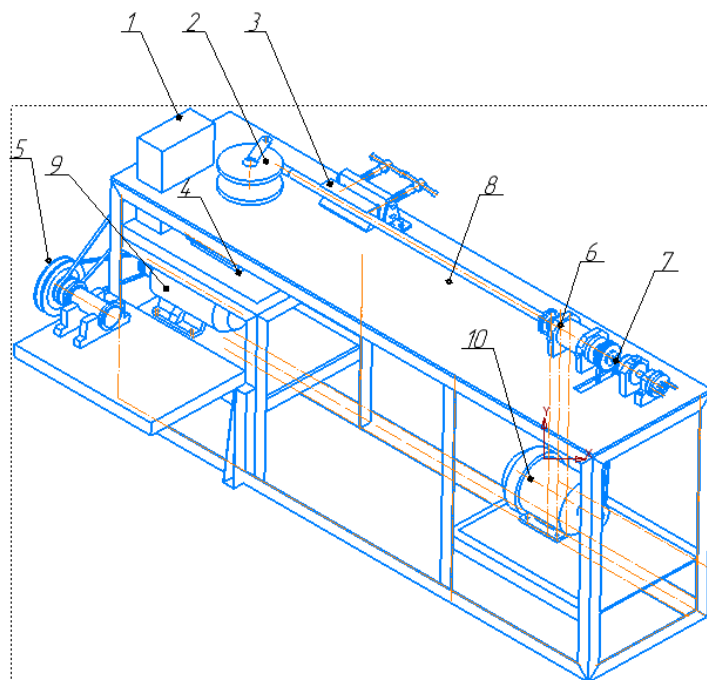
Рис. 3. Кинематическая схема станка для холодной гибки труб методом раскатывания:

- 1 – электродвигатели; 2 – ременная передача;  
3 – ременная передача; 4 – цилиндрический редуктор; 5 – червячный редуктор;  
6 – шпиндельный узел; 7 – борштанга с раскатной головкой; 8 – раскатной ролик;  
9 – заготовка (труба)

Для составления компоновок будущей установки использовали следующие элементы: цилиндрический однопоточный горизонтальный соосный двухступенчатый редуктор; червячный редуктор ЧС-80 и ременные передачи.

Проанализировав все возможные варианты, учитывая требования по наименьшей стоимости, прием для дальнейшего расчета следующую компоновку: два электродвигателя для привода движения подачи и для привода главного движения, цилиндрический двухступенчатый развернутый редуктор, раскатной ролик, соединённый с червячным редуктором через фланцевую предохранительную

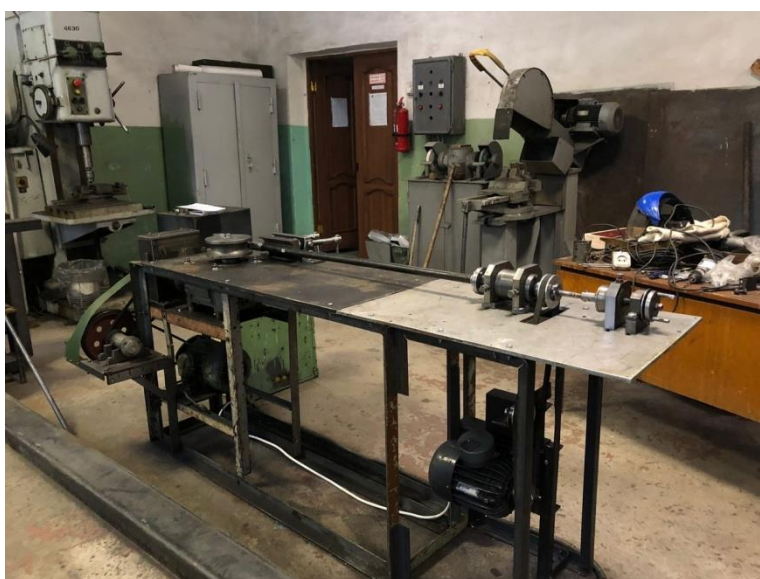
муфту, две ременные передачи, передающие момент от электродвигателей на входной вал привода движения подачи и на шпиндельный узел раскатной головки (привод главного движения) [9]. Полученная компоновка представлена на рис. 4.



*Рис. 4. Компоновочная схема станка*

Разработанная схема компоновки в дальнейшем была утверждена для изготовления трубогиба.

Изготовленный станок, показанный на рис. 5, предназначен для гибки труб в диапазоне диаметров от 20 до 60 мм. Предварительные испытания станка показали необходимость усовершенствования механизма прижима гибки (рис. 6).

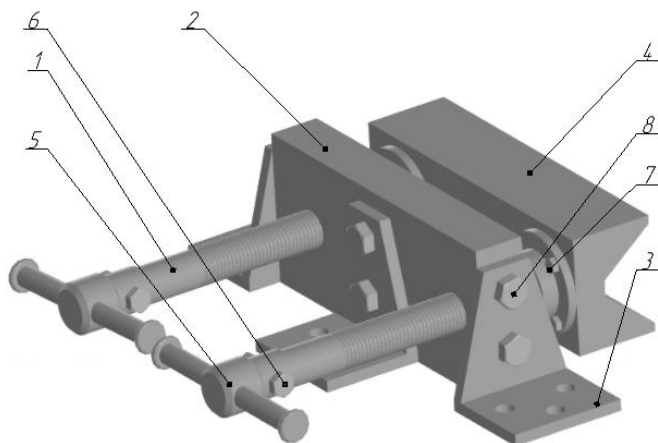


*Рис. 5. Общий вид станка для гибки труб  $\varnothing 20...60$  мм*



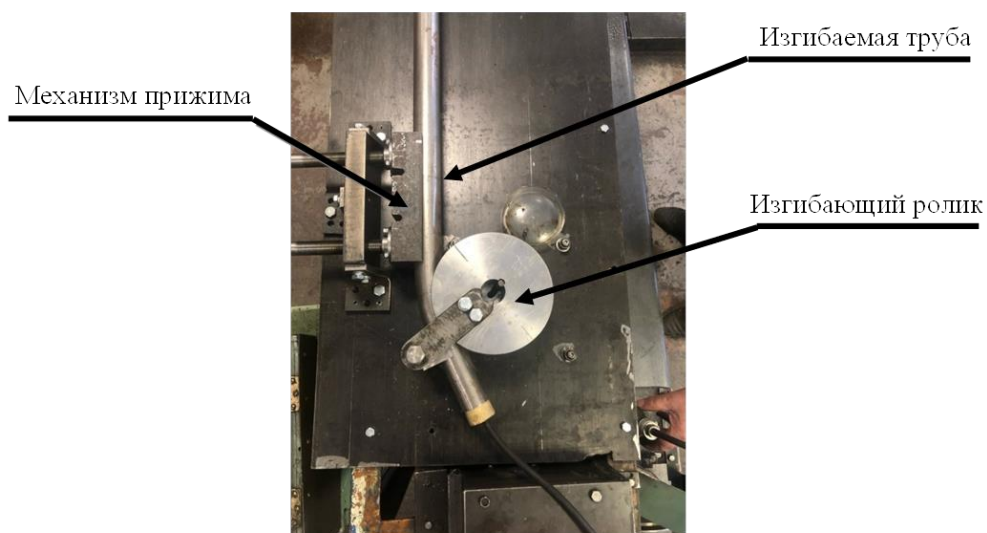
*Рис. 6. Общий вид механизма прижима*

Механизм прижима осуществляет прижим трубы к раскатному ролику [10]. Данная конструкция позволяет быстро произвести настройку станка на определённый диаметр сгибаемой трубы. Общая компоновка механизма прижима представлена на рис. 7.



*Рис. 7. Компоновка механизма прижима*

Принцип работы механизма выполнен следующим образом: прижим 4 представляет собой призму, и его перемещение осуществляется с помощью двух резьбовых винтов 1, которые вставляются в заранее просверленные отверстия в плите 2. Плита крепится к столу станка с помощью уголковых кронштейнов 3, чтобы избежать опрокидывания. Данный механизм работает сходным образом с винтовыми тисками [11].



*Рис. 8. Вид сверху механизма прижима*

Данный механизм является необходимым для постоянного и плотного прилегания изгибаемой трубы к ролику станка. Компонировка, представленная на рис. 7, принята исходя из наработок и исследований кафедры ТМСИ [12].

Результаты гибки трубы представлены на рис. 8.1 и 8.2. соответственно. Данные предметов исследования:

- Материал: Сталь 10.
- Диаметр: 57 мм.
- Толщина стенок: 3.5 мм.
- Овальность: 0,1 мм.
- Радиус гiba: 228 мм.



*Рис. 8.1, 8.2. Результаты гибки трубы диаметром 57 мм*

Дальнейшими направлениями использования данной установки являются: измерения толщины стенок трубы после гибки, измерения температурных явлений при гибке труб, исследования температурных изменений материалов труб и анализ возможности внедрения системы ЧПУ [13].

Проанализировав органы управления установки, электрическую и структурную схемы, было выявлено несколько недостатков конструкции: двигатели приводов работают несовместно, отсутствуют плавные пускатели. Это негативно сказывается на ресурсе и КПД электродвигателей, а также приводит к дефектамгиба, поскольку максимальные обороты достигаются практически мгновенно, а сам момент рассинхронизирован. Также из-за отсутствия регулировки вращения гиб труб разного диаметра производился при одинаковой частоте вращения, что может привести к снижению производительности или к браку.

Изначально для отслеживания углагиба применялось механическое отсчётное устройство (МОУ), установленное на валу гибочного ролика. Помимо морального устаревания МОУ также не имеет обратной связи с управляющим контроллером и органами управления, а перед каждым началомгиба оператору требуется привести МОУ в нулевое положение, что приводит к погрешностям, неудобствам и временным затратам.

Представленные проблемы возможно решить автоматизацией системы управления станка и внедрением системы числового программного управления (ЧПУ), что приведёт к упрощению работы, снижению нагрузки на оператора, повышению точности и производительности гибки.

Представленная на рис. 9 функциональная схема является основным техническим документом, определяющим последовательность функционирования узлов системы управления и регулирования процесса гибки в целом. Выделим основные функции системы:

- 1) управление механизмом раскатки;
- 2) управление механизмом гибки;
- 3) отображение и редактирование параметровгиба;
- 4) контроль углагиба.

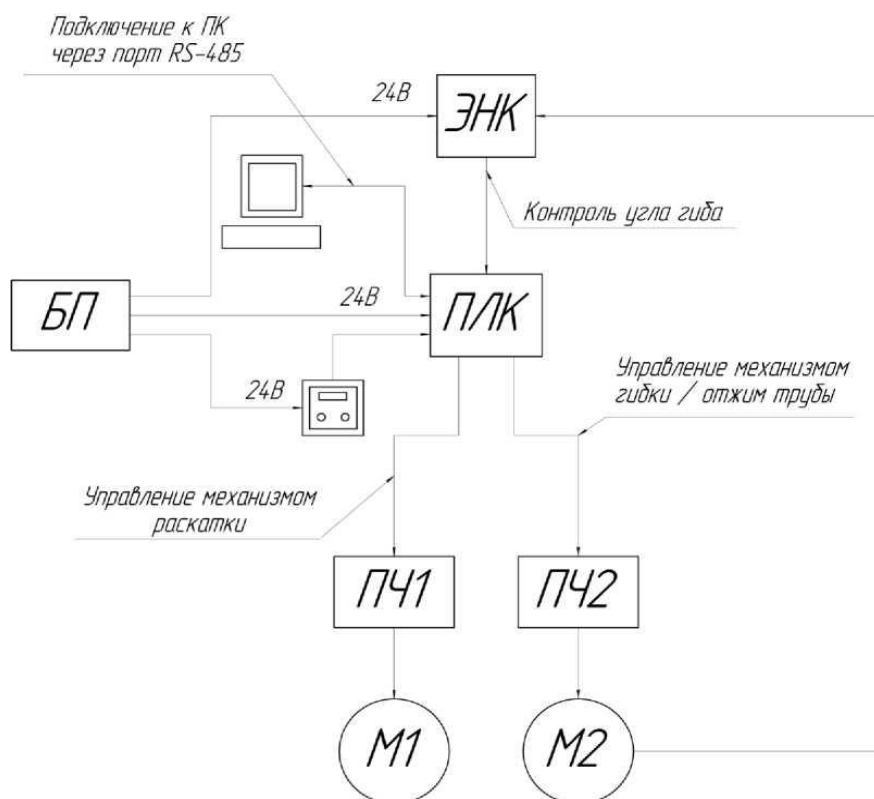


Рис. 9. Функциональная схема системы управления трубогибом

Функциональная схема состоит из энкодера, программируемого логического контроллера (ПЛК), преобразователей частоты (ПЧ) и двигателей М1 и М2. При необходимости ПЛК можно подключить к компьютеру.

Для плавного пуска и остановки двигателей и регулирования частоты вращения используются преобразователи частоты. Ввод данных для режимовгиба осуществляется с приборной панели оператора или напрямую в контроллер через ПК. Двигатели и преобразователи частоты цепи работают от трёхфазной сети переменного тока с напряжением 380 В.

Панель приборов, ПЛК и датчик угловых перемещений работают от постоянного тока 24 В, поэтому необходим блок питания, выдающий соответствующее напряжение.

Контроллер через преобразователи частоты подключен к каждому из двигателей. После нажатия кнопки «Пуск» подаётся команда на запуск гибки трубы. Датчик угловых перемещений посылает сигнал о нулевом положении гибочного ролика. Контроллер обрабатывает сигнал и посылает команду в ПЧ на запуск двигателей. Положение гибочного ролика начинает меняться благодаря наличию обратной связи от двигателя М2, и запускается процесс холодногогиба. Каждое положение гибочного ролика передается на контроллер, который сравнивает его с необходимым.

По достижении требуемого угла контроллер посылает сигнал преобразователям частоты о прекращении работы двигателей. Кнопка «Реверс» реализует функцию отжима трубы от гибочного ролика с помощью двигателя М2. Угол отжима является задаваемым параметром. Сигнал об изменении положения ролика поступает с энкодера на контроллер и происходит сравнение полученного и требуемого параметров. В случае совпадения происходит останов двигателя М2.

Внедрения системы ЧПУ потребовало анализа рынка и подбора следующих компонентов: программируемый логический контроллер (ПЛК), блок питания (БП), приборная панель оператора, датчик угловых перемещений (энкодер), преобразователи частоты (ПЧ) для привода раскатывания и привода подачи.

Анализ рынка контроллеров показал, что наиболее подходящим под требуемые критерии вариантом является ПЛК «Овен 160», приведенный на рисунке 10. Он имеет нужные дискретные и аналоговые входы и выходы; встроенный «быстрый вход» для подключения энкодеров; обладает распространенными интерфейсами промышленной сети RS-232 и «RS-485» («ModBus») и, пожалуй, главным критерием выбора – невысокой ценой по сравнению с аналогами.



*Рис. 10. Контроллер «Овен 160»*

В качестве панели управления при анализе рынка была выбрана «Овен ИП320», представленная на рис. 11, предназначенная для объектов автоматизации с небольшим набором параметров. Данная панель работает в промышленной сети «ModBus», а для обмена данными использует необходимые линии связи «RS-485» и RS-232. На экран выводится отображение как русских, так и английских символов, а также графические изображения.

Важным преимуществом данного контроллера по сравнению с зарубежными аналогами является среда программирования CODESYS. Данная среда



программирования распространена в среде программирования ПЛК и не имеет привязки к определенному контроллеру. Совместимость с ПЛК «Овен 160» позволит и в дальнейшем модернизировать систему управления



*Рис. 11. Панель оператора «Овен ИП320»*

Все кнопки данной панели могут быть запрограммированы как функциональные – при их нажатии будет осуществляться заданная оператором команда, например вызов необходимого экрана с информацией, изменение значения параметра, управление определённым механизмом.

В нашей системе к блоку питания (БП) предъявляются следующие требования: преобразование переменного напряжения 380 В 50 Гц в стабилизированное напряжение 24 В, защита от нагрузок, короткого замыкания и высокого напряжения, запас по мощности для пуска и стабильной работы электродвигателей, а также остальных элементов системы.

Проанализировав представленные БП на рынке, выбор был сделан в пользу DRP-024-480W фирмы Delta (представлен на рис. 12). Данный БП удовлетворяет всем требованиям, имеет тепловую защиту и рекомендован для использования в системах ЧПУ, для питания электроники и двигателей.





Рис. 12. Блок питания Delta DRP-024-480W

В выборе преобразователей частоты (ПЧ) для электродвигателей предъявлялись следующие требования: бесступенчатое регулирование в обоих направлениях, плавный пуск и останов, регулировка времени пуска и останова. Такие требования позволяют снизить энергопотребление, повысить надёжность установки и сохранять максимальный КПД при работе.

Также при выборе ПЧ учитываются следующие параметры: тип двигателя, питание и номинальная мощность. В установке для холодной гибки труб СХГТ-4 используются два асинхронных двигателя с питанием от сети 380 В 50 Гц мощностью 2,2 и 3 кВт.

Обзор рынка показал, что наиболее подходящим вариантом является ПЧ фирмы Веспер модели E2-8300, представленный на рис. 13. Данные ПЧ позволяют управлять электродвигателями мощностью до 4 кВт, обладают достаточной точностью при регулировании скорости вращения электродвигателей, оснащены доступным интерфейсом связи «ModBus», а также необходимыми интерфейсами промышленной сети «RS-485».



Рис. 13. Частотный преобразователь «Веспер E2-8300»

Для отсчёта угла гиба необходим датчик или отсчётное устройство. Механические отсчётные устройства помимо морального устаревания не подходят по причине неудобства в использовании и отсутствия связи с управляющими модулями. В связи с этим выбор пал на датчики угла поворота или энкодеры. Энкодер – это устройство, предназначенное для преобразования контролируемого параметра вращения вала в электрические сигналы, что позволяет определить угол гиба. Такие датчики широко применяются в промышленности (сервоприводы), для робототехнических комплексов, в системах технологического контроля, в компьютерной технике. По способу выдачи информации энкодеры подразделяют на инкрементальные и абсолютные. Абсолютные энкодеры обладают повышенной точностью, запоминают положение после выключения и включения питания и не требуют счётчика импульсов. Такой функционал является избыточным, а сам датчик выходит более дорогим. В связи с этим выбор был сделан в пользу инкрементальных энкодеров. Точность таких энкодеров зависит от количества импульсов за единицу времени. Роль счётчика импульсов для такого энкодера будет выполнять управляющий ПЛК, что упрощает конструкцию.

Взяв во внимание максимальную частоту обработки импульсов ПЛК «Овен 160» и обороты вала, был произведён расчёт частоты импульсов для энкодера по формуле 1.

$$N = \frac{60 * f}{2 * \omega}, \quad (1)$$

где  $f$  – максимальная входная частота ПЛК,  $\omega$  – максимальная скорость вращения вала датчика поворота.

$$N = \frac{60 * 10000}{2 * 5} = 60000 \text{ имп/об.}$$

Подходящим по характеристикам энкодером является модель «ЛИР-158А» фирмы СКБ ИС (г. Санкт-Петербург) первого исполнения с цельным валом, представленная на рис. 14.



*Рис. 14. Габаритные размеры датчика «ЛИР-158А»*

Для подключения энкодера необходимо использовать муфту, которая должна удовлетворять следующим требованиям: полное отсутствие зазора, высокая упругость на кручение, точная передача углового и крутящего момента, долговечность, лёгкий монтаж и выравнивание осевых, боковых и угловых смещений вала. Данным условиям удовлетворяет сильфонная муфта «ЛИР-825», представленная на рис. 15.



*Рис. 15. Сильфонная муфта «ЛИР-825»*

На основе функциональной схемы, рассмотренной на рис. 9, разработана структурная схема, представленная на рис. 16, которая показывает взаимосвязь элементов. Данная система управления состоит из блока питания «DRP-024-480W», который подключается к сети 380 В. С БП постоянный ток 24 В подается на логический контролер ПЛК «Овен 160», датчик угла поворота ЛИР-158 и панель управления «Овен ИП320». ПЛК подключается к панели управления «Овен ИП320» через промышленную сеть «ModBus» и может быть перенастроен оператором с помощью данной панели управления. Панель управления подключена к персональному компьютеру через порт «RS-485». Для управления асинхронными двигателями гибочного ролика и раскатной головки используется частотный преобразователь «Веспер Е2-8300», на аналоговые входы которого приходит управляющий сигнал с логического контролера. Изменения положения гибочного ролика во время работы фиксируется датчиком угла поворота, сигнал с датчика положения поступает на контролер, за счёт чего образуется связь. Текущие и конечные параметры положения угла гибки и скорости вращения двух двигателей выводятся на панель «Овен ИП320».

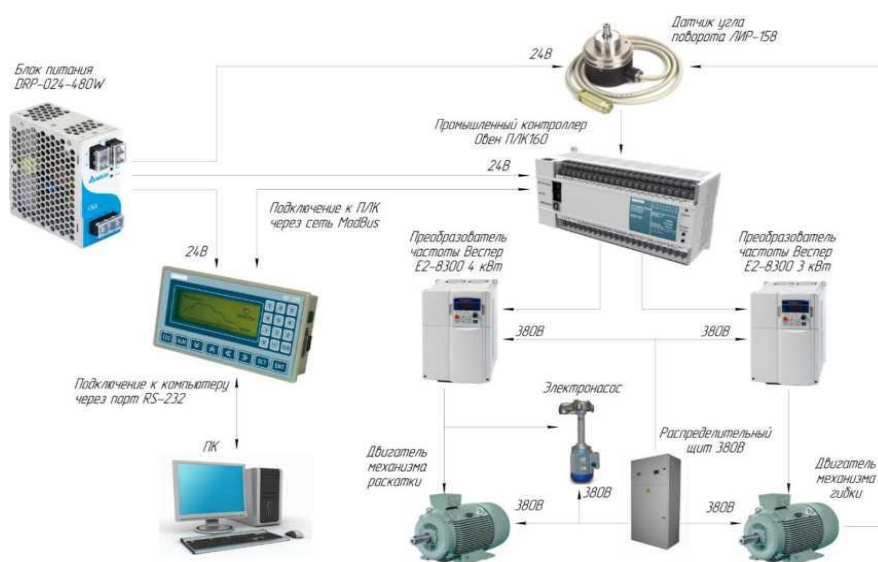


Рис. 16. Структурная схема системы управления

Внедрение новых устройств в текущую систему управления привело к существенному изменению электрической части установки для гибки труб. На основании разработанной ранее структурной схемы управления была разработана электрическая схема, показанная на рис. 17, в которой основными компонентами являются ПЛК, ПЧ и энкодер. Установленные преобразователи частоты заменяют собой магнитные пускатели КМ1–КМ4 и защитные термореле двигателей КК1–КК3. Часть электрической схемы отдельно отвечает за реверс двигателя М2, тем самым повышая надежность системы в целом.

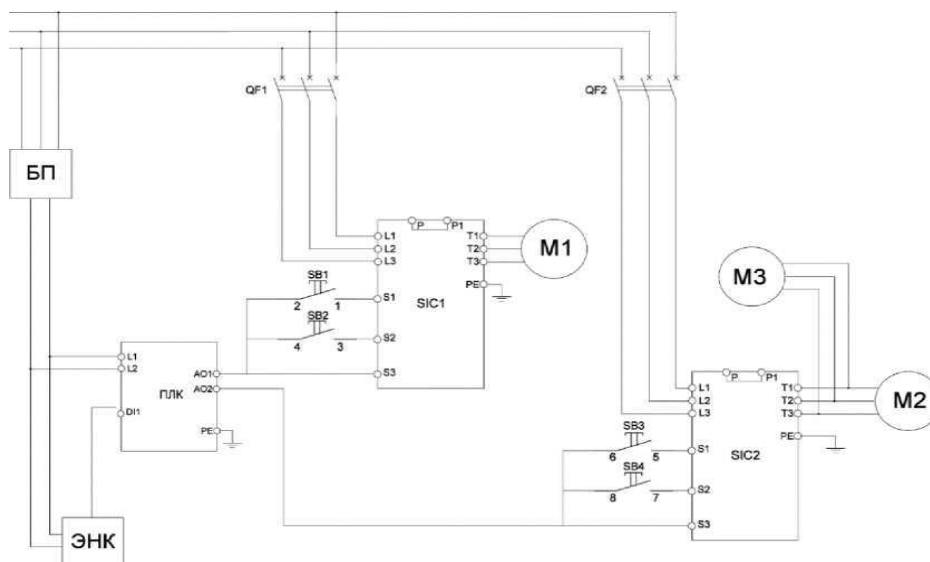


Рис. 17. Схема электрическая принципиальная

Разработанная система управления позволяет повысить производительность и качество гибки труб методом раскатывания, упростить эксплуатацию и повысить ресурс оборудования.

## Литература

1. Пат. № 818707 РФ. МКИ В 21 D 9/14. Способ гибки труб: № 2713945/25; опубл. 07.04.81 / Лакирев С. Г., Хилькевич Я. М.
2. Халиулин, Е. В. Станок для гибки труб из титановых сплавов / Е. В. Халиулин, А. В. Козлов // Сборник трудов 69 научной конференции «Наука ЮУрГУ». – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2017. – С. 545-549.
3. Козлов, А. В. Технология и оборудование холодной гибки тонкостенных труб: монография / А. В. Козлов, А. В. Бобылев. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 169 с.
4. Козлов, А. В. Оценка натягов и усилий при гибке труб с раскатыванием / А. В. Козлов, Я. М. Хилькевич // Вестник ЮУрГУ. – 2004. – № 5(34). – С. 125-131.
5. Козлов, А. В. Изучение тепловых явлений при гибке труб с раскатыванием / А. В. Козлов, А. В. Бобылев. – Рубцовск: Рубцовский технол. ин-т, 2000. – С. 118-120.
6. Козлов, А. В. Опыт гибки тонкостенных труб в холодном состоянии / А. В. Козлов, В. Г. Шеркунов, Я. М. Хилькевич // Технология машиностроения. – 2008. – № 10. – С. 21-22.
7. Козлов, А. В. Оценка натягов и усилий при гибке труб с раскатыванием / А. В. Козлов, Я. М. Хилькевич // Вестник ЮУрГУ. – 2004. – № 5(34). – С. 125-131.
8. Козлов, А. В. Напряженное состояние в трубе при ее гибке с раскатыванием и парами близко расположенных деформирующих элементов / А. В. Козлов, В. Г. Шеркунов, Я. М. Хилькевич // Вестник машиностроения. – 2009. – № 8. – С. 67-70.
9. Козлов, А. В. Изучение влияния холодной гибки труб с раскатыванием на структуру и свойства металла // А. В. Козлов, И. В. Чуманов, А. В. Бобылев // Известия вузов. Черная металлургия. – 1999. – № 6. – С. 33-35.
10. Козлов, А. В. Механизмы снижения усилий гибки труб при их раскатывании с большими натягами / А. В. Козлов, В. Г. Шеркунов, Я. М. Хилькевич // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. – 2009. – № 4. – С. 36-39.
11. Козлов, А. В. Компьютерное моделирование процесса гибки труб с раскатыванием / А. В. Козлов, В. Г. Шеркунов // Известия ТулГУ. Серия: Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. – Вып. 4. – С. 28-33.
12. Козлов, А. В. Изучение тепловых явлений при гибке труб с раскатыванием / А. В. Козлов, А. В. Бобылев, С. П. Максимов // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. – 2018. – Т. 16. – № 3. – С. 87-97.

13. Козлов, А. В. Разработка оборудования для холодной гибки труб с раскатыванием / А. В. Козлов // Вестник МТГУ им. Г.И. Носова. – 2010. – № 1. – С. 34-36.

УДК 62-4

### **Практическое применение модельного пластика**

Осипова Наталья Валерьевна, студент специальности

«Проектирование технологических машин и комплексов»;

Дьяконова Валерия Александровна, студент специальности

«Проектирование технологических машин и комплексов»;

Токарев Артем Сергеевич, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Технология машиностроения»;

Пузыня Кирилл Юрьевич, преподаватель кафедры «Технология машиностроения»

Трёхгорный технологический институт – филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

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

*В данной работе рассмотрены основные физико-механические свойства модельного пластика, а также основные сферы применения деталей из модельного пластика. Изучена технология изготовления деталей из модельного пластика. Определение погрешности выполнения готового изделия различных геометрических форм при использовании двух видов пластика ABS и PLA для мастер-модели, и получены необходимые данные для изготовления точных изделий. Рассчитана стоимость единицы продукта и партии деталей.*

Удовлетворяя потребности разных промышленных отраслей в обеспечении надежными, прочными, износостойкими деталями и комплектующими, все чаще производители в качестве сырья используют полимеры. Свойства их настолько уникальны, что сферы практически не имеют границ и вполне заслуженно полимер называют материалом будущего.

Цель исследования: определение погрешности изготовления изделий из модельного пластика различных геометрических форм при использовании двух видов пластика для мастер-модели и получение необходимых данных для изготовления точных изделий.

Несмотря на все кризисы последних лет промышленность демонстрирует уверенный рост. По этой причине активно развиваются литейные производства, требующие все больше литейных форм. Для производства последних сегодня обычно используют модельный пластик – современный полимерный материал. Его преимущества очевидны: приемлемая стоимость, легкость обработки, различные характеристики используемых материалов, что позволяет подобрать пластик нужного типа для каждого проекта.

Из всех известных видов сырья наиболее распространенной является полимерная пластмасса двух видов: ABS и PLA пластик. Это термопластики, которые расплавляются при высокой температуре и затвердевают при остывании. Из них можно изготавливать любые изделия.

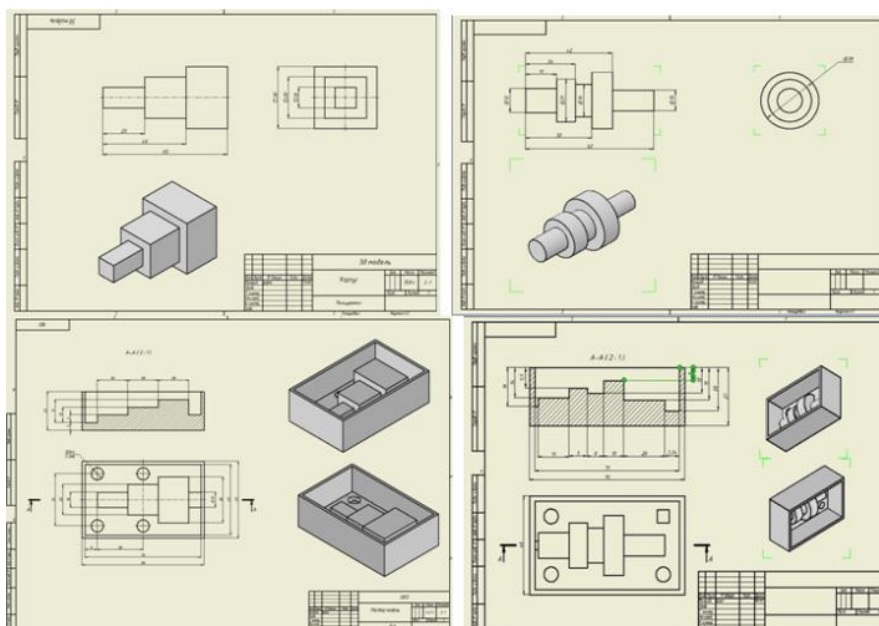
Отличительные свойства ABS пластика: высокая теплостойкость, невысокая устойчивость к ультрафиолетовому излучению. По лёгкости 3D печати это второй материал после PLA пластика. ABS более хрупкий: при сильном ударе ABS ломается. А также он значительно жестче: там, где PLA уже начинает гнуться, ABS сохраняет форму и держит нагрузки.

Отличительные свойства PLA пластика: изделие очень быстро затвердевает при использовании вентилятора для охлаждения. PLA минимально деформируется при изменении температуры. Также он более вязкий: при сильном ударе PLA погнется, а не сломается [1].

Технология изготовления деталей из полимерной пластмассы заключается в процессе создания изделий методом литья. Он практически всегда одинаков: создаем модель, с её помощью создаем силиконовую форму, заливаем в нее материал, получаем изделие.

Был поставлен вопрос: возможно ли на базе лабораторий сделать полный цикл изготовления изделий из полиуретана для выполнения заказов от ФГУП «Приборостроительный завод имени К.А. Володина». Для осуществления заказов для завода необходимо понимать, какую точность готового изделия можно предоставить, то есть необходимо определить усадку на всех этапах изготовления изделия, проанализировать и найти коэффициенты усадки, а также узнать, какая будет стоимость единицы продукта или партии деталей.

Первым этапом необходимо смоделировать будущие изделия. Усадка также зависит от геометрии, поэтому берем образцы разной геометрической формы – призматической и цилиндрической.



*Рис. 1. Моделирование будущих изделий и мастер-моделей*

Следующим этапом задаём программу печати на высоту слоя 0,10 мм, 0,15 мм, 0,20 мм и 0,25 мм. Основной параметр качества поверхности – это высота слоя, чем она меньше, тем качественнее изделие, тем меньше видно послойное наращивание.

Далее производим печать мастер-моделей, изготовление в мастер-моделях силиконовых матриц и отливку в матрицах модельного пластика.

Усадка – это фактор, с которым приходится сталкиваться каждый раз при изготовлении изделия. Проводим измерения на точность: измеряем изделие и находим коэффициенты усадки. Коэффициент усадки – это коэффициент, на который необходимо увеличить размеры готового изделия. Мы определяем КУ на разных геометрических формах для того, чтобы в дальнейшем с их учетом изготавливать точную продукцию.

Получаем три графика зависимости погрешности от высоты слоя для PLA пластика, которые представлены на рис. 2.



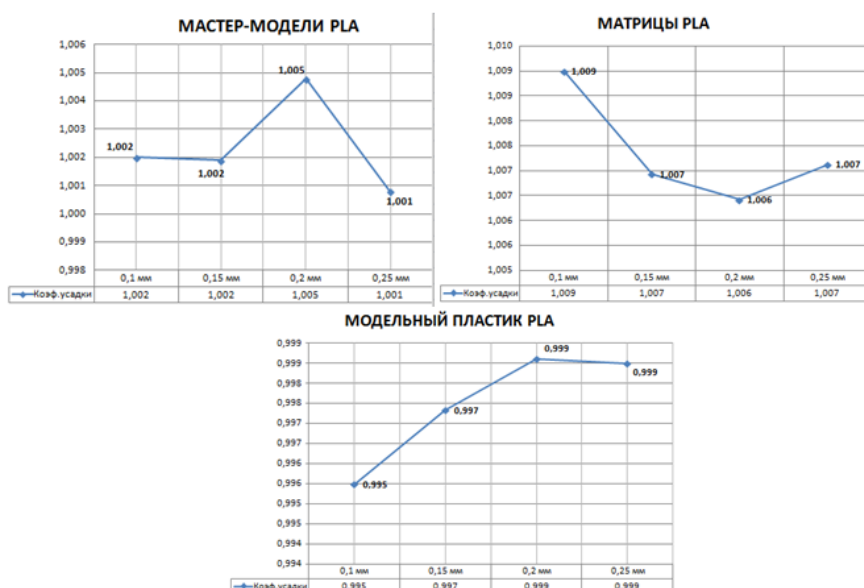


Рис. 2. Графики погрешности мастер-модели, силиконовой матрицы и готового изделия из модельного пластика для PLA пластика

Получаем три графика зависимости погрешности от высоты слоя для ABS пластика, которые представлены на рис. 3.

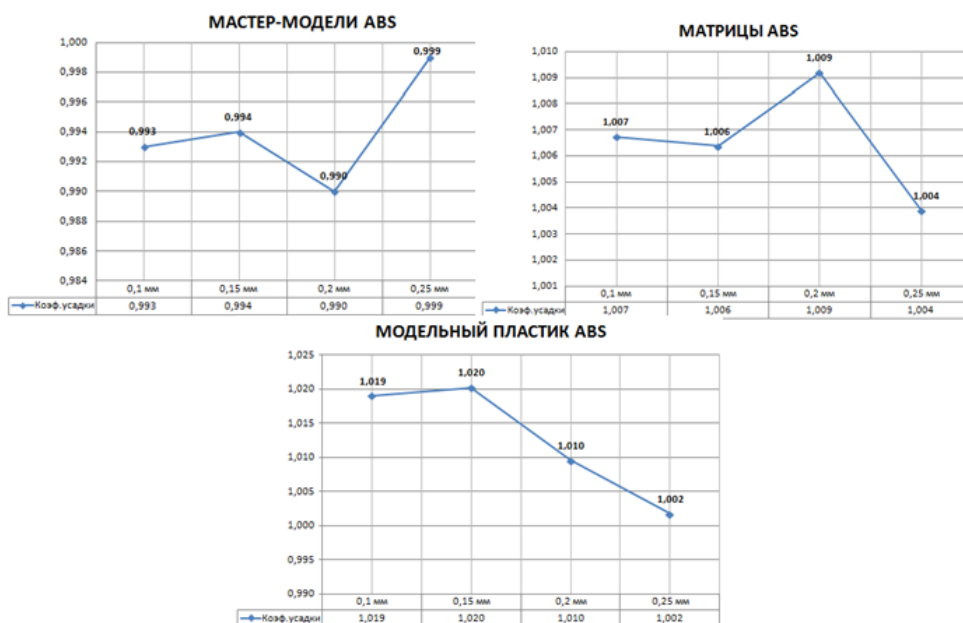


Рис. 3. Графики погрешности мастер-модели, силиконовой матрицы и готового изделия из модельного пластика для ABS пластика

Определим качество поверхности по образцам шероховатости литой поверхности. На каждую высоту слоя при печати будет своя шероховатость – чем меньше высота слоя, тем лучше, а также если установить профиль печати «КАЧЕСТВО», то шероховатость будет ниже, но это требует дополнительных временных затрат.

Сопоставим поверхности с образцами и получим, что поверхности с высотой слоя 0,20; 0,25 мм имеют шероховатость, сходную с образцом Rz 80 мкм, что соответствует Ra 12,5 мкм по таблице. А поверхности с высотой слоя 0,10; 0,15 мм выше по качеству поверхности, чем предыдущие, поэтому беру класс чистоты выше – Rz 40 мкм, что соответствует Ra 6,3.

Необходимо произвести расчет себестоимости продукции. Сначала рассчитываем стоимость необходимого сырья, определяем объем модели и матрицы, высчитываем время на изготовление, цену за одно изделие, а также рассчитываем стоимость и время изготовления для партии деталей в количестве 1000 штук. Получается, что для партии деталей в 1000 штук необходимо 10 мастер-моделей, столько же матриц из силикона. В итоге за 23 дня можно изготовить 1000 деталей, стоимость которых составит 31 425 руб. Следовательно, стоимость одной детали составит 31,425 руб. без учета амортизации. Данные таблицы представлены на рис. 4.

| Таблица 1 - Стоимость сырья           |                          |         |           | Таблица 4 - Цена 1 изделия        |              |          |
|---------------------------------------|--------------------------|---------|-----------|-----------------------------------|--------------|----------|
| Наименование позиции                  | кг                       | цена    | цена/1 гр | Мастер-модель                     | 18,79        | руб      |
| Пластик для принтера                  | 1,0                      | 1 490 Р | 0,67      | Матрица                           | 115,04       | руб      |
| Силикон                               | 5,1                      | 5 990 Р | 0,85      | Изделие                           | 29,97        | руб      |
| Модельный пластик                     | 3,2                      | 2 990 Р | 1,07      | Электроэнергия                    | 14,60        | руб      |
| Электроэнергия                        | цена 1 кВт/ч - 3,65 руб  |         |           | Итоговая цена 1 шт                | 178,40       | руб      |
|                                       |                          |         |           | Время изготовления                | 10,00        | ч        |
| Таблица 2 - Расчет параметров изделия |                          |         |           | Таблица 5 - Расчет партии деталей |              |          |
| Наименование позиции                  | Масса, г                 |         |           | Наименование позиции              | Кол-во штук: | 1000 шт  |
| Масса мастер-модели                   | 28,0                     |         |           | Кол-во, шт                        | Цена, руб    |          |
| Масса матрицы                         | 112,6                    |         |           | Мастер-модели                     | 10           | 187,9    |
|                                       |                          |         |           | Матрицы                           | 10           | 1150,4   |
|                                       |                          |         |           | Изделия                           | 1000         | 29966,6  |
| Таблица 3 - Время изготовления        |                          |         |           | Электроэнергия, руб               |              | 146,0    |
| Наименование позиции                  | Время на изготовление, ч |         |           | Итоговая цена                     |              | 31 450,9 |
| Печать                                | 4                        |         |           | Время изготовления                | 145 ч        | 6 дней   |
| Силикон                               | 5                        |         |           |                                   |              |          |
| Модельный пластик                     | 1                        |         |           |                                   |              |          |

Рис. 4. Расчетные таблицы

В результате исследования было определено, что при высоте слоя меняется точность и качество исполнения. Так при высоте слоя 0,1 или 0,15 мм получаются более качественные изделия, чем при программировании работы принтера на слой 0,2 или 0,25 мм.

Таким образом, нами было определено:

- что наименьшая усадка происходит при производстве мастер-моделей из PLA пластика на высоте слоя 0,25 мм;
- были выявлены рекомендации для устранения усадок при производстве изделий из ABS и PLA пластиков;
- при указании данных коэффициентов при проектировании можно получить точную модель.

## Литература

1. Ляпков, А. А. Полимерные аддитивные технологии: учебное пособие для вузов / А. А. Ляпков, А. А. Троян. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 120 с.
2. Преображенская, Е. В. Технологии, материалы и оборудование аддитивных производств: учебное пособие / Е. В. Преображенская, Т. Н. Боровик, Н. С. Баранова. – М.: РТУ МИРЭА, 2021. – Ч. 1. – 173 с.
3. Валетов В. А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы). Учебное пособие / В. А. Валетов. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 63 с.

УДК 621.43

### **Алгоритм работы дизель-генераторов с двигателем 6ЧН21/21 при различных климатических условиях**

<sup>1</sup>Разуваев Александр Валентинович, доктор технических наук,  
профессор кафедры «Атомная энергетика»;

<sup>2</sup>Епишин Алексей Юрьевич, кандидат технических наук,  
ведущий инженер по сборке и испытаниям дизелей и электростанций

<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>Акционерное общество «Волжский дизель имени Маминых», г. Балаково

*В статье рассматривается актуальный вопрос снижение эксплуатационного расхода топлива. Представлены варианты работы энергетических установок, в том числе на переходных режимах и с учетом температуры окружающего воздуха. На основе представленных данных сделаны основные выводы, способствующие снижению эксплуатационного расхода топлива энергоустановок.*

При эксплуатации дизелей типа 6ЧН21/21, применяемых на железнодорожном транспорте, особое внимание уделяют показателям величины расхода топлива. В маневровом режиме движения с дизелем 6ЧН21/21 общая продолжительность работы на переходных процессах составляет 50 - 60 % от общего времени работы тепловоза.

Частые смены режимов работы дизелей на переходных процессах ухудшают экономичность тепловозов, особенно при разных климатических условиях атмосферного воздуха.

Известно [1], что с ростом температуры окружающего воздуха более + 30 °С, частота вращения коленчатого вала увеличивается в зонах близкой к номинальной эффективной мощности двигателя.

С ростом температуры окружающего воздуха происходит снижение коэффициента избытка воздуха, вызванное снижением плотности воздуха, увеличением температуры выпускных газов. При работе дизелей на установившихся режимах происходит падение индикаторного КПД двигателя, вызванное изменением температуры окружающего воздуха. Чувствительность к изменению нагрузки сопровождается ростом температуры окружающего воздуха, увеличением частоты вращения коленчатого вала, а также заметным повышением расхода топлива.

При работе дизелей на холостом ходу и малых нагрузках в зимний период времени происходит ухудшение топливной экономичности из-за роста мощности механических потерь, снижения механического КПД, падения эффективной мощности.

Известно [2], чем выше температура наддувочного воздуха, тем меньше необходим подогрев заряда при впуске, так как разность температур по отношению к горячим впускным каналам и стенкам цилиндра будет меньше.

С целью получения эффективности работы дизель-генераторов необходимо разработать такой закон управления, при котором обеспечивалась бы требуемая нагрузка на двигатель с минимальными допустимыми потерями при подключении вспомогательного оборудования тепловоза.

Условием для получения работы дизель-генератора в условиях эксплуатации является:

1. Определение текущих показателей работы дизеля на режимах:

- а) эксплуатационные показатели фильтра;
- б) эксплуатационные показатели компрессора;
- в) эксплуатационные показатели охладителя;
- г) эксплуатационные показатели впускного коллектора и т. д.

2. Описываются основные блоки двигателя, после чего задается система уравнений, с помощью которой считается цикличность всех показателей работы дизель-генераторной установки.

$$\left\{ \begin{array}{l} T_1 = T_0 * (1 + KB - 1 / KB - 1) / \eta_K, \\ \pi_K = C (G_{np} - A / B)^5 + 1,005, \\ T_{\text{вып.кол}} = T_5 * (T_{\text{ком}} - T_{\text{охл}}) / \eta_{\text{охл}}, \\ G_B = V_h * P_K * \omega_d * T_{\text{вып.кол}} / 2 \pi t, \\ G_T = G_B + b t, \\ T_{TK} = T_{\text{вып.кол}} \dots \text{и т.д.} \end{array} \right. \quad (1)$$

3. После получения и отладки модели работы дизеля задается условие, по которому определяется значение частоты вращения коленчатого вала в зависимости от температуры окружающего воздуха. Диапазон температуры окружающего воздуха и выбор режима работы двигателя определяется по тепловозной характеристике.

Если температура воздуха будет больше, чем температура, равная  $T_0 = 20^\circ\text{C}$ , тогда происходит изменение частоты вращения коленчатого вала двигателя до  $n = 1400$  об/мин при  $N_e = 550$  кВт.

Если температура окружающего воздуха будет меньше, чем  $T_0 < 20^\circ\text{C}$ , тогда происходит изменение частоты вращения коленчатого вала двигателя до  $n = 1200$  об/мин, при  $N_e = 550$  кВт.

Эффективная мощность при изменении частоты вращения коленчатого вала остается постоянно заданной. Тепловозная характеристика смещается в зону ограничительной характеристики. Скоростные характеристики дизеля 6ЧН21/21 при различных условиях представлены на рис. 1.

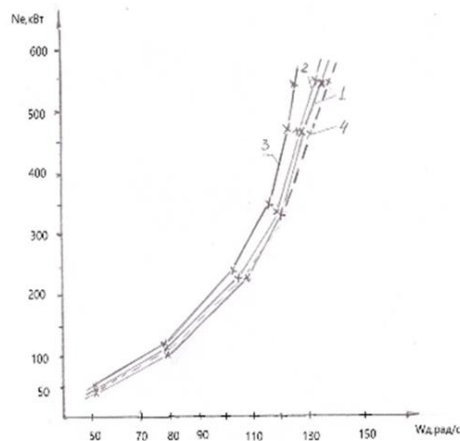


Рис. 1. Скоростные характеристики дизеля 6ЧН21/21:

1 – Серийная (имеющаяся) скоростная характеристика; 2 – Новая (предлагаемая) скоростная характеристика; 3 – Скоростная характеристика при низких температурах окружающего воздуха ( $T_0 < 20^\circ\text{C}$ ); 4 – Скоростная характеристика при высоких температурах окружающего воздуха ( $T_0 > 20^\circ\text{C}$ )

Допустимый шаг измерения частоты вращения коленчатого вала на режиме работы двигателя определяется:

$$\Delta D_{wd1z} := \frac{d_{wd1z} - d_{wd1d}}{n_k}, \quad (2)$$

где:  $n_k$  – количество режимов работы двигателя тепловоза, шт.;  $D_{wd1z}$  – заданная частота вращения коленчатого вала дизеля, рад/с;  $D_{wd1d}$  – действительная частота вращения коленчатого вала дизеля, рад/с.

Температура воздуха на входе во впускной коллектор определяется:

$$T_3 = R_z \times G_v \times \eta_{охл} (T_2 - T_{охл}) / \omega_d \quad (3)$$

где:  $G_v$  – расход воздуха, кг/с;  $T_2$  – температура воздуха перед ОНВ К;  $T_{охл}$  – температура воды на входе в охладитель наддувочного воздуха, К;  $\omega_d$  – частота вращения коленчатого вала дизеля, рад/с.

Результаты расчета эксплуатационных показателей работы двигателя 6ЧН 21/21 представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Результаты расчета эксплуатационных показателей работы двигателя 6ЧН 21/21

(экспериментальная характеристика)

| № | $\Delta_d$ ,<br>рад /с | Твпуск.кол, К | Твып.кол,<br>К | Gdis,<br>кг/с | Gпрод,<br>кг/с | Bt,<br>кг/с |
|---|------------------------|---------------|----------------|---------------|----------------|-------------|
| 1 | 146,5                  | 348           | 508,4          | 0,70          | 0,136          | 0,0342      |
| 2 | 83,7                   | 346           | 380,1          | 0,093         | 0,153          | 0,0058      |
| 3 | 54,4                   | 345           | 165,3          | 0,011         | 0,097          | 0,0012      |

Таблица 2

Результаты расчета эксплуатационных показателей работы двигателя 6ЧН21/21

(расчетная характеристика)

| № | $\Delta_d$ ,<br>рад /с | Твпуск.кол,<br>К | Твып.кол,<br>К | Gdis,<br>кг/с | Gпрод,<br>кг/с | Bt,<br>кг/с |
|---|------------------------|------------------|----------------|---------------|----------------|-------------|
| 1 | 146,5                  | 348              | 514,5          | 0,75          | 0,085          | 0,0342      |
| 2 | 83,7                   | 346              | 386,2          | 0,022         | 0,221          | 0,0056      |
| 3 | 54,4                   | 345              | 172,3          | 0,01058       | 0,0957         | 0,00105     |

где,  $\Delta_d$  – частота вращения коленчатого вала дизеля, рад/с; Твпуск.кол. – температура во впускном коллекторе, К; Твыпуск.кол – температура в выпускном коллекторе, К; Gdis – расход воздуха через дизель, кг/с; Gпрод – расход воздуха при продувке, кг/с; Bt – секундный расход топлива дизелем кг/с.

Алгоритм расчета работы силовой установки с двигателем типа 6ЧН21/21 представлен на рис. 2.

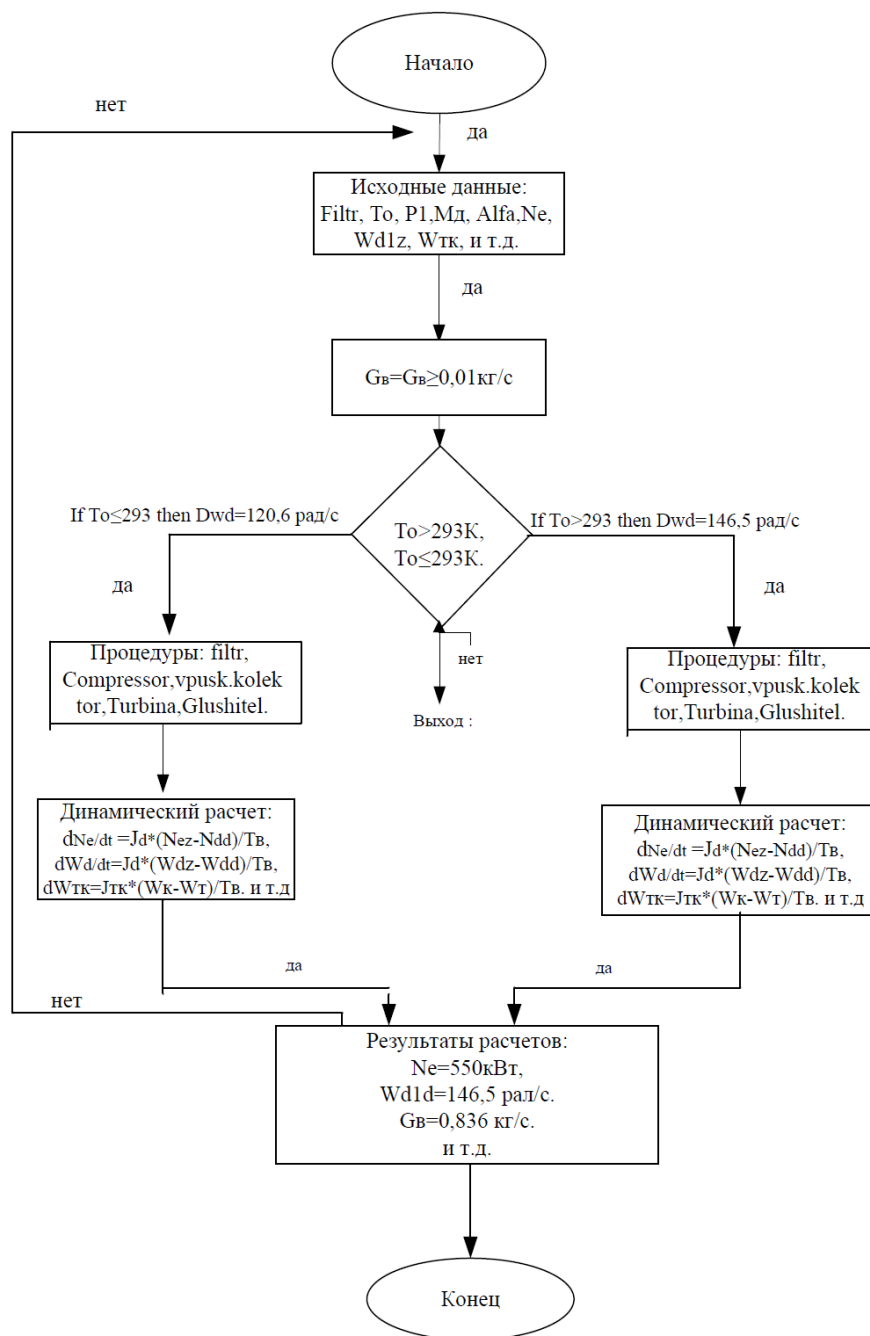


Рис. 2. Алгоритм расчета работы силовой установки с двигателем 6ЧН 21/21

На основании выше изложенного сделаны основные выводы:

Выбор и настройка режимов работы дизелей за счет изменения частоты вращения коленчатого вала при определении температуры окружающего воздуха обеспечивает улучшение технико-эксплуатационных показателей и приводит к экономии топлива.

Обеспечивая требуемый закон управления дизель-генератору по температуре окружающего воздуха, можно повысить топливную экономичность в эксплуатации. Следовательно, при снижении температуры окружающего воздуха ниже +15 °С частоту вращения коленчатого вала необходимо снизить на 15 - 20 % от номинального значения. В летний период, когда температура окружающего воздуха становится +20 °С и выше, частоту вращения коленчатого вала необходимо увеличить до номинального значения.

#### Литература

1. Бычков, Д. А Снижение эксплуатационного расхода топлива тепловозами 2ТЭ116 путем применения микропроцессорной системы управления дизель-генераторами: специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бычков Дмитрий Аркадьевич; Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. – Москва, 2005. – 178 с.
2. Циннер, К. Наддув двигателей внутреннего сгорания / К. Циннер; под ред. Н. Н. Иванченко. – Л.: Машиностроение, 1978. – 264 с.

УДК 621. 43.013

#### **Применение присадок с ПАВ для повышения эффективности поршневых двигателей**

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

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

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

*Данная статья является обзорной статьей с целью определения текущего состояния вопроса применения присадок с содержанием поверхностно-активных веществ для повышения эффективности двигателей внутреннего сгорания, используемых в том числе и в когенерационных установках для получения*



*электрической и тепловой энергии, а также для выявления дальнейших направлений научных исследований в этом вопросе.*

Применение энергетических комплексов на базе поршневых двигателей для энергоснабжения различных объектов в последнее время становится все более актуальным. Особенно важным вопросом в сложившихся к настоящему времени условиях является обеспечение энергетической безопасности как военных, так и промышленных и коммунально-бытовых объектов.

На сегодняшний день наибольшее распространение получили когенерационные установки, обеспечивающие производство как электрической, так и тепловой энергии. В качестве источника в них применяются небольшие газопоршневые двигатели внутреннего сгорания (ДВС), топливные ячейки, двигатели Стирлинга и паровые двигатели. Наиболее распространенными на сегодняшний день являются энергоустановки с ДВС. Установки же с паровым двигателем остаются в статусе экспериментальных разработок, но потенциально они обладают следующими преимуществами:

- возможность работы практически на любом сгораемом топливе, в том числе на отходах и биотопливе;
- наиболее полное сгорание топлива (по сравнению с ДВС) и, как следствие, крайне низкие выбросы;
- низкий шум (по сравнению с ДВС);
- высокий общий КПД в режиме когенерации;
- низкая стоимость при массовом серийном производстве [1].

Одним из способов повышения эффективности подобных установок является повышение эффективности самих двигателей. Одним из вариантов такого повышения является снижение механических потерь в ДВС за счет снижения трения в механизмах двигателей.

При конструировании и расчете деталей, активно участвующих в процессе трения, таких как цилиндр, поршень, поршневые кольца, подшипники коленчатого вала и др., оценка трения, изнашивания и способов их снижения не производится. В настоящее время в учебно-методической литературе по поршневым двигателям практически отсутствует систематизированное обобщение проблемы снижения механических потерь [2].

Согласно современной теории механического трения в ДВС, снижение только механического трения в ДВС может дать выигрыш в экономии топлива 25 - 30 %, что влечет за собой и снижение вредных выбросов в атмосферу соответственно [2].

Достигнуть топливной экономичности двигателей также можно за счет применения современных смазочных материалов, имеющих в своем составе специальные антифрикционные и противоизносные присадки.

Присадки к маслам – вещества, усиливающие положительные природные свойства базовых масел или придающие им необходимые новые свойства, если присадки к маслам добавлены в необходимом количестве и оптимальном сочетании. При этом чрезмерное добавление присадок к маслам или их нерациональное сочетание приводит к отрицательным последствиям [2].

Степень применения присадок зависит от необходимого уровня улучшения качества смазочного масла, который определяется предельным состоянием, достигаемым машиной или механизмом и устанавливаемым по различным видам износа: механический износ, усталостные разрушения, ползучесть, старение материала, коррозионный износ, химический (коррозионно-механический) износ и др. [2].

То, как присадки и смазочные масла влияют на предельное состояние машин и механизмов, связано со следующими факторами:

- 1) состояние и качественные характеристики трущихся поверхностей;
- 2) физико-химические свойства поверхностных слоев трущихся деталей при контактировании в условиях действия активной смазки.

В соответствии с этим присадки, предназначенные для улучшения условий работы трущихся пар при тяжелых режимах, можно условно разделить на две группы [3]:

- 1) присадки, адсорбирующиеся или хемосорбирующиеся на металлических поверхностях;
- 2) присадки, образующие с металлом химические соединения (неорганические производные хлора, серы, фосфора и других элементов), которые играют роль квазисмазочных слоев.

К первой группе относятся антифрикционные присадки, ко второй – противоизносные и противозадирные присадки [3].

Масла, применяемые в ДВС, должны обладать высокой смазывающей способностью и высокой поверхностной активностью, чтобы создавать на поверхности трущихся деталей прочную пленку, способную предотвращать или уменьшать их износ при рабочих нагрузках и скоростях. Это требование к маслам было сформулировано на основании развития гидродинамической теории смазки [4].

Различают жидкостную и граничную смазки. В первом случае смазывающее действие определяется в основном вязкостью масла, а во втором – смазывающее

действие определяется в основном поверхностно-активными свойствами масла. Основной оценкой смазывающей способности граничных пленок является маслянистость – способность смазки обеспечивать снижение коэффициента трения [4].

При граничном трении в результате адсорбции поверхностно-активных компонентов масел активными центрами твердой поверхности на металле образуется граничная пленка, которая разделяет трущиеся поверхности и препятствует непосредственному их контакту. Такие адсорбционные пленки способны защищать металлические поверхности от трения и износа только при сравнительно невысоких температурах и нагрузках; при повышении этих параметров пленки десорбируются, вследствие чего теряется смазочная способность масла. Поэтому для снижения трения и защиты поверхностей от износа при высоких удельных нагрузках и высоких местных температурах на трущихся поверхностях следует создавать прочные граничные пленки путем применения различных химически активных соединений – присадок. Если поверхностно-активные компоненты масел лишь адсорбируются на металле, то присадки, вводимые в масла, в основном химически взаимодействуют с трущимися поверхностями, образуя более прочные граничные пленки [4].

Антифрикционные присадки снижают или стабилизируют коэффициент трения, т. е. повышают маслянистость. В качестве антифрикционных присадок применяются вещества, обладающие поверхностной активностью: природные жиры, жирные кислоты, их эфиры и соли и др. Молекулы указанных веществ, адсорбируясь на поверхности металла, препятствуют непосредственному контакту трущихся поверхностей [5].

Противоизносные присадки предотвращают интенсивный износ трущихся поверхностей при нормальных режимах трения без заедания. В условиях умеренных нагрузок и температур противоизносными присадками могут служить многие поверхностно-активные вещества (ПАВ). Однако при трении соприкасающиеся поверхности значительно нагреваются и адсорбционная способность смазки уменьшается. Поэтому в качестве противоизносных присадок применяют лишь те ПАВ, которые при повышении температуры способны реагировать с поверхностями металла и образовывать пленки, препятствующие схватыванию поверхностей. Такими веществами являются некоторые соединения, содержащие неактивную серу, а также эфиры кислот фосфора [5].

Противозадирные присадки способствуют образованию пленок, повышающих критическую нагрузку, снижающих интенсивный износ и в значительной степени предотвращающих заедание при сверхвысоких нагрузках. Действие противозадирных

присадок заключается в химическом взаимодействии продуктов их разложения с металлом при высоких температурах трения. В результате образуются соединения с металлом, имеющие меньшее сопротивление срезу и более низкую температуру плавления, чем чистые металлы, вследствие чего предотвращается заедание и схватывание соприкасающихся поверхностей [5].

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы. Применение присадок с ПАВ к маслам позволяет повысить их смазывающую способность, что ведет к уменьшению трения в механизмах ДВС, а следовательно, к снижению износа и экономии топлива на 25 - 30 %. Однако применение присадок для смазочных масел должно основываться на связи между качеством присадок и необходимым уровнем улучшения качества смазочного масла. Этот уровень определяется предельным состоянием, достигаемым машиной или механизмом и устанавливаемым степенью износа.

Также вопросы применения присадок к маслам для двигателей, используемых в качестве первичного источника в когенерационных установках, требуют проведения дополнительных исследований, учитывающих особенности работы ДВС в энергетических комплексах.

#### Литература:

1. Кропачев, А. Паропоршневые технологии в малых когенерационных установках / А. Кропачев // Аква-Терм. – 2017. – № 6: [сайт]. – URL: [https://aqua-therm.ru/articles/articles\\_529.html](https://aqua-therm.ru/articles/articles_529.html) (дата обращения: 10.04.2023). – Текст: электронный.
2. Путинцев, С. В. Механические потери в поршневых двигателях: специальные главы конструирования, расчета и испытаний / С. В. Путинцев. – М.: МГТУ им. Н. Баумана, 2011. – 288 с.
3. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Т 581 Справочник / И. Г. Анисимов, К. М. Бадыштова, С. А. Бнатов [и др.]; под ред. В. М. Школьников. – Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Техинформ», 1999. – 596 с.
4. Митусова, Т. Н. Современные дизельные топлива и присадки к ним / Т. Н. Митусова, Е. В. Полина, М. В. Калинина. – М.: Изд-во «Техника». ООО «ТУМА ГРУПП», 2002. – 64 с.
5. Данилов, А. М. Применение присадок в топливах для автомобилей: Справочник. / А. М. Данилов. – М.: Химия, 2000. – 232 с.

### **Биогаз как альтернативный вид топлива**

Разуваев Александр Валентинович, доктор технических наук,

профессор кафедры «Атомная энергетика»;

Костин Дмитрий Александрович, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Атомная энергетика»;

Махов Иван Евгеньевич, студент направления «Теплоэнергетика и теплотехника»

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

*В настоящее время наблюдается все больший рост цен на традиционные энергоносители, такие как нефть и природный газ. В сложившихся условиях альтернативным видом топлива для получения электрической и тепловой энергии может стать так называемый биогаз. Применение данного вида возобновляемого топлива поможет обеспечить энергией небольшие объекты сельского и жилищно-коммунального хозяйства.*

Побочным продуктом производства биогаза является получение чистых органических удобрений, сопоставимых по органической ценности с комплексными удобрениями.

Так что же такое биогаз? Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Биогаз – это общий термин, обозначающий газы, образующиеся в результате разложения органического материала, которым является навоз, помет, а также другие органические отходы зернового и животноводческого производства. По мере разрушения материала образуется метан ( $\text{CH}_4$ ) [1].

После получения метана навоз или помет превращаются в качественное удобрение, содержащее калий, азот, фосфор и почвообразующие кислоты.

Биогаз образуется в результате анаэробной ферментации органических материалов, которая обычно происходит в больших резервуарах – анаэробных реакторах без доступа атмосферного кислорода [1].

Иными словами, биогаз представляет собой смесь различных газов, которая получается в результате деятельности особых микроорганизмов (бактерий и археев) (рис. 1), питающихся различной органикой, в том числе навозом [1].

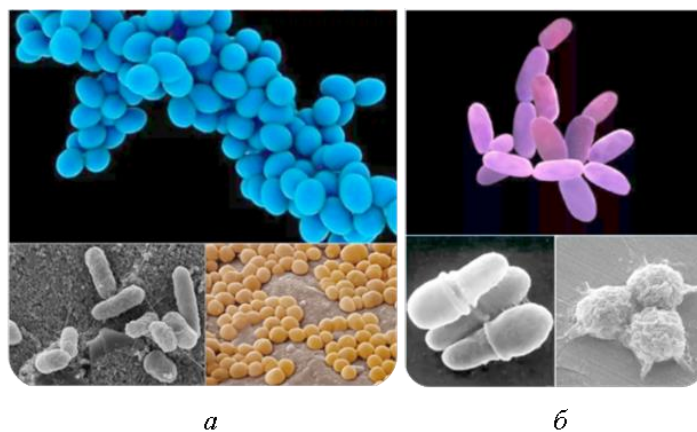


Рис. 1. Бактерии – а; археи – б

Примерный состав биогаза приведен в табл. 1.

Таблица 1

Состав биогаза

| Газ            | Химическая формула   | Объем    |
|----------------|----------------------|----------|
| Метан          | $\text{CH}_4$        | 40 -70 % |
| Углекислый газ | $\text{CO}_2$        | 30 -60 % |
| Другие газы    |                      | 1 -5 %   |
| Водород        | $\text{H}_2$         | 0 -1 %   |
| Сероводород    | $\text{H}_2\text{S}$ | 0 -3 %   |

Биогазовая установка является сложным устройством, состоящим из множества элементов. Схема такой установки зависит в большой степени от типа и количества поставляемого сырья [2].

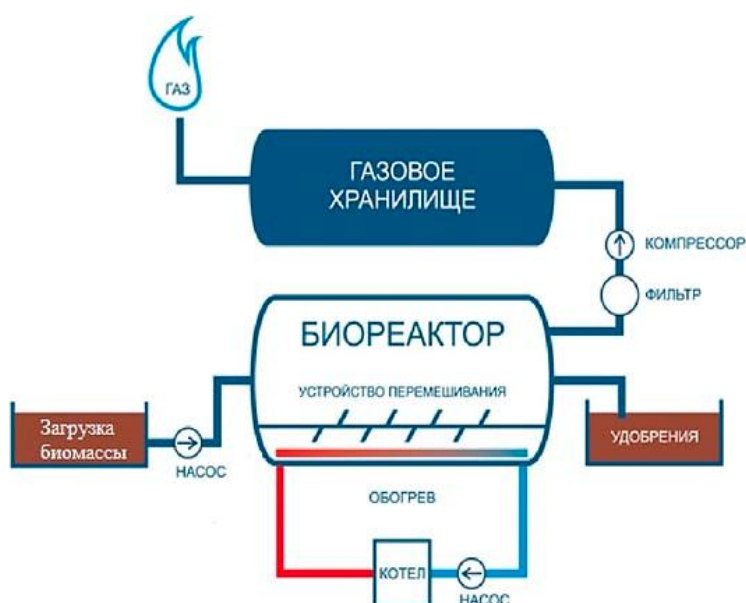


Рис. 2. Схема простой биогазовой установки

Биогазовые установки могут устанавливаться как очистные сооружения на фермах, птицефабриках, спиртовых заводах, сахарных заводах, мясокомбинатах.

Биогазовая установка должна иметь необходимые части: емкость гомогенизации, загрузчик твердого (жидкого) сырья, реактор, мешалки, газгольдер, система смешивания воды и отопления, газовая система, насосная станция, сепаратор, приборы контроля, КИПиА с визуализацией, система безопасности.

Использование подобных установок способствует повышению защиты окружающей среды и улучшению санитарных условий в сельских районах. А за счет реализации получаемых в процессе удобрений достигается дополнительный экономический эффект.

Биогазовые установки также называют биореакторами. Процесс получения газа в них состоит из следующих этапов:

- 1) Загрузка сырья в биореактор.
- 2) Подготовка сырья, его гомогенизация и перемешивание в специальной установке.
- 3) Анаэробное (бескислородное) сбраживание, продуктом чего является биогаз.
- 4) Передача биогаза для дальнейшего использования.
- 5) Использование отработанного сырья в качестве удобрения.

Процесс переработки биомассы в биогаз заключается в том, чтобы поместить биологические отходы (навоз, стоки очистных сооружений, пивную барду и т. п.) в емкости, которые называются ферментерами. Такая емкость должна быть плотно закрыта, чтобы обеспечить бескислородное брожение отходов, которые время от времени необходимо перемешивать. Температура процесса должна быть 35 - 55 °С. Спустя несколько недель из ферментеров начнет выделяться горючий газ – смесь метана и углекислого газа с небольшими примесями сероводорода. Этот газ называется биогаз. Концентрация метана в нем 50 - 60 %. Если биогаз очистить от примесей и CO<sub>2</sub> – получим биометан. Полный аналог природного газа [3].

Сельскохозяйственные биогазовые установки не имеют принципиальных отличий, за исключением используемого субстрата.

Существуют промышленные и кустарные установки. Промышленные установки отличаются от кустарных наличием механизации, систем подогрева, гомогенизации, автоматики. Наиболее распространённый промышленный метод – анаэробное сбраживание в метантанках [3].

Для очистки биогаза применяют несколько технических решений, каждое из которых нацелено на удаление из его состава определенного вещества. Воду удаляют с

помощью конденсации, для чего продукт сначала нагревают, затем проводят через холодную трубу, на стенках которой и оседают капельки воды [3].

Биогазовая установка в настоящее время является характерным элементом современного, безотходного производства во многих областях сельского хозяйства и пищевой промышленности. Если на предприятии есть отходы сельского хозяйства или пищевой промышленности, появляется реальная возможность с помощью биогазовой установки не только значительно сократить расходы на энергию, но и повысить эффективность предприятия, получить дополнительную прибыль [3].

Переработанный навоз, барда и другие отходы применяются в качестве удобрения в сельском хозяйстве. Это позволяет снизить применение химических удобрений, сокращается нагрузка на грунтовые воды [3].

Из вышесказанного можно сделать вывод, что биогаз обладает высоким потенциалом в качестве альтернативы традиционным углеводородам. Применение биогазовых установок позволяет снизить вредные выбросы в окружающую среду. Использование органических отходов также способствует защите окружающей среды, а получение удобрений в качестве побочного продукта создает дополнительный экономический эффект.

При дальнейшем развитии биогазовых технологий биогаз может стать основным источником энергии для удаленных объектов, где существует проблема с прокладкой газопроводов, но есть потенциал для развития сельского хозяйства.

#### Литература

1. Черемухин, Р. А. Биогаз как альтернативный источник энергии / Р. А. Черемухин, А. А. Смирнова // Материалы VII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум»: [сайт]. – URL: <https://scienceforum.ru/2015/article/2015014071> > <https://scienceforum.ru/2015/article/2015014071> (дата обращения: 21.04.2023). – Текст: электронный.
2. Блинова, Л. А. Биогазовые установки как альтернативный источник энергии в АПК РФ / Л. А. Блинова. // Сборник материалов II Международной научной конференции «Проблемы современной экономики». – Челябинск: Два комсомольца, 2012. – С. 41-44. – URL: <https://moluch.ru/conf/econ/archive/56/2719/> (дата обращения: 21.04.2023).
3. Биогаз – альтернативное топливо будущего / Портал «Твердые бытовые отходы»: [сайт]. – URL: <https://www.solidwaste.ru/publ/view/581.html/> (дата обращения: 21.04.2023).



### **Особенности процесса пиролиза различных веществ в газогенераторах**

Разуваев Александр Валентинович, доктор технических наук,

профессор кафедры «Атомная энергетика»;

Костин Дмитрий Александрович, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Атомная энергетика»;

Фролов Евгений Данилович, студент направления «Теплоэнергетика и теплотехника»

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

*В статье описывается процесс пиролиза, происходящий в газогенераторах, и продукты, получаемые в результате. Рассмотрены процессы пиролиза различных веществ: угля с последующей конверсией метана, парциальное окисление углеводородов, древесины. Основным продуктом пиролиза является генераторный, или синтез-газ, который является альтернативным видом возобновляемого топлива.*

В современных условиях газогенераторы находят все большее применение в качестве источников возобновляемого топлива. Таким топливом является газогенераторный газ, получаемый в процессе пиролиза – разложения органических природных соединений при недостатке кислорода (древесины, нефтепродуктов и прочего). Другое его название – синтез-газ.

Синтез-газ, или генераторный газ, широко используется в различных химических процессах при производстве аммиака, метанола, высших спиртов и других химических продуктов, а также жидкого топлива, заменяющего бензин и дизельное топливо. Его применяют как восстановитель при получении металлов и других соединений из оксидного, сульфидного и другого сырья [1].

Такой газ, нагретый до высокой температуры, обладает большим восстановительным потенциалом. В этой связи существенное внимание уделяется плазмохимическим методам получения конвертированного газа. Синтез газа устойчив при комнатной температуре, поэтому получить его технологически достаточно просто и дешево – нет необходимости в поддержании слишком высоких температур процесса [1].

Углеродсодержащим сырьем для получения синтез-газа может служить любой вид материалов, содержащих углерод: газообразные и жидкие углеводороды, уголь, торф, биомасса, промышленные и бытовые отходы. Для стехиометричности состава в

качестве недостающего кислородсодержащего сырья используются вода (водяной пар), двуокись углерода, воздух и кислород [1].

Существует множество различных способов получения синтез-газа. Одним из самых перспективных является пиролиз (сухая перегонка) древесины. Для осуществления пиролиза возможно применение дуговых генераторов плазмы – плазмотронов.

Рассмотрим некоторые из способов получения синтезированного газа.

Газификация угля.

Процесс основан на взаимодействии угля с водяным паром:

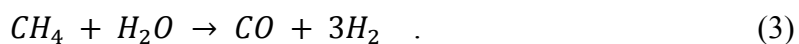


Эта реакция является эндотермической, равновесие сдвигается вправо при температурах 900 - 1000 °С. Разработаны технологические процессы, использующие паро-кислородное дутье, при котором наряду с упомянутой реакцией протекает экзотермическая реакция горения угля, обеспечивающая нужный тепловой баланс:



Конверсия метана.

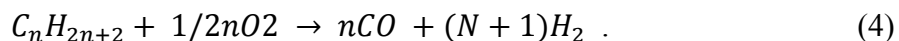
Реакция взаимодействия метана с водяным паром проводится в присутствии никелевых катализаторов (Ni – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) при повышенных температурах (800 – 900 °С) и давлении:



В качестве сырья вместо метана может быть использовано любое углеводородное сырье.

Парциальное окисление углеводородов.

Процесс заключается в неполном термическом окислении углеводородов при температурах выше 1300 °С:



Способ применим к любому углеводородному сырью. Соотношение CO:H<sub>2</sub> существенно зависит от применяемого способа получения синтез-газа. При газификации угля и парциальном окислении это соотношение близко к 1:1, тогда как при конверсии метана соотношение CO:H<sub>2</sub> составляет 1:3.

В настоящее время разрабатываются проекты подземной газификации, то есть газификации угля непосредственно в пласте. Интересно, что эта идея была высказана Д.И. Менделеевым более 100 лет назад. В перспективе синтез-газ будут получать газификацией не только угля, но и других источников углерода вплоть до городских и сельскохозяйственных отходов.

Отдельно рассмотрим пиролиз древесины [2].

Древесина состоит преимущественно из органических веществ (99 % общей массы). Элементный химический состав древесины разных пород практически одинаков. Абсолютно сухая древесина в среднем содержит 49 % углерода, 44 % кислорода, 6 % водорода, 0,1 - 0,3 % азота. При сжигании древесины остаётся её неорганическая часть – зола. В состав золы входят кальций, калий, натрий, магний и другие элементы [2].

Перечисленные химические элементы образуют основные органические вещества: целлюлозу, лигнин и гемицеллюлозы.

Целлюлоза – природный полимер, полисахарид с длинной цепной молекулой (рис. 1). Это очень стойкое вещество, нерастворимое в воде и обычных органических растворителях (спирте, эфире и др.), белого цвета. Пучки макромолекул целлюлозы – тончайшие волокна – называются микрофибриллами. Они образуют целлюлозный каркас стенки клетки. Микрофибриллы ориентированы преимущественно вдоль длинной оси клетки, между ними находится лигнин, гемицеллюлозы, а также вода [2].

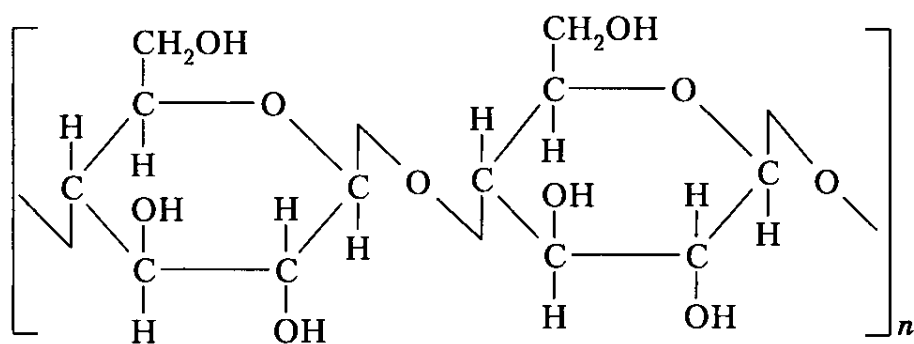


Рис. 1. Структура молекулы целлюлозы

Лигнин – полимер ароматической природы (полифенол) сложного строения; содержит больше углерода и меньше кислорода, чем целлюлоза. Именно с этим веществом связан процесс одревеснения молодой клеточной стенки. Лигнин химически нестойк, легко окисляется, взаимодействует с хлором, растворяется при нагревании в щелочах, водных растворах сернистой кислоты и её кислых солей [2].

Гемицеллюлозы – группа полисахаридов, в которую входят пентозаны и гексозаны. Формула гексозанов на первый взгляд идентична формуле целлюлозы. Однако степень полимеризации у всех гемицеллюлоз гораздо меньше и составляет 60-200. Это свидетельствует о более коротких цепочках молекул и меньшей стойкости этих веществ по сравнению с целлюлозой [2].

Кроме основных органических веществ, в древесине содержится сравнительно небольшое количество экстрактивных веществ (танинов, смол, камедей, пектинов, жиров и др.), растворимых в воде, спирте или эфире [2].

Пиролиз или сухая перегонка древесины – один из распространенных процессов химической технологии. Различают две разновидности пиролиза – быстрый и медленный.

Медленный пиролиз применяется давно. Основным его недостатком является невозможность 100%-го превращения исходного сырья в синтез-газ. Для его осуществления обычно применяют древесину лиственных пород (березы), реже древесину хвойных пород. Довольно распространенной разновидностью пиролиза можно назвать быстрый пиролиз, в ходе которого тепловая энергия подводится к исходной смеси на высокой скорости. Весь процесс протекает без доступа кислорода [3].

Главные особенности быстрого пиролиза лесоматериалов:

- возможность формирования замкнутого непрерывно текущего технологического производственного процесса;
- значительная «чистота» конечных продуктов пиролиза, которая достигается вследствие отсутствия стадии осмоления;
- низкая энергоемкость подобного процесса по сравнению с прочими видами пиролиза;
- в этом процессе выделяется большое количество тепловой энергии (экзотермические реакции при быстром пиролизе превосходят эндотермические) [3].

При пиролизе древесины березы (влажность 10 - 15 %) получают: 24 - 25 % древесного угля, 50 - 55 % жидких (так называемая жижка) и 22 - 23 % газообразных продуктов.

Среди газообразных продуктов пиролиза [3]:

- 45 - 55 % диоксида углерода  $\text{CO}_2$ ;
- 28 - 32 % оксида углерода  $\text{CO}$ ;
- 1 - 2 % водорода  $\text{H}_2$ ;
- 8 - 21 % метана  $\text{CH}_4$ ;
- 1,5 - 3,0 % прочих углеводородов.

Состав продуктов термораспада различных видов древесины представлен в табл. 1 [3].

## Выход продуктов термораспада

| Сырье  |                | Продукты термораспада, масс. % от массы а. с. д. |       |                         |      |      |
|--------|----------------|--------------------------------------------------|-------|-------------------------|------|------|
|        |                | уголь                                            | смолы | Легколетучие компоненты | газы | вода |
| Ель    | древесина кора | 37,9                                             | 15,3  | 6,3                     | 18,2 | 22,3 |
|        |                | 42,5                                             | 18,4  | 1,9                     | 19,8 | 17,4 |
| Сосна  | древесина кора | 38,0                                             | 16,7  | 6,2                     | 17,7 | 21,4 |
|        |                | 40,5                                             | 18,2  | 5,7                     | 19,7 | 15,9 |
| Береза | древесина кора | 33,6                                             | 14,3  | 12,3                    | 17,0 | 22,8 |
|        |                | 37,9                                             | 24,0  | 4,7                     | 18,6 | 14,8 |
| Осина  | древесина      | 33,0                                             | 16,0  | 7,3                     | 20,4 | 23,3 |

В ходе переработки жижки осуществляется отстаивание древесной смолы, ее около 7 - 10 %. В это же время происходят разнообразные превращения компонентов. Из смолы выделяют большое количество ценных продуктов. Чаще всего это уксусная кислота. Ее получают методом экстракции с дальнейшей ректификацией и тщательной химической очисткой [3].

Таким образом, генераторный газ, или синтез-газ, становится все более распространенным видом альтернативного возобновляемого топлива. При пиролизе древесины большую роль играет применение опилок в качестве сырья. Однако необходимо совершенствовать применяемые методики и аппараты для пиролиза, так как большая часть применяемых в мировой практике аппаратов полностью устарела и не отвечает всем современным требованиям.

## Литература:

1. Караханов, Э. А. Синтез-газ как альтернатива нефти / Э. А. Караханов // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – № 3. – С. 69-74.
2. Кислицын, А. П. Пиролиз древесины: химизм, кинетика, продукты, новые процессы. / А. П. Кислицын. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 312 с.
3. Пиролиз древесины – технология, использование и применение / Лесная промышленность: [сайт]. – URL: <http://wood-prom.ru/clauses/derevoobrabotka/piroliz-drevesiny> (дата обращения: 22.04.2023). – Текст: электронный.

**Актуальность обеспечения энергобезопасности объектов**

Разуваев Александр Валентинович, доктор технических наук,

профессор кафедры «Атомная энергетика»;

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 актуальности обеспечения применения средств Малой энергетики для повышения энергетической безопасности различных объектов. Рассмотрены основные факторы увеличения темпов роста и емкости рынка малой генерации и потенциал, которым обладает Россия для развития распределенной генерации, а также достоинства газопоршневых установок и их область применения.*

Малая распределённая энергетика – концепция развития энергетики, обеспечивающая возможности перехода от традиционной организации энергетических систем к новым методикам и практикам. Данный переход осуществляется в условиях децентрализации, цифровизации энергетических систем с использованием различных видов энергетических ресурсов с целью повышения энергетической эффективности, снижения экологического влияния на окружающую среду [1].

Наиболее развитой составляющей распределённой энергетики в России является распределенная генерация, которая представляет собой комплекты энергообъекты мощностью до 25 МВт, расположенные рядом с потребителем.

В настоящее время малая распределенная энергетика является единственным действенным инструментом снижения стоимости электроэнергии для предприятий малого и среднего бизнеса. Возможность работы оборудования малой распределённой энергетики на разных видах топлива (в том числе на сжиженном газе) позволяет устанавливать такие объекты на территориях с обширной географией.

Малая распределенная энергетика вот уже несколько десятилетий является ведущим трендом развития мировой энергетики и, по оценкам экспертов, данная тенденция сохранится в ближайшее десятилетие. По данным Росстата, по состоянию на 2017 г. совокупную мощность объектов распределённой генерации в России можно оценить величиной около 23 - 24 ГВт и доля мощности распределённой генерации в общем объеме выработки электроэнергии страны составляет 9 - 9,5 %.

К основным факторам увеличения темпов роста и емкости рынка малой генерации в ближайшие 3 года можно отнести:

- значительный рост стоимости электроэнергии;
- высокие издержки при передаче электроэнергии;
- непрозрачный процесс ценообразования;
- дорогостоящее и длительное технологическое присоединение;
- неравномерное и удаленное расположение от централизованных энергоисточников новых промышленных объектов (объектов месторождений);
- потребность в замещении изношенных мощностей и повышении надежности энергоснабжения.

С экономическим развитием РФ с каждым годом увеличивается число новых промышленных объектов, расположенных в арктических и отдаленных территориях (Камчатский край, республика Саха (Якутия), Ямало-Ненецкий АО, Сахалинская область и др.) вдали от централизованной энергосистемы.

Одна из глобальных проблем энергетической отрасли России – высокий износ основных средств в энергетическом комплексе, высокая аварийность, плановые и неплановые отключения.

При всем этом Россия обладает определенным потенциалом развития распределенной генерации:

1. Увеличение мощности объектов для возможности замещения крупных ТЭЦ на рынке тепловой энергии.

По данным исследования Энергетического центра Бизнес-школы Сколково, в случае, если эти мощности будут выводиться из эксплуатации без обновления, отпуск тепловой энергии от действующих ТЭЦ снизится относительно 2016 г. на 26 % к 2025 г. и на 30 % к 2035 г. При замещении старых мощностей ТЭЦ новыми объектами с полной загрузкой в тепловом графике их мощность может составить около 20 ГВт на горизонте уже 2025 - 2030 гг. В случае, если из эксплуатации будут выводиться меньшие мощности ТЭЦ, то потенциал распределённой когенерации в этом секторе пропорционально снизится.

2. Увеличение потребности в тепловой энергии от централизованных источников.

В целом по стране данный показатель относительно 2016 г. оценивается ИНЭИ РАН величиной всего 6 % к 2035 г. При этом ожидается, что при поддержке теплофикации как наиболее эффективного способа энергоснабжения отпуск тепловой энергии от ТЭЦ будет расти быстрее и увеличится на 7 % к 2025 г. и 26 % к 2035 г. В

случае, если весь прирост спроса новых потребителей на тепловую энергию от ТЭЦ будет обеспечиваться только объектами распределённой когенерации, то их электрическая мощность может составить около 18 ГВт к 2035 г.

3. Ввод дополнительных объектов распределённой когенерации вместо существующих котельных.

По оценке ИНЭИ РАН, данные объекты могут, как минимум, полностью закрыть оставшуюся прогнозную потребность в дополнительных генерирующих мощностях. При этом годовая выработка тепловой энергии на котельных сократится, а электрическая мощность новых объектов распределённой когенерации может составить при этом около 30 ГВт к 2035 г.

Множество технологий распределённой генерации энергии охватывает установки мощностью до 25 МВт, включая нетрадиционные и возобновляемые источники энергии (ВИЭ).

Кроме того, перспективными являются микротурбины, двигатели Стирлинга, роторно-лопастные двигатели, накопители энергии (химические, инерционные, гравитационные и др.), чиллеры (аппарат для охлаждения воздуха) и т. п.

Другим перспективным направлением распределённой генерации является использование попутного нефтяного газа (ПНГ) на предприятиях нефтегазовой отрасли.

Газовая распределенная генерация – наиболее эффективная технология малой энергетики. На сегодняшний день отрасль малой генерации, основанная на использовании мобильных и высокоэффективных газопоршневых установок, является современным, эффективным и высокорентабельным видом энергетического бизнеса, стремительно набирающим популярность в последние годы.

Мировыми предпосылками развития газовой генерации являются:

1. Природный газ является самым доступным и эффективным видом топлива в перспективе на ближайшие 30 - 40 лет.

2. Постепенный отказ от использования угольного топлива.

Уголь является дорогим и неэкологическим видом топлива. В частности, это подтверждается в последнее время переводом крупных электростанций на газовое топливоснабжение.

Атомная энергетика является дорогим видом выработки электроэнергии с высокой долей технологического риска. Данный факт подтверждается сворачиванием или уменьшением доли ядерной выработки в энергетических проектах в России и мире.

3. Высокая эффективность когенерации и тригенерации.



Тепловая малая генерация на базе ГПУ является высокоэффективным способом выработки электроэнергии, позволяющим получать попутные виды энергии (тепловая энергия и холод).

Рассмотрим оборудование малой распределённой генерации на примере ГПУ.

Газопоршневые установки (ГПУ) представляют собой двигатель внутреннего сгорания с внешним смесеобразованием и искровым зажиганием горючей смеси в камере сгорания. ГПУ использует в качестве топлива газ (рис. 1).



*Рис. 1. Газопоршневая установка (ГПУ)*

Утилизация тепла происходит посредством теплообменника, что обеспечивает повышение общего КПД установки. К достоинствам газопоршневых установок можно отнести:

- высокий электрический КПД (40 - 44 %);
- увеличенный срок службы (до 240 000 ч);
- оптимизация как для параллельной, так и для автономной работы;
- увеличенные межсервисные интервалы;
- увеличенный ресурс до капитального ремонта;
- возможность работы на разных видах газообразного топлива;
- относительно низкая стоимость установки;
- дополнительные эксплуатационные затраты (масло, свечи);
- загрузка не менее 40 %.

Малая энергетика должна обеспечивать снижение тарифа на энергоресурсы, а также размещение объекта генерации возле потребителя, за счет чего потребитель экономит на транспорте энергии, электрической и тепловой, снижая стоимость конечного продукта и повышая надежность электроснабжения.

Еще один весомый аргумент в пользу малой энергетики – скорость ввода мощностей. Если брать сетевые компании, то техприсоединение с учетом строительства линий может растянуться на годы. В среднем это около двух лет и то при условии, что в соответствующем центре питания есть свободные мощности. Для сравнения: минимальный срок запуска мощностей малой энергетики – около 8 месяцев.

Безусловно, для строительства собственной мини-ТЭС нужны инвестиции. Однако объем вложений разнится в зависимости от мощности электростанции и вариантов ее реализации. Стоимость одного киловатта можно оценить в диапазоне от 500 до 650 евро. Это значительно ниже, чем стоимость больших объектов энергетики (ГРЭС, ТЭЦ). А значит, и срок окупаемости более интересный – 3 - 4 года. Попутно также продается тепло – весомая составляющая в экономике. С учетом снижения его стоимости срок окупаемости будет еще меньше.

При этом важно понимать: малая энергетика – не против большой. Они практически не конкурируют. Все зависит от задачи. Большая энергетика решает задачу энергоснабжения экономики всей страны, малая распределенная – отдельных объектов.

Рынок малой электроэнергетики в России, в отличие от Евросоюза, находится еще в зачаточном состоянии, так как основными источниками электроэнергии в РФ являются крупные энергогенерирующие компании.

Между тем, бурное развитие экономики в последнее время и освоение ранее незаселенных и неиндустриализированных областей Сибири, Крайнего Севера и Дальнего Востока заставляют все больше внимания уделять малой энергетике, в том числе и возобновляемым источникам энергии.

Уже сегодня становится очевидно, что традиционные энергетические ресурсы в скором времени будут полностью исчерпаны. Так, по пессимистическим прогнозам ученых, ископаемый газ на земле закончится через 40 лет, нефть через 80 лет, запасы урана исчерпаются через 80 лет, а угля через 100 лет. Есть и оптимистические прогнозы, согласно которым угля нам хватит на 1500 лет, газа на 120 лет, а нефти на 250 лет.

Кроме того, малую электроэнергетику уже сегодня можно рассматривать как перспективную область энергосбережения и энергоснабжения в труднодоступных и отдаленных районах Российской Федерации.

Рассмотрим подробнее некоторые виды энергосберегающих и возобновляемых источников энергии, перспективы развития которых на данный момент в России наиболее благоприятны:

#### 1. Дизельные электростанции.

Основной источник энергии в труднодоступных и малонаселенных районах Западной Сибири и Крайнего Севера. Также широко используются в арктических областях России, где, по самым приблизительным подсчетам, работает порядка 47 тысяч дизельных электростанций.

К сожалению, большинство эксплуатируемых в этих областях дизель-электростанций морально устарели, имеют низкий КПД и повышенный расход топлива. Поэтому целесообразно внедрять на них газотурбонаддув, повышать их удельную мощность или заменять современными и более эффективными автоматизированными дизельными электростанциями контейнерного типа.

#### 2. Газодизельные электростанции.

Экономичные и экологически безопасные автономные электростанции, работающие практически на любом виде газа: коксовом, био, шахтном и др. Кроме того, стоимость электроэнергии, вырабатываемой газодизельными электростанциями, в 2 - 2,5 раза меньше, чем у обычных дизельных электростанций.

#### 3. Парогазовые и газотурбинные энергетические установки.

На сегодняшний день являются наиболее перспективными источниками электрической и тепловой энергии, интеграция которых наиболее актуальна в уже существующие котельные всех форм собственности, которые могут быть превращены в мини-ТЭС без значительных материальных затрат. В первую очередь, речь идет о газовых котельных, реконструкция которых не требует больших финансовых вложений.

#### 4. Гибридные (ветродизельные) электростанции.

Основными достоинствами гибридных (ветродизельных) электростанций являются существенная экономия дизельного топлива (до 50 %) и увеличение ресурса дизельного электрогенератора в 2 - 3 раза. Эксплуатация гибридных (ветродизельных) электростанций особенно актуальна в арктических районах, где существуют трудности с доставкой топлива и имеется хороший ветровой потенциал.

#### 5. Ветроэнергетические установки.

В условиях российских просторов с хорошими ветроэнергетическими ресурсами эксплуатация ветровых генераторов является одним из самых перспективных

направлений развития малой электроэнергетики. По некоторым данным, потенциал ветровой энергии в России составляет до 30 % производства электроэнергии всеми электростанциями страны. Особенно актуально использование ветроэнергетических установок на территориях Юга России, Дальнего Востока и Крайнего Севера.

ООО «ПитерЭнергоМаш» производит и поставляет газовые теплоэлектростанции на основе газопоршневых установок с системами утилизации тепла суммарной мощностью от 250 кВт до 52000 кВт в блок-модульном исполнении (рис. 2). Модульные газопоршневые теплоэлектростанции представляют собой автономные источники комбинированного производства электроэнергии и тепла. Установки могут быть использованы в качестве резервного, вспомогательного или основного источника электроэнергии на предприятиях, в административных и медицинских учреждениях, в аэропортах, гостиницах, узлах связи и системах жизнеобеспечения [2].



*Рис. 2. Газовая теплоэлектростанция ООО «ПитерЭнергоМаш»*

Проведенный анализ показывает основные преимущества и недостатки современной малой энергетики в России. Несмотря на привлекательность для потребителей и несомненную эффективность, распределенная генерация пока не является полноценным элементом российской энергосистемы. Официальные

документы если и говорят о необходимости ее развития, то чаще всего применительно к энергетически изолированным или удаленным районам, нежели как о полноценной альтернативе традиционному централизованному энергоснабжению по всей стране.

#### Литература

1. Образовательный портал: [сайт]. – URL: <https://obrazovanie-gid.ru/> (дата обращения: 06.04.2023). – Текст: электронный.
2. Официальный сайт ООО «ПитерЭнергоМаш»: [сайт]. – URL: <https://piterenergomash.ru/> (дата обращения: 06.04.2023). – Текст: электронный.

УДК 621.31

#### **Экономика биотоплива электроэнергетики в России**

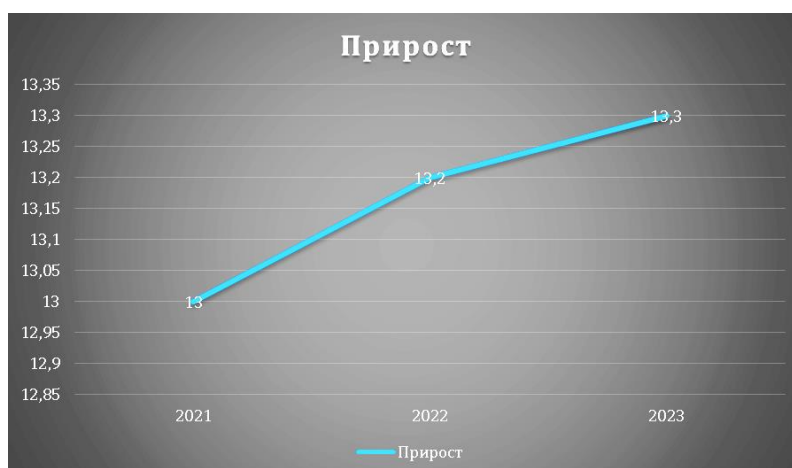
Разуваев Александр Валентинович, доктор технических наук,  
профессор кафедры «Атомная энергетика»;

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

*Биотопливо – это экологичный источник энергии, который получает большее признание в мире. Березовые дрова – тоже биотопливо, стоят рядом с экологическими инновациями. В России о дровах никогда не забывали, всегда были востребованы и всегда пользовались спросом. К сожалению, в нашей стране дрова уходят в основном на экспорт, не используются для благ общества в стране.*

Основные перспективы возобновляемого топлива в стране: экологическая ситуация улучшается, что обеспечивает «чистый воздух», улучшение торгового баланса, создание новой добавленной стоимости и рабочих мест в отраслях производства генерирующего и вспомогательного оборудования. Снижение средних цен на оптовом рынке электроэнергии [1].



*Диаграмма 1. Производство топливной древесины в России*

На диаграмме 1 видно, что производство древесины в нашей стране растёт, а значит, растёт и прибыль, тем самым уменьшается объем леса. Для того чтобы росла не только прибыль, а также развивались объемы лесопосадки, необходимо рассмотреть и воспроизводство деревьев в тех местах, где эти деревья были вырублены. В России ежегодно незаконно уничтожают 10 - 30 млн куб. м леса [2].

Система устойчивого управления лесами должна сочетать в себе интенсивную и экстенсивную модели лесопользования. Технологии интенсивного лесовыращивания позволяют получать до 14 куб. м с гектара в год дополнительного прироста древесины и добиться среднего годового прироста свыше 25 куб. м с гектара. Сейчас средний прирост по России с учетом потерь от пожаров и вредителей леса составляет 1,5 куб. м, а по Сибири 1,3 куб. м с гектара.

В структуре официального производства преобладают дрова-долготье – это бревна длиной от 1 до 6,5 м, нуждающиеся в распилке и колке. Долготье составляет 70 % производства дров, что подтверждает версию о ведущей роли в заготовке крупных лесозаготовительных предприятий. Продукции мелкого формата – поленьев, хвороста и готовых порубленных дров в общем объеме всего 7 %. Длина поленьев обычно от 20 до 60 см, средняя длина 40 см. Категория «прочие», то есть дрова других форм, – это оставшиеся 23 %. Спрос на дрова формируется не только за счет частного сектора. Большое количество котельных в России – дровяные. Ввиду дальней транспортировки угля, дороговизны современных пеллет или отсутствия в районе отходов деревообработки дрова остаются основным топливом в тысячах муниципальных округах. Дровяные котельные работают в Архангельской, Костромской, Смоленской областях, республиках Коми и Карелии, в Магаданской области, то есть по всей стране.

Топливная древесина характеризуется низкой товарной стоимостью, ее перевозки на большие расстояния нерентабельны, и поэтому она не является предметом мировой торговли и используется как местное топливо. Однако транспортировка дров на короткие расстояния применяется. Так, из центральных регионов топливную древесину оправляют на юг России. В густо заселенных южных регионах преобладает частная застройка и потребление топлива высокое, но местная древесина (дуб, бук, граб и др.) имеет высокую промышленную ценность и на топливо почти не идет.

Спрос на дрова ограничивается рядом факторов, но причин для его роста больше. Среди них следующие:

1. Привлекательность биотоплива в условиях роста цен на традиционные энергоносители. Когда-то нефть и газ пришли на замену дровам, но через 100 лет углеводородному топливу, возможно, понадобится обратная замена – топливом биологического происхождения, в том числе дровами.

2. Повышение экономической безопасности и снижение зависимости от зарубежных поставок топлива. Пока эта проблема больше относится к Европе, но в долгосрочной перспективе может стать острой и в России, так как запасы углеводородов конечны.

3. Поддержание разнообразия в топливной отрасли, доступность самых разных источников для производства тепла. Важно не потерять старые проверенные способы, чтобы не восстанавливать утраченное в будущем.

4. Экологичность. Использование дров не способствует изменению климата. Дрова – это часть инновационной биоэнергетики, поэтому подпадают под защиту экологическими программами.

5. Древесина – возобновляемый источник энергии. Современные технологии и методы лесовосстановления позволяют выращивать деревья быстрее. К лесовосстановлению можно привлекать частные фирмы на коммерческой основе.

6. Возможность развития малого бизнеса по заготовке и продаже дров. Благодаря разнообразию покупателей постепенно сглаживается сезонность. Сельские жители используют дрова в холодное время года, а владельцы дачных участков, напротив, заказывают дрова на весенне-осенний период.

7. Рост частного домостроения. Загородное домостроение в России хоть и медленно, но развивается. Немаловажно и влияние моды, например, в частных домах все чаще можно видеть классические камины.

Факторов снижения спроса на дрова меньше, но они довольно весомые:

1. Потребность в топливе повышается при росте населения, а в России он не наблюдается.

2. Разработка и применение других промышленных минеральных видов топлива.

3. Урбанизация, централизация отопления. Газификация продолжается, хотя медленно.

4. Развитие технологий, позволяющих использовать и преобразовывать в топливо отходы, прежде подлежащие утилизации. Сюда относится оптимизация распила бревен с минимумом отходов, годных для производства пеллет и брикетов.

Согласно официальной статистике, годовые приросты производства топливной древесины очень редкие и слабые, отмечается тенденция снижения заготовки, хотя пока неясная. Экономический кризис на выпуске такой продукции заметно сказаться не может: дрова дешевые и нужны всегда. Причиной могут быть теплые зимы и расширение газовых сетей.

Помимо дров как таковых, к использованию в качестве топлива пригодны следующие виды древесины:

- молодняк от прореживания;
- лесосечные отходы, биржевой отпад;
- отходы деревообработки: щепа, опилки, стружка;
- пни, дробленка, корни, кора с балансовой древесины;
- обломки использованных деревянных изделий, лом поддонов и т. д.

По федеральным округам заготовка дров распределяется довольно предсказуемо. В регионах с большой плотностью населения, которое сосредоточено в крупных городах, в том числе «миллионниках», потребление топливной древесины невелико. От климата структура спроса практически не зависит, например, Сибирский округ не лидирует. Зато коррелирует с уровнем урбанизации. В крупных городах доступны газ и электроэнергия, а значит, потребность в дровах невысокая [6].

Топливая древесина характеризуется низкой товарной стоимостью, ее перевозки на большие расстояния нерентабельны, и поэтому она не является предметом мировой торговли и используется как местное топливо. Однако транспортировка дров на короткие расстояния применяется. Так, из центральных регионов топливную древесину оправляют на юг России. В густо заселенных южных регионах преобладает частная застройка и потребление топлива высокое, но местная древесина (дуб, бук, граб и др.) имеет высокую промышленную ценность и на топливо почти не идет.



Многие считают, что топить дровами допустимо, только если не решен вопрос с газификацией, а муниципальные дровяные котельные – это пережиток прошлого. Конечно, газовые котельные эффективны и экологичны. Но во многих регионах газификация не предвидится, так как при плановом строительстве газопроводы прокладывают вдоль автомагистралей и обычно без ответвлений к небольшим населенным пунктам. Причина в высокой стоимости газа и прокладки газовых сетей. В России проблема не только с газификацией. По данным Минэнерго, до 60 % территории не обеспечено централизованным электроснабжением [3].

Ежегодная потребность муниципальных дровяных котельных в некоторых районах Камчатского края достигает 50 - 60 тыс. м<sup>3</sup>, а суммарные запасы местных лесничеств 700 - 800 тыс. м<sup>3</sup>. Через каких-нибудь десять лет доступные запасы почти иссякнут, и произойдет экологическая катастрофа.

Согласно статистике цен на основные виды бытового топлива в России, разница в цене одной тонны дров (рассчитано по стоимости 1 м<sup>3</sup>, исходя из средней плотности березовой древесины 650 кг/м<sup>3</sup>) и другого древесного топлива (брикетов и древесного угля) и минерального топлива – огромная. Цена напрямую зависит от теплоотдачи одной единицы топлива и ее КПД. По теплотворности дрова наиболее выгодное топливо. Например, пеллеты дают ненамного больше энергии, но они в десять с лишним раз дороже.

Столь высокая себестоимость единицы тепловой энергии в котельных, использующих МВТ, обусловлена тем, что технология сжигания топлива осталась той же, какой она была сто лет назад. Не претерпели особого изменения и аппараты (котлы) для сжигания этих видов топлива. По старинке осуществляется и заготовка дров. На дрова в основном идут малокалорийные ель и сосна. Сваленные длинномеры доставляются на базу районного ЖКХ или непосредственно в котельные, где подвергаются распиловке и колке. Колотые на огромные плахи дрова на тачках доставляются к котлам. Не изменилась и система удаления золы: все те же лопата и тачка.

Перекосы в составлении технического задания и проектировании видны на примере реконструированной котельной, которая обеспечивает теплом и горячим водоснабжением дом-интернат для детей-инвалидов в г. п. Городище Барановичского района. Перевод котельной с мазута на местные виды топлива обошелся в сумму около 300 млн руб. (140,3 тыс. долл. США). При его сжигании в котлах с КПД 90 % получим 1402 Гкал полезной тепловой энергии. Количество тепла выработанное, отпущенное или полученное потребителем за 1 час. Следовательно, если мы хотим узнать

количество Гкал в сутки, умножаем на 24, в месяц – еще на 30 или 31 в зависимости от числа дней в расчетном периоде. Соотношение 1:4,5 говорит о том, что за счет переработки эффективность древесины, предназначенной на топливо, можно увеличить в несколько раз.

Использовать же газ как резервное топливо и сжигать древесину - дело явно убыточное. Как показывает опыт последних лет, необходимо отказаться от газовых котельных – «монстров» с круглосуточным обслуживанием и большим штатом работников. Необслуживаемые модульные блочные котельные позволяют снизить себестоимость 1 Гкал на 30 - 40 % благодаря отсутствию административно-технического персонала. В настоящее время разработаны и котлы на твердом топливе, которые загружаются топливом один - два раза в сутки, с автоматическим поддержанием температуры и удалением продуктов сгорания.

#### Выводы и прогнозы.

Итак, сжигание древесины для получения тепла до сих пор остается основным способом ее применения в мире. Даже в Европе, несмотря на взрывной рост популярности пеллет, их активные закупки, в том числе в России, дрова используются в три раза чаще. Дрова представляются безальтернативным топливом в долгосрочном периоде в следующих ситуациях [4]:

- отдаленный негазифицированный жилой район, куда транспортировать другие виды топлива невыгодно из-за высоких затрат;
- отсутствие предприятий деревообработки при достаточных запасах местной древесины, из отходов которой можно производить щепу или пеллеты [5].

Так что в ближайшей перспективе дрова в России не сдадут свои позиции. Поэтому можно прогнозировать, что использование дров в качестве топлива в среднесрочной перспективе сохранится на стабильном уровне, а в долгосрочной имеет шансы вырасти.

#### Литература

1. Топливные гранулы на рынке Европы: ценовая политика. Потенциал роста Российского рынка топливных гранул / ИАА «ИНФОБИО» // Международная Биоэнергетика. – 2013. – 30 с.
2. Справочник: технологии и оборудование для сжигания древесных отходов и других видов экологически чистого топлива / ИАА «ИНФОБИО» // Международная Биоэнергетика. – 2006. – 140 с.

3. Ракитова, О. С. Древесные топливные гранулы в России и СНГ / О. С. Ракитова, А. Д. Овсянко, С. Е. Александрова // Международная Биоэнергетика. – 2005. – 70 с.

4. Биотопливо и его сжигание / ИАА «ИНФОБИО» // Международная Биоэнергетика. – 2006. – 70 с.

5. Черномордик, Б. М. Котельные и электростанции на биотопливе / Б. М. Черномордик // ИАА «ИНФОБИО» // Международная Биоэнергетика. – 2000. – 194 с.

6. Киловатты из опилок: [сайт]. – URL: <https://www.eprussia.ru/epr/121/9361.htm> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.

УДК 621.161

### **Порядок расчета теплоиспользования в паровой машине**

<sup>1</sup>Разуваев Александр Валентинович, доктор технических наук,  
профессор кафедры «Атомная энергетика»;

<sup>1</sup>Толоконников Михаил Алексеевич, студент направления  
«Электроэнергетика и электротехника»;

<sup>1</sup>Устинов Николай Андреевич, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Атомная энергетика»;

<sup>2</sup>Рябинин Николай Анатольевич, инженер

<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>АО «Концерн Росэнергоатом» «Балаковская атомная станция»

*Предложен алгоритм теплового расчёта парового поршневого двигателя, в котором на основании исходных данных: мощность двигателя и параметры пара – можно выполнить расчёты по определению размеров цилиндра паровой машины, термодинамических параметров цикла, расхода пара. По итогам расчёта можно подобрать требуемый для двигателя паровой котёл.*

В паровой машине не все количество тепла  $Q_1$ , подведенное к машине, превращается в работу. Большая часть этого тепла  $Q_2$  отводится с обработавшим паром. В действительной машине из оставшегося тепла  $Q_1 - Q_2$  в работу превращается

только  $Q_p$  тепла, а остальное тепло  $Q_n$  теряется вследствие снятия и пропусков пара, неполного его расширения, тратится на нагревание цилиндров и других частей и т. п.

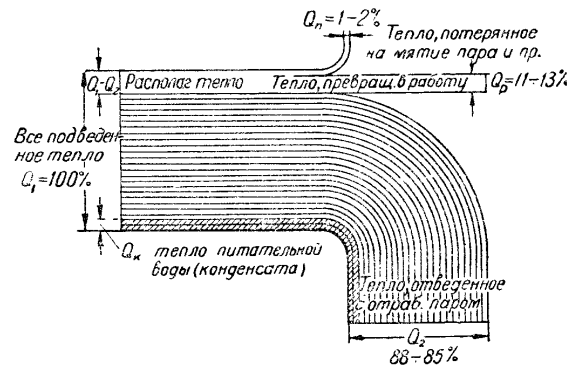


Рис. 1. Тепловой баланс паровой машины

Таким образом, тепловой баланс паровой машины можно написать в виде уравнения [1]:

$$Q_1 = Q_2 + Q_n - Q_p \quad , \quad (1)$$

$Q_p$  – тепло, превратившееся в механическую работу в цилиндре машины;  $Q_n$  – потери тепла.

$Q_k$  – тепло, вносимое в котел питательной водой, имеющей теплосодержание  $i'_2$ .

Абсолютный индикаторный КПД будет равен [1]:

$$\eta_i = \frac{Q_p}{Q_1 - Q_k} \quad . \quad (2)$$

Работа машины за час будет равна, кДж:

$$L_i = 75 \cdot N_i \cdot 3600 \quad , \quad (3)$$

$N_i$  - индикаторная мощность.

Механическая работа, кДж:

$$Q_p = \frac{L_i}{427} = 632,3 \cdot N_i \quad . \quad (4)$$

На вычисленную работу  $L_i$  в котле затрачивается тепла, кДж:

$$Q_1 - Q_k = D(i_1 - i'_2) \quad , \quad (5)$$

где  $i'_2$  - теплосодержание питательной воды (при  $p_2 = 1,5$  атм).

Таким образом, абсолютный индикаторный КПД будет равен:

$$\eta_i = \frac{632,3 \cdot N_i}{(i_1 - i'_2) \cdot D} = \frac{632,3}{(i_1 - i'_2) \cdot d_i} \quad , \quad (6)$$

где  $d_i = \frac{D}{N_i}$  – удельный расход пара сило-час индикаторной мощности в кг/и.с. час.

Термический КПД представляет собой отношение работы цикла к подведенному количеству теплоты [2]:

$$\eta_t = \frac{AL_0}{i_1 - i'_2} = \frac{i_1 - i_2 - A(p_1 - p_2) \cdot v'_2}{i_1 - i'_2} \quad . \quad (7)$$

Если пренебречь работой, затрачиваемой на подачу воды:

$$\eta_t = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_2'} \quad . \quad (8)$$

Располагаемый теплоперепад [1]:

$$h_T = i_1 - i_2 \quad . \quad (9)$$

Относительный индикаторный КПД  $\eta_{oi}$  принимаем по [1]:

$$\eta_{oi} = 0,8$$

Удельный расход пара [1]:

$$d_i = \frac{632,3}{h_T \cdot \eta_{oi}} \quad . \quad (10)$$

Абсолютный индикаторный КПД [1]:

Удельный расход пара на сило-час эффективной мощности:

$$d_e = \frac{d_i}{\eta_M} \quad , \quad (11)$$

$\eta_M$  – механический КПД

Абсолютный эффективный КПД [1]:

$$\eta_e = \frac{632,3 N_e}{(i_1 - i_2') D} = \frac{632,3}{(i_1 - i_2') d_e} \quad , \quad (12)$$

$N_e$  – эффективная мощность.

Из сопоставления формул (22) и (23):

$$\eta_e = \eta_M \cdot \eta_i \quad (13)$$

Относительный индикаторный КПД [1]:

$$\eta_{oi} = \frac{632,3}{(i_1 - i_2) d_i} \quad . \quad (14)$$

Относительный эффективный КПД [1]:

$$\eta_{oe} = \frac{632,3}{(i_1 - i_2) d_e} \quad . \quad (15)$$

Из сравнения различных КПД видно, что произведение термического и относительного индикаторного КПД дает значение абсолютного индикаторного КПД [1]:

$$\eta_i = \eta_t \cdot \eta_{oi} \quad . \quad (16)$$

Произведение термического КПД и относительного эффективного КПД дает значение абсолютного эффективного КПД [1]:

$$\eta_e = \eta_t \cdot \eta_{oe} \quad . \quad (17)$$

Таким образом, абсолютные КПД характеризуют степень использования в машине затраченного тепла, а относительные КПД характеризуют степень совершенства работы данной машины сравнительно с работой образцового цикла.

Полный расход пара машиной [1]:

$$D = N_e \cdot d_e \quad . \quad (18)$$

Если машина расходует в час 1887кг пара, теплосодержание 3039.6 кДж/кг, то на вычисленную выше работу  $L_i$  в котле затрачено тепла [1]:

$$Q_1 - Q_k = D \cdot (i_1 - i'_2) \quad . \quad (19)$$

Абсолютный индикаторный КПД по формуле (18):

Относительный электрический КПД [1]:

$$\eta_{оэ} = \frac{632,3 \cdot 1,36}{(i_1 - i'_2) d_3} \quad , \quad (20)$$

где  $d_3$  – удельный расход пара в кг/кВт·час мощности генератора.

$$d_3 = \frac{D}{N_3} \quad (21)$$

$N_3$  – электрическая мощность.

Абсолютный электрический КПД [1]:

$$\eta_3 = \frac{632,3 \cdot 1,36}{(i_1 - i'_2) d_3} \quad (22)$$

По данной методике выполним расчёты для двигателя мощностью

$$N_e = 200 \text{ л. с. ;}$$

давлениях пара  $p_1 = 12\text{атм}$ ;  $p_2 = 1,5\text{атм}$ ;

температурах пара  $t_1 = 300^\circ\text{C}$ ;  $t_2 = 110,79^\circ\text{C}$ .

Для выполнения расчетов необходимо знать энтальпии:

По  $i - s$  диаграмме и таблицам определим падение теплосодержания [5;  $i - s$  диаграмма]:

$$i_1 = \text{кДж/кг (при } p_1 = 12\text{ата, } t_1 = 300^\circ\text{C;)}$$

$$i_2 = \text{кДж/кг (по } i - s \text{ диаграмме);}$$

$$i'_2 = i_3 = \text{кДж/кг – теплосодержание питательной воды (при } p_2 = 1,5\text{ата)}$$

$$t_2 = 110,79^\circ\text{C, } v' = 0,0010525 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Результаты расчёта занесём в таблицу:

| $\eta_i$ | $L_i$<br>(кДж) | $Q_p$<br>(кДж) | $Q_1 - Q_k$<br>(кДж) | $d_i$<br>(кг/и.с.час.) | $\eta_c$ | $h_T$ | $d_e$<br>(кг/и.с.час.) | $\eta_e$ | $\eta_{oi}$ | $\eta_{oe}$ | $D$<br>(кг/и.с.час.) | $\eta_{оэ}$ | $d_3$<br>(кг/кВт·час) | $\eta_3$ |
|----------|----------------|----------------|----------------------|------------------------|----------|-------|------------------------|----------|-------------|-------------|----------------------|-------------|-----------------------|----------|
| 0,13     | 635470.9       | 635355         | 4858960              | 7,86                   | 0,1634   | 100,5 | 9,25                   | 0,111    | 0,8         | 0,68        | 1887                 | 0,68        | 12,58                 | 0,11     |

По данному алгоритму расчёта для предполагаемого двигателя определён потребный расход пара. На его основании можно подобрать необходимый по производительности паровой котёл. В качестве примера выбран паровой котел Clayton SE-125 со следующими характеристиками: номинальная производительность: 1957 кг/час, рабочее давление: 7 - 58 бар, КПД – 94,5 %.

В качестве топлива применяется газ, сжиженный газ, жидкое топливо, биотопливо.

#### Литература

1. Богомазов, В. К. Паровые двигатели / В. К. Богомазов, А. Д. Беркута, П. П. Куликовский – Киев: «Гостехиздат», 1952. – 316 с.
2. Жирицкий, Г. С. Паровые машины / Г. С. Жирицкий. – Москва-Ленинград: Государственное энергетическое издательство, 1951. – 280 с.
3. Гарькуша, Г. Н. Теория, конструкция и расчет локомотива / Г. Н. Гарькуша, А. Г. Юшина. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1952. – 602 с.
4. Ривкин, С. Л. Теплофизические свойства воды и водяного пара / С. Л. Ривкин, А. А. Александров. – М.: Энергия, 1980. – 424 с.

УДК 631.152

#### **Оценка энергоснабжения фермерского хозяйства.**

Разуваев Александр Валентинович, доктор технических наук,  
профессор кафедры «Технология и автоматизация машиностроения»;

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 мире нынешних условий, согласно целесообразному применению материальных  
ресурсов, усилению режимов экономии и устранения потерь в народном хозяйстве,*

немаловажной ролью обладают проблемы экономии электроэнергии при электроснабжении различных объектов. В данной статье мы рассмотрим энергетические характеристики животноводческой фермы.

Для ведения современного фермерского хозяйства с высокой степенью интенсификации производства и обеспечения нормальных условий быта фермера требуются большие затраты энергии. Поэтому возникает необходимость экономии электроэнергии на производство и на хозяйственные нужды объекта [1].

Повышение эффективности животноводства, качества его конечного продукта и снижения себестоимости основывается на индустриализации и комплексной механизации этого производства. Использование индустриальных методов производства в животноводстве требует усовершенствования технологических и технических решений, что невозможно без увеличения энергопотребления. В настоящее время энергетическая составляющая включает в себя тепловую и электрическую энергию. Кроме того, для повышения эффективности сельскохозяйственных предприятий необходимо соблюдать оптимальный микроклимат в коровнике, который необходим для создания продуктивного и эффективного хозяйства.

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].

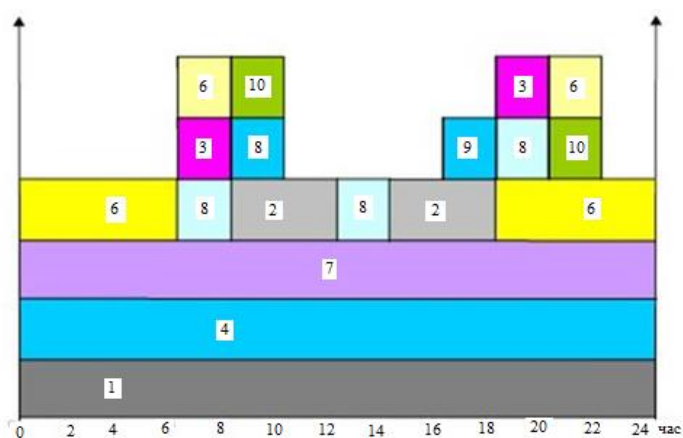


Рис. 1. Технологическая карта комплексной механизации на 25...200 голов:

- 1 – Водоснабжение (24 часа в сутки); 2 – Кормление (2 x 3 часа);
- 3 – Доеение (2 x 2 часа); 4 – Складирование и хранение молока (24 часа в сутки);
- 5 – Уборка и транспортировка навоза (2 x 2 часа); 6 – Освещение (12 часов);
- 7 – Подогрев воды в телятнике (24 часа); 8 – Кормление в телятнике (3 x 2 часа);
- 9 – Обслуживание новорожденных телят (2 x 2 часа); 10 – Уборка и транспортировка навоза в телятнике (2 x 2 часа) [3]



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.

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           |

Суточное потребление электроэнергии фермы  $W_3$  определяется как:

$$W_3 = \sum_{i=1}^{24} P_i \cdot t_i, [\text{кВт} \cdot \text{час}]$$

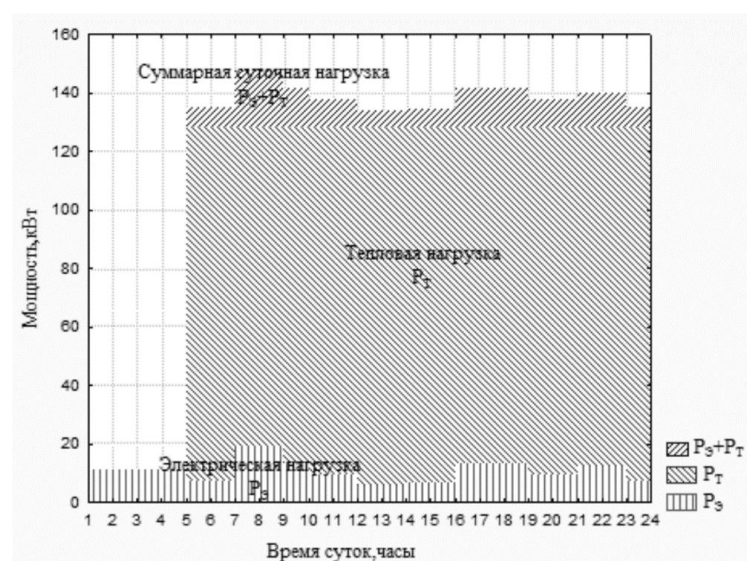
где  $P_i$  – средние нагрузки за рассматриваемые временные интервалы  $t_i$ .

Таблица 2

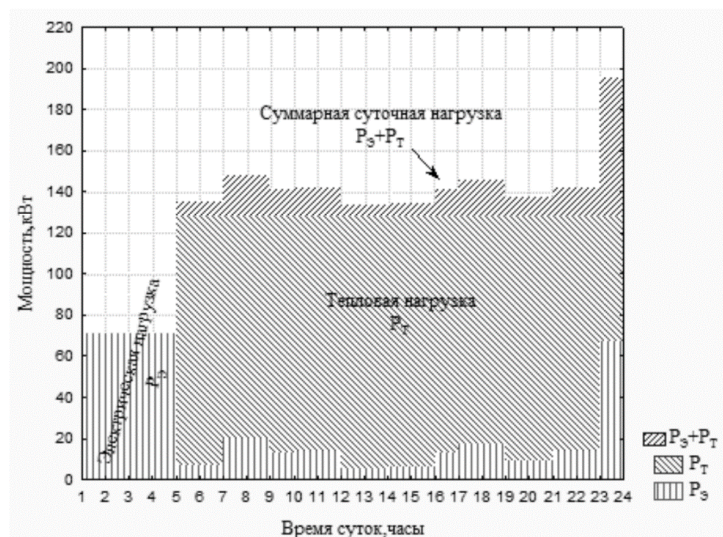
## Суточное потребление электроэнергии фермы по регионам

| 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          |

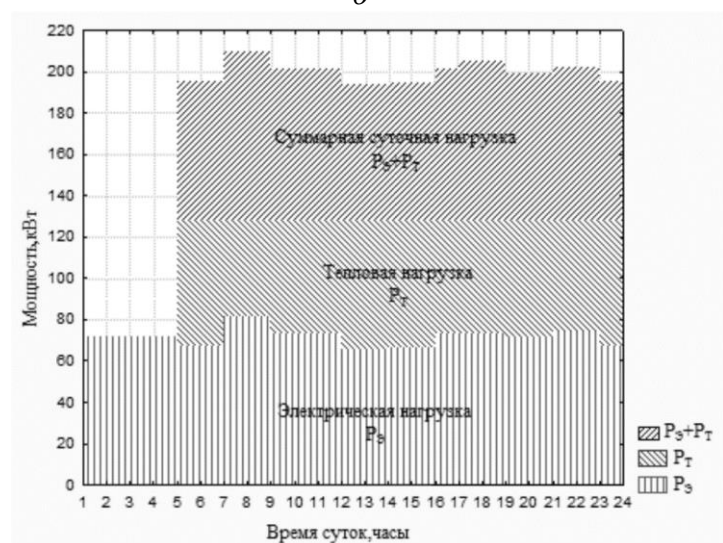
Для того чтобы иметь наглядное представление о характерах электрической нагрузки, составим график изменения нагрузки за сутки. То есть зависимости суммарной мощности нагрузки потребителей, работающих в текущий момент времени, в зависимости от времени в течение суток. Суточные графики электропотребления фермы на 200 голов по сезонам для Псковской области в качестве примера приведены на рис. 2.



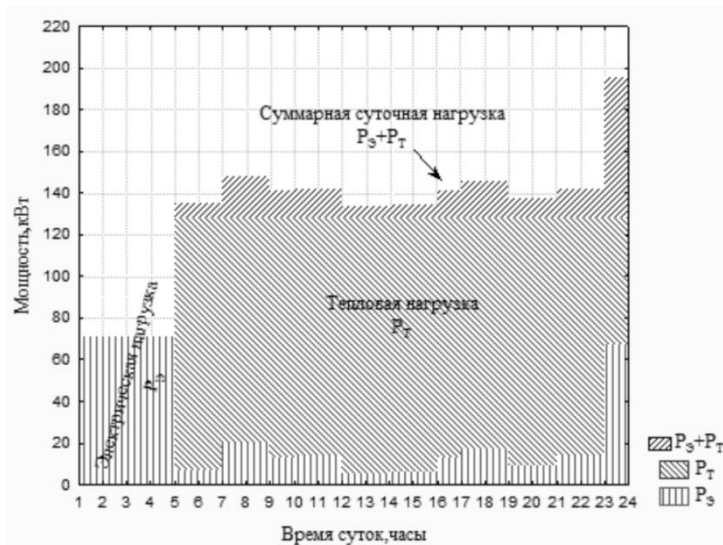
а



б



в



г

Рис. 2. Суточные графики электропотребления фермы:  
 $P_T$  – тепловая нагрузка;  $P_э$  – электрическая нагрузка; а – лето; б – весна;  
 в – зима; г – осень

Анализируя представленное выше, 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].

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 с дизель-генератором (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). Если в году 8760 час, тогда оценим эффективность комбинированной генерации. Средний тариф по стоимости электроэнергии составит:

$$\frac{8760 \times 0,7 \times 1,2 + 8760 \times 0,3 \times 5,5}{8760} = 2,49 \text{ руб / кВт * час}$$

Тогда при выработке электроэнергии только от ДГ стоимость тарифа относительно тарифа при выработке от ВЭУ составит 4,6 раза. При использовании комбинированной генерации ВЭУ + ДГ такое отношение составит всего 2 раза. Таким образом, величина стоимости тарифа от комбинированной генерации дает явный экономический эффект.

Этот метод может быть применен к другим проектам на территории России. Несмотря на то, что исследования в этой области уже ведутся, эта работа является одним из нескольких примеров оценки решения вопросов энергосбережения в нашей стране. Рассмотренный метод для повышения энергосбережения показывают хорошие экономические характеристики комбинированной автономной электростанции.

#### Литература

1. Алдаяров Мирлан. Затянувшийся переход: Опыт проведения реформ и новые вызовы в секторе электроэнергетики Казахстана / Алдаяров Мирлан, Иштван Добози, Томас Николакакис. – Вашингтон, Округ Колумбия: Всемирный банк, 2017.
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. – Москва, 2011. – 118 с.

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\\_APK\\_1100100100\\_Normy\\_texno.html](https://znaytovar.ru/gost/2/NTP_APK_1100100100_Normy_texno.html) (дата обращения: 12.04.2023). Текст: электронный.

УДК 621.311.23

**Альтернативные источники электрической энергии для обеспечения  
железнодорожных войск**

Сайданов Виктор Олегович, доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Общетехнических дисциплин»

Военный институт (Железнодорожных войск и военных сообщений) федерального  
государственного казенного военного образовательного учреждения высшего  
образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени  
генерала армии А.В. Хрулева» Министерства обороны Российской Федерации,  
г. Санкт-Петербург

*Статья посвящена разработке технических предложений по созданию типового ряда источников электрической энергии с электрохимическими генераторами, предназначенных для обеспечения воинских формирований Железнодорожных войск. Материалы статьи базируются на практическом опыте разработки электрохимических энергетических установок.*

Одним из актуальных направлений совершенствования энергетического обеспечения Вооруженных сил является уменьшение зависимости частей и подразделений от наличия стационарных электрических сетей, то есть повышение автономности, мобильности, надежности и экономичности войсковых источников электрической энергии.

Наряду с традиционными источниками электрической энергии за рубежом и в России проводятся исследования, создаются макетные и опытные образцы, организовано мелкосерийное производство источников электрической энергии с использованием альтернативных способов ее генерирования, основанных на прямом преобразовании химической энергии различных видов топлива в электрическую энергию. К ним относятся в первую очередь электрохимические энергетические установки (ЭЭУ) на базе электрохимических генераторов (ЭХГ) с топливными элементами (ТЭ) различных типов [1].

Как показывает анализ номенклатуры, технического состояния и опыта эксплуатации средств энергообеспечения объектов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) воинских формирований железнодорожных войск (ЖДВ) [2, 3], электростанции и электроагрегаты на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в диапазоне агрегатных мощностей 4...60 кВт, стоящие на вооружении в настоящее время, морально и физически устарели и не соответствуют современным требованиям. Первичные двигатели, входящие в их состав, имеют низкие тактико-технические, экологические и маскировочные характеристики. Выпуск многих из них прекращен. Поэтому назрела насущная необходимость замены их на современные агрегаты аналогичных мощностей.

При этом положение усугубляется тем, что в настоящее время промышленность РФ не выпускает современных отечественных дизельных ДВС соответствующего диапазона мощностей.

ТЭ – устройство для прямого преобразования химической энергии топлива в электрическую, существенным преимуществом которого является то, что в отличие от гальванических (первичных) элементов и аккумуляторов электроды в ТЭ в процессе выработки электрической энергии не изменяются, так как химические реагенты (топливо и окислитель) в их состав не входят, а подаются в ТЭ в момент его работы от внешних систем хранения.

Топливные элементы не являются конечным рыночным продуктом, так как, во-первых, напряжение и мощность единичного ТЭ достаточно малы, во-вторых, ТЭ не могут функционировать без соответствующей инфраструктуры.

ТЭ конструктивно оформляются в батареи топливных элементов (БТЭ), которые представляют собой сборку последовательно соединенных топливных элементов для набора напряжения и мощности, оснащенную устройствами подачи топлива и окислителя, отвода продуктов реакции (вода) и теплоты.

ЭХГ – устройство, состоящее из одной или нескольких батарей топливных элементов (ТЭ), систем подготовки и подачи топлива и окислителя, отвода продуктов реакции и теплоты, преобразования и коммутации электроэнергии (при необходимости), а также имеющее собственную систему управления.

ЭЭУ – это установка, предназначенная для выработки электрической энергии и теплоты, включающая в себя ЭХГ, системы хранения топлива и окислителя (при необходимости), устройства для преобразования напряжения и тока (например, инвертор) и систему утилизации теплоты, генерируемой в ТЭ, например, для

теплофикации (низкопотенциальная теплота) или получения электрической энергии (высокопотенциальная теплота) в паровой или газовой турбине (в концевом цикле).

ЭЭУ по сравнению с энергетическими установками других типов обладают целым рядом преимуществ:

- компактность;
- полное отсутствие вредных выбросов во время работы (при использовании в качестве топлива водорода);
- практически бесшумная работа;
- быстрый запуск из холодного состояния, с приемом до 50 % нагрузки от максимальной мощности, и выход на полную мощность в течение нескольких минут (в первую очередь, применительно ЭЭУ с низкотемпературными ТЭ);
- высокая экономичность на всех режимах работы (на долевых нагрузках экономичность ЭХГ увеличивается в отличие от ДВС);
- высокая маневренность на всех режимах нагрузки;
- высокая надежность и возможность дистанционного управления и тестирования;
- длительный период межрегламентного обслуживания (до 12 мес.).

Сегодня широко известны опытные разработки и коммерческие предложения ЭХГ и ЭЭУ таких зарубежных компаний, как Ballard Power System (Канада), «Siemens» (Германия), Nedstack (Нидерланды), Hyundai Motor Company (Южная Корея), Hydrogenics (Канада), Powercell (Швеция). Среди отечественных научно-исследовательских институтов и промышленных предприятий следует отметить разработки филиала «ЦНИИ СЭТ» ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (г. Санкт-Петербург), ООО «Инэнерджи» (г. Москва), НИЦ «Курчатовский институт», ИФТТ РАН (г. Черноголовка), ИВТЭ УрО РАН (г. Екатеринбург), ИПХФ РАН (в настоящее время преобразован в ФИЦ ПХФ и МХ) (г. Черноголовка, Московская область).

Военный институт (Железнодорожных войск и военных сообщений) Военной академии материально-технического обеспечения (ВИ (ЖДВ и ВОСО) ВА МТО) по роду своей деятельности поддерживает постоянные контакты со всеми перечисленными российскими предприятиями. Эти предприятия также являются участниками выставок, проводимых в рамках Международных форумов «Армия-2015...2022», где представляют свои разработки, включая БТЭ и энергетические установки на их основе.

Особенно активное научное сотрудничество ВИ (ЖДВ и ВОСО) ВА МТО



осуществлял с филиалом «ЦНИИ СЭТ» ФГУП «Крыловский государственный научный центр», в рамках которого был разработан инновационный проект, содержащий предложения по созданию на базе научно-производственного задела филиала «ЦНИИ СЭТ» типового ряда автономных источников энергии с ЭХГ для обеспечения воинских формирований ЖДВ во всем диапазоне требуемых агрегатных мощностей [4].

В табл. 1 представлена предлагаемая номенклатура типового ряда ЭЭУ на базе ТЭ с твердополимерным электролитом (ТПТЭ), а на рис. 1 показано проектное решение по размещению оборудования демонстрационного образца ЭЭУ мощностью 10 кВт в стандартном контейнере.

Таблица 1

Номенклатура типового ряда ЭЭУ на базе ТПТЭ

| Агрегатная мощность, кВт | Вид тока              | Номинальное напряжение, В | Частота тока, Гц | Режим использования | Класс источника |
|--------------------------|-----------------------|---------------------------|------------------|---------------------|-----------------|
| 5                        | Переменный однофазный | $220 \pm 10$              | $50 \pm 5$       | К, Д                | М, П            |
| 8                        | Переменный однофазный | $220 \pm 10$              | $50 \pm 5$       | К, Д                | М, П            |
| 10                       | Переменный трехфазный | $400 \pm 10$              | $50 \pm 5$       | К, Д                | М, П            |
| 30                       | Переменный трехфазный | $400 \pm 10$              | $50 \pm 5$       | К, Д                | М, П            |
| 50                       | Переменный трехфазный | $400 \pm 10$              | $50 \pm 5$       | К, Д                | М, П            |

Примечания: К – кратковременного использования, Д – длительного использования; М – межвидовое назначение, П – производственно-техническое назначение.

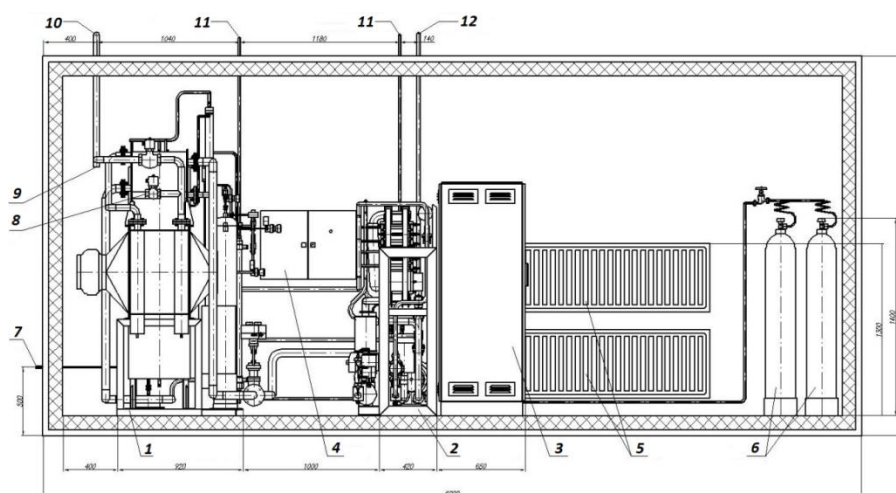


Рис. 1. Компонировочное решение размещения ЭЭУ мощностью 10 кВт:

- 1 – блок топливного конвертора; 2 – блок энергетический; 3 – блок (шкаф) системы преобразования и коммутации энергии; 4 – шкаф управления блока энергетического; 5 – радиаторы охлаждения; 6 – баллоны с аргоном; 7 – подвод органического топлива; 8 – отвод теплоносителя к потребителю; 9 – подвод теплоносителя от потребителя; 10 – отвод отработавших газов; 11 – аварийный и технологический сброс газа; 12 – сброс избытка воздуха



Оборудование ЭЭУ включает в себя: блок топливного конвертора; энергетический блок (рис. 2), основным элементом которого является ЭХГ на базе двух батарей БТЭ-П (рис. 3) с обслуживающими системами и собственным блоком управления; блок (шкаф) системы преобразования и коммутации энергии (СПКЭ) с элементами автоматики.

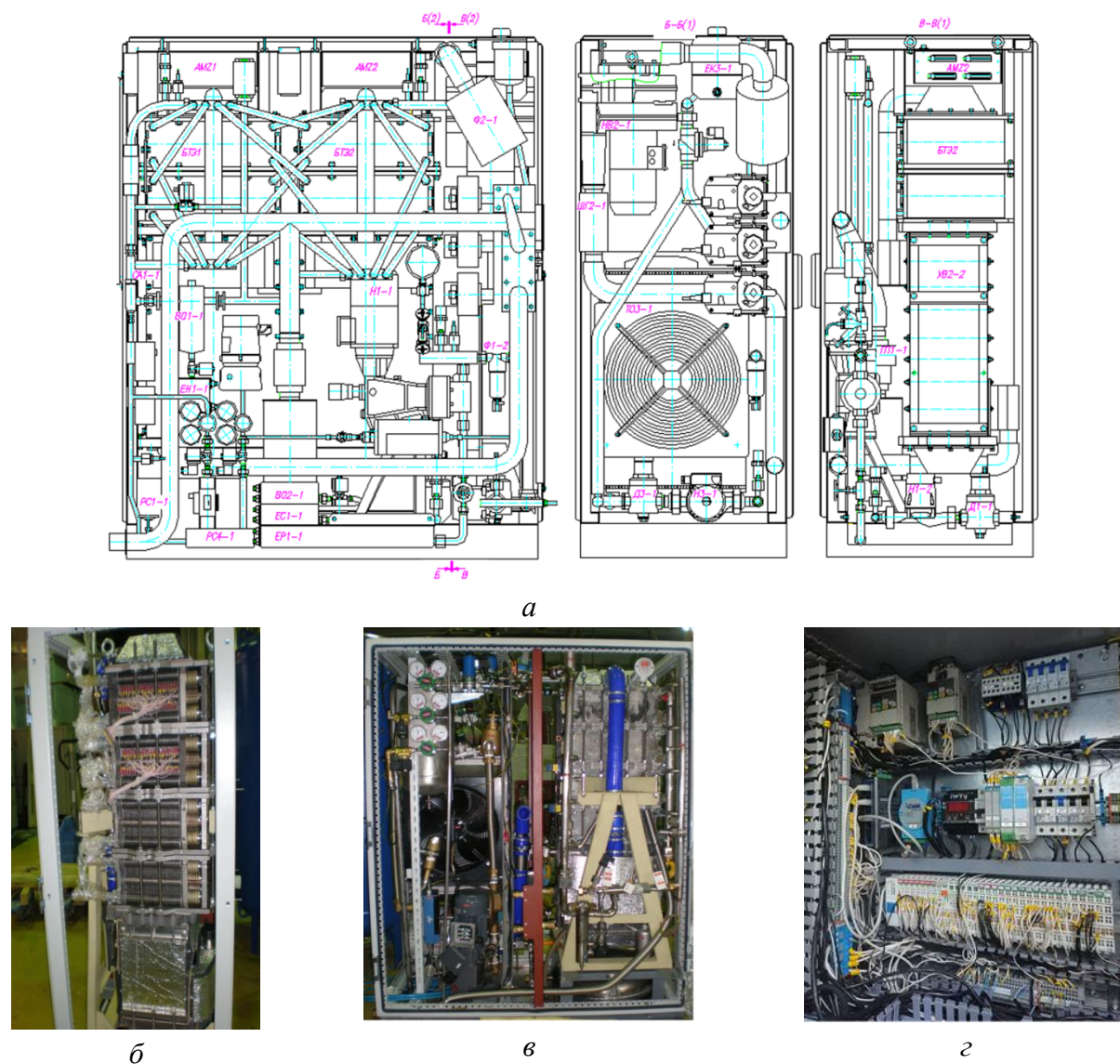


Рис. 2. Блок энергетический:

*а – сборочный чертеж; б – батареи топливных элементов с конденсатором-увлажнителем воздуха; в – обслуживающие системы с вспомогательным оборудованием; г – аппаратура управления блоком энергетическим*

В настоящее время Филиалом «ЦНИИ СЭТ» ФГУП «Крыловский государственный научный центр» освоено опытное производство ТПТЭ на базе мембранно-электродных блоков (МЭБ) с активной поверхностью  $330 \text{ см}^2$ , из которых собирается батарея БТЭ-П номинальной мощностью 5 кВт [4].

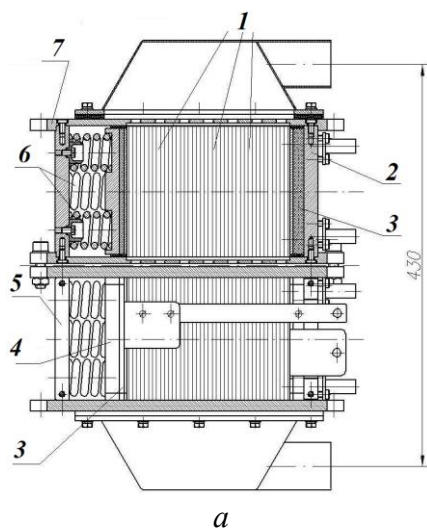


Рис. 3. Батарея БТЭ-II:

*а – сборочный чертеж; б – внешний вид; 1 – топливные элементы; 2 – крышка передняя; 3 – проставка электроизоляционная; 4 – крышка подвижная; 5 – крышка задняя; 6 – пружины сжатия; 7 – плита перфорированная*

Филиалом «ЦНИИ СЭТ» ФГУП «Крыловский государственный научный центр» также разработан типовой ряд инновационных топливных конверторов, позволяющих получать особо чистый водород из углеводородного топлива для обеспечения работы БТЭ [4]. В табл. 2 представлены основные технические характеристики типового ряда моноблочных топливных конверторов филиала «ЦНИИ СЭТ».

Таблица 2

Технические характеристики топливных конверторов филиала «ЦНИИ СЭТ»

| Наименование параметра, единица измерения                        | Мощность ЭЭУ         |        |        |
|------------------------------------------------------------------|----------------------|--------|--------|
|                                                                  | 10 кВт               | 20 кВт | 50 кВт |
| Тип энергоустановки, в который входит конвертор                  | На основе БТЭ с ТПТЭ |        |        |
| Номинальная производительность по водороду, нм <sup>3</sup> /ч   | 6,7                  | 13,3   | 33,3   |
| Давление водорода на выходе (абсолютное), МПа                    | 0,15 ± 0,01          |        |        |
| Эффективность преобразования топлива в номинальном режиме, %     | 78,2                 |        |        |
| Максимальный расход катодного газа, нм <sup>3</sup> /ч, не более | 20                   | 40     | 100    |
| Давление катодного газа на входе (абсолютное), МПа               | 0,105                |        |        |
| Максимальный расход воды, кг/ч                                   | 5,2                  | 10,4   | 26     |
| Давление воды (избыточное), МПа                                  | 1,4                  |        |        |
| Диаметр корпуса, мм                                              | 600                  | 800    | 1000   |
| Высота корпуса, мм                                               | 2000                 | 2100   | 2300   |

Представленный образец ЭЭУ (рис. 1-3) может быть использован в качестве прототипа при создании энергетических установок для Железнодорожных войск России.

## Литература

1. Сайданов, В. О. Энергетические установки на основе топливных элементов / В. О. Сайданов, И. К. Ландграф, М. А. Касаткин // Двигателестроение. – 2018. – № 1(271). – С. 27-30.
2. Сайданов, В. О. Источники электрической энергии железнодорожных войск и перспективы их развития / В. О. Сайданов // Военный инженер. – 2022. – № 4(26). – С. 42-51.
3. Сайданов, В. О. Анализ технического состояния средств энергообеспечения железнодорожных войск России / В. О. Сайданов, Е. С. Тимошук // Сборник научных статей «Специальная техника и технологии транспорта». – Санкт-Петербург, Петергоф, 2022. – Вып. № 13. – С. 34-41.
4. Сайданов, В. О. Энергетические установки для объектов Вооруженных сил Российской Федерации / В. О. Сайданов, И. К. Ландграф, О. В. Савченко. – Санкт-Петербург: Крыловский государственный научный центр, 2022. – 260 с.

УДК 681.5

### **Снижение трудозатрат на пусконаладочные работы при применении обучающего стенда САУ приточной вентиляции**

<sup>1</sup>Сафонов Алексей Викторович, студент направления

«Автоматизация технологических процессов и производств»;

<sup>2</sup>Пестова Евгения Дмитриевна, доцент кафедры «Атомная энергетика»;

<sup>3</sup>Самойлова Елена Михайловна, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Техническая механика и мехатроника»

<sup>1,3</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов;

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

*В данной статье описывается эффективность применения обучающего стенда: приводится система автоматического управления приточной вентиляцией, расчет планируемого снижения трудозатрат инженерно-технических работников на проведение пусконаладочных работ.*

Основной целью разработки обучающего стенда системы автоматического управления приточной вентиляцией является не только возможность применения продукта для непосредственного обучения молодых специалистов, но и совершенствование производственного процесса, а именно: снижение трудозатрат при проведении ПНР. Для того чтобы отразить планируемое снижение этих затрат, необходимо провести анализ имеющихся данных о времени выполнения этапов работ и рассчитать показатели эффективности применения разработанного стенда при ПНР системы приточной вентиляции с настройкой ПИД-регулирования [1].

Во время проектирования обучающего стенда неоднократно проводилась настройка разработанной модели в Simulink, подбирались оптимальные коэффициенты ПИД-регулятора и проверялась работа системы с учетом подобранных коэффициентов. Продолжительность проведения этапов работ изменялась, о чем свидетельствуют данные из табл. 1, где  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $m_i$  – это оценки максимальной, минимальной и наиболее вероятной трудоемкости выполнения работ. Эти оценки применяются для обозначения времени, затрачиваемого на проведение испытаний, и индивидуализированы под единицу персонала [2].

Таблица 1

Значение оценок трудоемкости выполнения работ

| Этап работы                                                    | $a_i$ , час | $b_i$ , час | $m_i$ , час |
|----------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Настройка разработанной модели в Simulink                      | 0,5         | 2           | 1           |
| Подбор оптимальных коэффициентов ПИД-регулятора;               | 0,3         | 1,1         | 0,5         |
| Проверка работы системы с учетом подобранных ПИД-коэффициентов | 0,5         | 1,5         | 1           |

Применяя такой метод подбора ПИД-коэффициентов, с помощью имитационной модели системы возможно сократить громоздкие математические вычисления для поиска эффективного сочетания пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющей ПИД-регулятора.

Верность данного утверждения подтверждается расчетом, оценивающим трудоемкость выполнения ПНР приточной вентиляции с ПИД-регуляторами. Данный расчет носит вероятностный характер и в дополненном виде используется в Госкорпорации «Росатом» для анализа эффективности внедрения проектов производственной системы «Росатома» (ПСР) и предложений по улучшению (ППУ) [3].

Расчет ожидаемого времени, затрачиваемого на выполнение работ, проводится

по формуле 1:

$$t_i = \frac{a_i + 4m_i + b_i}{6}, \quad (1)$$

где  $t_i$  – ожидание времени выполнения работ, час;  $a_i$  – оценка минимально возможной трудоемкости выполнения работ, час;  $b_i$  – оценка максимально возможной трудоемкости выполнения работ, час;  $m_i$  – оценка наиболее вероятной трудоемкости выполнения работ, час.

На основе эмпирического анализа в табл. 2 представлены значения оценок возможной трудоемкости выполнения и ожидаемое время работ. Расчет следует применять к тем этапам проектирования обучающего стенда, которые будут аналогичными при проведении ПНР [2].

Таблица 2

Вероятное время выполнения работ

| Этап работы                                     | $a_i$ , час | $b_i$ , час | $m_i$ , час | $t_i$ , час |
|-------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Настройка разработанной модели в Simulink       | 0,5         | 2           | 1           | 1,1         |
| Подбор оптимальных коэффициентов ПИД-регулятора | 0,3         | 1,1         | 0,5         | 0,58        |

Для получения понятия о том, сколько времени может сэкономить метод подбора коэффициентов ПИД-регулятора с помощью имитационной модели проведен сравнительный анализ затрачиваемого времени без применения данного метода и наоборот – с его применением.

Данные получены исходя из графика проведения ПНР после мероприятия по модернизации приточной вентиляции одного из производственных помещений на реальном предприятии. Эта пусконаладочная работа проводилась бригадой из двух инженерно-технических работников (ИТР). Следует отметить, что за счет подобранных имитационной моделью параметров время настройки ПИД-регулятора снизится, так как необходимость опробования системы путем наладки под нагрузкой практически отсутствует.

График проведения ПНР системы приточной вентиляции с применением ПИД-регулятора представлен в табл. 3.

**График проведения ПНР системы приточной вентиляции  
с применением ПИД-регулятора**

| Этап ПНР системы приточной вентиляции с применением ПИД-регулятора                                                                                                     | Норматив затрачиваемого времени, час |                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
|                                                                                                                                                                        | Без применения разработанного стенда | С применением разработанного стенда |
| Подготовка к проведению работ (изучение руководящих документов, алгоритмов работы, обучение персонала выполнению ПНР на вентиляционном оборудовании при помощи стенда) | 16                                   | 11                                  |
| Проверка кабельных связей и монтажа оборудования системы                                                                                                               | 8                                    | 8                                   |
| Проверка измерительных каналов, клапанов, вентиляторов «вхолостую»                                                                                                     | 8                                    | 8                                   |
| Проверка алгоритмов работы САУ приточной вентиляции                                                                                                                    | 2                                    | 2                                   |
| Настройка разработанной модели в Simulink                                                                                                                              | -                                    | 1.1                                 |
| Подбор оптимальных коэффициентов ПИД-регулятора на стенде                                                                                                              | -                                    | 0.58                                |
| Настройка ПИД-регулятора                                                                                                                                               | 6                                    | 0.1                                 |
| Проверка качества регулирования температуры приточного воздуха                                                                                                         | 1,5                                  | 1,5                                 |
| Завершение работ                                                                                                                                                       | 0,5                                  | 0,5                                 |
| Оформление отчетной документации                                                                                                                                       | 4                                    | 4                                   |
| <b>ИТОГО</b>                                                                                                                                                           | <b>46</b>                            | <b>36,78</b>                        |

По данным таблицам очевидно, что при внедрении метода подбора коэффициентов при помощи имитационной модели происходит сокращение времени этапа настройки ПИД-регулятора. Кроме этого, снижается и время подготовки к проведению работ за счет обучения персонала выполнению ПНР на системе управления приточной вентиляцией при помощи стенда. Применение разработанного стенда и имитационной модели на производство ПНР позволяет сократить трудозатраты производственного персонала на 20 %.

Таким образом, можно сделать вывод, что разработанный стенд наглядно показывает устройство и структуру САУ приточной вентиляции, а применение имитационной модели для подбора ПИД-коэффициентов снижает трудозатраты при комплексном опробовании оборудования приточной вентиляции.

#### Литература

1. Лаврухин, А. А. Проектирование автоматизированных систем / А. А. Лаврухин. – Омск: ОмГУПС, 2020. – 39 с.

2. Ларичев, О. И. Теория и методы принятия решений / О. И. Лавричев. – М.: Логос, 2020. – 296 с.

3. Экономическая оценка проектных решений: учебник / В. Т. Водяников, Н. А.Середа, О. Н. Кухарев [и др.]. – СПб.: Лань, 2022. – 436 с.

УДК 621.81

**Анализ возможности изготовления деталей в машиностроении  
в условиях импортозамещения**

Токарев Артём Сергеевич, старший преподаватель  
кафедры «Технология машиностроения»;

Ена Валентина Андреевна, студент специальности  
«Проектирование технологических машин и комплексов»;  
Кувайцева Ксения Александровна, студент специальности  
«Проектирование технологических машин и комплексов»

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

*В данной статье проанализированы способы решения проблемы изготовления деталей в машиностроении и обеспечения сервисного обслуживания промышленного оборудования в условиях импортозамещения. К способам решения проблемы относятся различные меры государственной поддержки промышленности, комплексы мероприятий от отечественных компаний и предприятий по изготовлению аналогов зарубежных деталей, проекты по реинжинирингу и др. Проанализирована эффективность применения отечественных режущих пластин по сравнению с импортными аналогами и произведена оценка состояния производства в машиностроительном секторе по итогам 2022 г.*

В 2022 году перемены в Российской экономике показали, что приобретение импортного оборудования – это не только качественный шаг в развитии производства, но и проблематичная эксплуатация данного оборудования по сравнению с отечественными аналогами. В первую очередь речь идет о запасных частях и расходных материалах, приобретение которых связано не только с длительными сроками поставки, но и не предсказуемым изменением цен, привязанных к курсам валют. Поэтому внедрение и реализация импортозамещающей политики является

одним из актуальных вопросов развития отечественной экономики, данные представлены на рис. 1 [1].

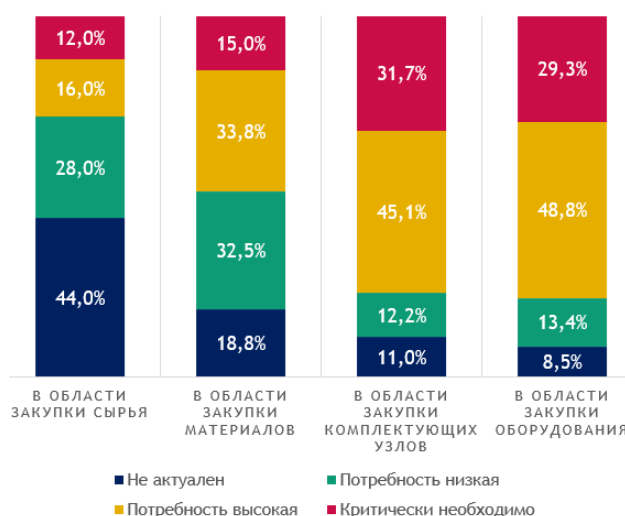


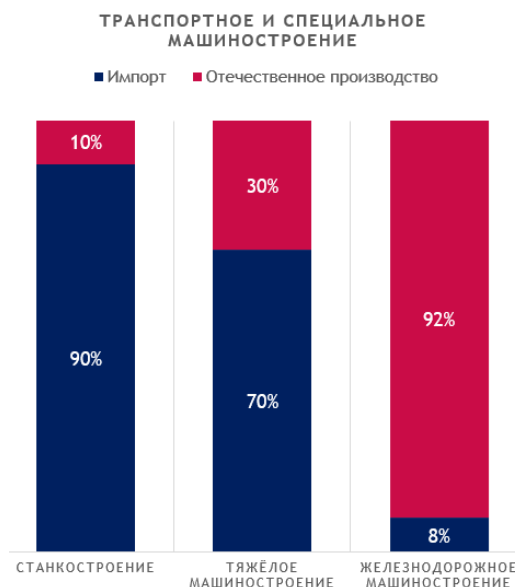
Рис. 1. Актуальность вопроса импортозамещения

В новых условиях под импортозамещением подразумевается ускоренное развитие внутренней индустрии для закрытия спроса по самым разным направлениям.

Целью импортозамещения является сохранение экономической стабильности и обеспечение экономического роста, при котором выбывание импортных деталей или технологии их изготовления заменяются использованием их нового варианта отечественного производства без снижения совокупной полезности.

В условиях санкций промышленные предприятия России столкнулись с трудностями в части эксплуатации и обслуживания оборудования зарубежного производства. Связано это с отсутствием оригинальных запасных частей и необходимых для замены деталей, диагностического оборудования с актуальной версией программного обеспечения, доступа к базам данных и каталогам. На рис. 2 представлена информация об уровне импортозависимости в машиностроении.





*Рис. 2. Уровень импортозависимости в машиностроении*

В условиях прямой зависимости от импорта последствия санкций стали скорее возможностью для быстрого развития отечественного производства, а не угрозой. С этой целью были созданы меры государственной поддержки промышленности в условиях санкций:

- программа ФРП «Транспортное машиностроение» (общий бюджет проекта – от 1,25 млрд руб, процентная ставка – 1 % годовых, срок займа – не более 10 лет);
- программа ФРП «Формирование компонентной и ресурсной базы» (общий бюджет проекта – от 10 млн руб, процентная ставка – 5 % годовых, срок займа – не более 3 лет);
- субсидия на разработку и организацию производства новых видов продукции, а также на модернизацию линейки выпускаемой продукции и др.

Актуальным является и вопрос поиска поставщиков. С этой целью было создано несколько площадок:

- сервис импортозамещения от Электронной торговой площадки Газпромбанка, созданный совместно с Минпромторгом России. С помощью сервиса заказчики смогут публиковать запросы на приобретение товаров, а поставщики — направлять свои ценовые предложения и предлагать российские и зарубежные аналоги товарам, импорт которых ограничен;
- подбор продукции и поставщиков от Ассоциации кластеров, технопарков и особых экономических зон России (АКИТ). Площадка запустила сервис по подбору аналогов продукции из Южной Кореи, Китая, Таиланда и других стран;

– площадка импортозамещения от «Глобальной индустриальной деловой сети». На платформе есть вся необходимая информация, раздел Минпромторга и две основные кнопки – «Поставщикам» и «Заказчикам». Программы нацелены на полное техническое и технологическое перевооружение предприятий [2].

В современных условиях на рынке появилось немало компаний, предлагающих выполнить полный комплекс конструкторских работ, связанных с импортозамещением как деталей, так и оборудования из любых отраслей промышленности. Примерами таких компаний являются «Комплекс КАД» и Уральский Литейный Завод «Прогресс». Они занимаются проработкой альтернативных вариантов замены импортного оборудования с упором на уменьшение бюджета при производстве аналога по документации, разработанной компанией, изготовлением копий деталей импортного производства с идентичным химическим составом и равнозначным качеством.

На Уральском Литейном Заводе «Прогресс» специалистами были проведены тестовые сравнительные испытания деталей на импортном оборудовании, произведенном в Германии, Италии и Китае. К сравнительному анализу были выбраны лопасти как детали, работающие в самых агрессивных условиях. Результаты показали, что ресурс работы произведенных на уральском литейном заводе деталей соответствует ресурсу работы деталей, произведенных в Германии, Италии, а по сравнению с Китайскими экземплярами превысил их ресурс на 30 - 40 % [3].

Как уже было сказано ранее, одним из экономических последствий санкций, введенных в отношении России, стало значительное сокращение импорта. Как следует из статистики стран – торговых партнеров России, импорт из отдельных стран снизился существенно. Так, в стоимостном выражении импорт из Германии в марте 2022 года упал на 58,7 % к показателю за март 2021-го, а из Франции и США – на 60,4 и 78,8 % соответственно.

В целях смягчения негативного влияния, оказываемого сокращением импорта на экономику страны, российское правительство запустило новый инструмент. Шестого мая 2022 года Минпромторг России утвердил перечень товаров, разрешенных к параллельному импорту. Параллельный импорт – это импорт товаров без согласия правообладателя, к нему допускаются товары компаний, которые приостановили деятельность в России.

На основе опубликованных кодов товаров АКРА оценило, что данный перечень охватывает порядка 36 % импорта товаров (по стоимости на основе данных, доступных за 2021 год), при этом на основные коды товарной номенклатуры – «оборудование, механические устройства», код 84 (в том числе вычислительные машины, двигатели,

краны, насосы) и «электрические машины и оборудование и их части», код 85 – приходится около 31 и 28 % параллельного импорта соответственно.

Помимо параллельного импорта Минпромторг предложил запустить такой проект, как шеринг промышленного оборудования. «Трансмашхолдинг» (ТМХ) совместно со «Станкоре́мсервисом» и пятью крупнейшими холдингами страны в самых разных отраслях промышленности предложили создать платформу, которая позволит совместно использовать имеющиеся промышленные установки, поддерживать их в работоспособном состоянии, а также в недалеком будущем снабжать их необходимыми расходными материалами и комплектующими.

Бизнес при поддержке государства активно вкладывается в импортозамещение. Одно из постановлений правительства поддерживает проекты по реинжинирингу, по так называемому догоняющему импортозамещению. Данные проекты предполагают разработку, оцифровку и изготовление деталей и объектов, недоступных по импорту. В таких проектах принимают участие и институты, например, Иркутский национальный исследовательский технический университет и Уральский федеральный университет. Сейчас разработки вузов, если они соответствуют определенному уровню, пользуются очень большим спросом.

По рейтингу изобретательской активности университетов УрФУ занял третье место среди российских университетов по количеству патентов.

Иркутский национальный исследовательский технический университет создал Конструкторско-технологическое бюро по программе «Приоритет 2030», которое занимается разработкой конструкторско-технологической документации для изготовления оборудования в условиях импортозамещения, а также опытных образцов деталей в интересах промышленных предприятий. Был изготовлен опытный образец колеса насоса, работа велась по проекту реверс-инжиниринга деталей и узлов зарубежного оборудования [4].

Также одним из решений проблемы импортозамещения сейчас служит обеспечение оперативного сервисного обслуживания промышленного оборудования и наладка каналов по доставке запасных частей и расходных материалов. Полная организация производства расходных материалов и деталей для импортного оборудования займет время, необходимое на отработку технологий изготовления и проведение испытаний, поэтому альтернативным решением становится использование высокоэффективных лазерных технологий для защиты действующих деталей от износа и коррозии, а также для восстановления изношенных и поврежденных деталей промышленного оборудования.

Технология лазерной наплавки позволяет восстанавливать детали из металла, которые при эксплуатации подвергаются повышенному износу, динамическим нагрузкам и механическим воздействиям. Лучом, генерируемым станком, на поверхности изделия создается ванна расплава, в эту зону подают присадки, такие как порошок, проволока, газопорошок или другой материал. В результате образуются сварные наплавки, восстанавливающие изношенную структуру изделий. Предоставлением таких услуг занимается торгово-сервисная компания ООО «Реман-Сервис» [5].

Многие предприятия принимают участие в создании и реализации программ по импортозамещению. Так, например, предприятие в России, которое получило заключение Минпромторга о том, что продукция производится в РФ – это ФГУП ПСЗ. Они одними из первых начали заниматься импортозамещением деталей станков, например, такой деталью является головка револьверная.

Возможность участия отечественных предприятий в импортозамещении можно оценить на примере режущих пластин. Согласно плану мероприятий по импортозамещению в станкоинструментальной промышленности РФ доля отечественных твердосплавных инструментов и пластин до реализации планов импортозамещения составляла 25 %, к 2024 году должна составить 36 %.

В России имеется ряд инструментальных предприятий, которые выпускают различные виды режущих инструментов, по ряду показателей не уступающих импортным.

В Пермском национальном исследовательском политехническом университете провели сравнительные комплексные исследования влияния конструкции, марки инструментальных материалов режущих пластин различных ведущих зарубежных фирм и Кировградского завода твердых сплавов (КЗТС) [6].

В результате проведенных исследований было установлено, что применение отечественных пластинок вместо импортных по параметрам качества обработанной поверхности, по физическим параметрам резания – силе и температуре резания, вибрации и шуму в зоне резания – не уступает известным зарубежным фирмам, а иногда и превосходит их по режущим параметрам. Результаты сравнительных экспериментальных исследований физических и качественных параметров процессов точения стальных заготовок режущими пластинами зарубежных и отечественных фирм (по каждому исследуемому параметру присваивались баллы, которые впоследствии суммировались, и на их основе определялось занятое место среди конкурирующих фирм) представлены на рис. 3.

В связи с этим отечественные режущие пластины КЗТС могут быть эффективно применены для замены импортных режущих инструментов, тем более стоимость импортных инструментов значительно выше отечественных.

| Вид точения  | Инструментальная фирма | Место, обусловленное эффективностью резания пластины при обработке стали 20X13 | Место, обусловленное эффективностью резания пластины при обработке стали 45 |
|--------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Чистовое     | Sandvik Coromant       | 1                                                                              | 3                                                                           |
|              | Seco                   | 3                                                                              | 2                                                                           |
|              | Pramet                 | 4                                                                              | 4                                                                           |
|              | КЗТС                   | 2                                                                              | 1                                                                           |
| Получистовое | Sandvik Coromant       | 1                                                                              | 1                                                                           |
|              | Seco                   | 4                                                                              | 3                                                                           |
|              | Pramet                 | 2                                                                              | 2                                                                           |
|              | КЗТС                   | 3                                                                              | 1                                                                           |
| Черновое     | Sandvik Coromant       | 2                                                                              | 1                                                                           |
|              | Seco                   | 1                                                                              | 4                                                                           |
|              | Pramet                 | 4                                                                              | 2                                                                           |
|              | КЗТС                   | 3                                                                              | 3                                                                           |

*Рис. 3. Результаты расчётов суммарной эффективности процесса резания режущих пластин отечественных и зарубежных фирм*

По статистике за 2022 год спад производства в машиностроительном секторе из-за дефицита комплектующих, нарушения логистических цепочек, закрытия предприятий западных компаний в РФ составил около 10 %. Поэтому, анализируя пути и возможности решения данной проблемы, можно отметить, что на данном этапе полностью заменить импорт невозможно, так как требуется расширение мер поддержки отрасли, прежде всего в части предоставления доступного финансирования, а также необходимо время на отработку технологий и проведение опытно-промышленных испытаний.

## Литература

1. Ключевые направления политики в области импортозамещения: взгляд бизнеса: [сайт]. – URL: <https://rspp.ru/> (дата обращения: 15.04.2023). – Текст: электронный.
2. Импортозамещение в России. Машиностроение: [сайт]. – URL: <https://www.business.ru/article/4087-importozameshchenie-2022> (дата обращения: 15.04.2023). – Текст: электронный.
3. Импортозамещение деталей и запчастей: [сайт]. – URL: [https:// ураллит.рф/services/importozameshhenie-detalej-i-zapchastej/](https://ураллит.рф/services/importozameshhenie-detalej-i-zapchastej/) (дата обращения: 15.04.2023). – Текст: электронный.

4. Интерфакс Россия. Иркутский политех открыл КБ для разработки оборудования в рамках импортозамещения: [сайт]. – URL: <https://www.interfax-russia.ru> (дата обращения: 16.04.2023). – Текст: электронный.

5. Технология лазерной газопорошковой наплавки слоя на поверхность деталей: [сайт]. – URL: <https://obrazovanie-gid.ru> (дата обращения: 16.04.2023). – Текст: электронный.

6. Макаров, В. Ф. Решение проблемы импортозамещения режущих инструментов на основе ускоренной диагностики физических параметров процесса резания / В. Ф. Макаров, М. В. Песин, Р. С. Абзаев // Научноёмкие технологии в машиностроении. – 2022. – № 9(135). – С. 26-37.

УДК 62-843.8

**Повышение эффективности работы ГПА на СПХГ за счет применения  
многоточечного впрыска влаги в проточную часть компрессора**

Уварова Анастасия Игоревна, студент;

Антропов Павел Георгиевич, кандидат технических наук,

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

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования «Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов

*В рамках статьи было выполнено исследование влияния многоточечного впрыска влаги в проточную часть компрессора на эффективность работы газоперекачивающего агрегата, работающего в летнее время года на станции подземного хранения газа в условиях высоких температур наружного воздуха. Проведен анализ изменения в зависимости от температуры и процента впрыска следующих параметров: работа сжатия 1 кг воздуха в компрессоре, мощность компрессора, расход топлива, эффективный КПД ГТУ. Предварительными расчетами были рассмотрены варианты оптимизации распределения впрыска влаги по проточной части компрессора.*

Основными элементами компрессорных станций являются газоперекачивающие агрегаты (ГПА). По виду привода нагнетателя их можно разделить на три группы: ГПА с приводом нагнетателя от газотурбинной установки (ГТУ), ГПА с электрическим приводом и ГПА приводом от поршневых двигателей внутреннего сгорания.

Современный фонд ГПА примерно на 79 % состоит из агрегатов, имеющих газотурбинный привод.

В качестве базового показателя термодинамической эффективности цикла ГТУ традиционно используется термический КПД, который вычисляется по формуле:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = \frac{H_e}{q_1} = \frac{H_T - H_K}{q_1}, \quad (1)$$

где  $H_T$  – работа расширения 1 кг рабочего тела в газовой турбине, кДж/кг;  $H_K$  – работа, затраченная на сжатие 1 кг воздуха в компрессоре, кДж/кг;  $q_1$  – количество подведенной теплоты.

Из формулы термического КПД следует, что работа сжатия в компрессоре является величиной, оказывающей существенное влияние на значение термического КПД ГТУ. Исходя из этого, в данной работе было проведено исследование возможности повышения термического КПД установки как основного показателя эффективности цикла путем уменьшения работы сжатия за счет многоточечного впрыска влаги в проточную часть компрессора. Работы, направленные на увеличение параметров ГТУ путем впрыска воды в компрессор, проводились многими авторами [1, 2].

Работа сжатия в компрессоре, кДж/кг:

$$H_K = C_p^B \cdot T_1 \cdot \frac{1}{\eta_K} (\pi_K^{m_B} - 1), \quad (2)$$

где  $C_p^B$  – теплоёмкость воздуха, кДж/кг·К;  $T_1$  – температура воздуха перед компрессором;  $\eta_K$  – КПД компрессора;  $\pi_K$  – степень сжатия в компрессоре;  $m_B$  – показатель адиабаты воздуха.

Потребление газа в течение года происходит неравномерно, поэтому для выравнивания сезонной неравномерности газопотребления и пиковых нагрузок на газопроводе используется СПХГ. Пики потребления газа приходятся на зимний период, поэтому период закачки газа в станции подземного хранения и, следовательно, работа компрессорных станций и входящих в их состав ГПА предполагается в летний период. В летний период в средней полосе, а также в южных областях России температура воздуха достигает порядка плюс 40 °С. Такие факторы являются неблагоприятными для эффективной работы ГТУ. Известно, что при повышении температуры окружающего воздуха работа, затраченная на сжатие воздуха в компрессоре, увеличивается, тем самым полезная мощность ГТУ снижается. Снижение эффективной мощности ГТУ в составе газоперекачивающего агрегата означает снижение производительности ГПА по технологическому газу, что в свою очередь означает невозможность работы компрессорной станции в необходимом режиме, который определяется

технологическим заданием. Это снижение предлагается компенсировать впрыском влаги.

Методика теплового расчета ГТУ с использованием многоточечного впрыска в проточную часть компрессора сводится к расчету температуры смеси после впрыска и дальнейшим расчетам цикла ГТУ по общеизвестному алгоритму и получению в результате значений критериев эффективности.

Теплоемкость рабочего тела, кДж/(кг·К) [4]:

$$C_{pi}^{cm} = \sum_{i=1}^k C_{pi} \cdot g_i, \quad (3)$$

где  $C_{pi}$  – массовая изобарная теплоемкость  $i$ -го количества смеси воздуха, воды или пара кДж/(кг·К);  $g_i$  – массовая доля  $i$ -го компонента смеси воздуха, воды или пара.

Работа, затраченная на сжатие 1 кг рабочего тела, кДж/кг:

$$H_k = \sum_{i=1}^k H_{ki}, \quad (4)$$

где  $H_{ki}$  – работа сжатия 1 кг рабочего тела, кДж/кг.

$$H_{ki} = \frac{1}{\eta_k} \cdot C_{pi}^{cm} \cdot T_1 \cdot (\varepsilon^m - 1), \quad (5)$$

где  $C_{pi}^{cm}$  – теплоёмкость смеси после сжатия на заданном количестве ступеней до впрыска, или до выхода из компрессора;  $C_{pj}^{cm}$  – теплоёмкость смеси перед сжатием на заданном количестве ступеней после впрыска, или на входе в компрессор;  $T_1$  – температура перед сжатием, К.

Количество теплоты смеси, кДж/кг:

$$Q_{cm} = t_{смеси}^2 \cdot C_{pi}^{cm} \cdot (G_{воды} + G_{возд}), \quad (6)$$

где  $G_{возд}$  – масс воздуха, кг;  $t_{смеси}^2$  – температура смеси, °С,  $C_{pi}^{cm}$  – теплоемкость смеси;  $G_{воды}$  – масса воды, кг.

Температура смеси после впрыска воды, °С:

$$T_{iсм}^2 = \frac{Q_{см}}{C_{pi}^{cm} \cdot (G_{воды} + G_{возд})}. \quad (7)$$

Впрыскивая воду в проточную часть ГТУ, теплота воздуха, приобретённая за счёт сжатия в компрессоре, тратится на нагрев воды. По причине высокого значения теплоёмкости воды можно выиграть в уменьшении температуры паровоздушной смеси на выходе из компрессора порядка 30 - 60 градусов в зависимости от процентного содержания впрыска влаги [3].

При расчётах предварительных показателей эффективности объектом исследования была принята компрессорная станция с установленными газоперекачивающими агрегатами типа ГПА-Ц-8Б. Предлагается рассмотреть равномерный впрыск влаги на каждой ступени четырнадцатиступенчатого компрессора



ГТУ при температурах наружного воздуха 15, 20, 25, 30, 35, 40 °С. Для оценки эффективности впрыска были выбраны значения 5, 8, 12, 15 % расхода влаги.

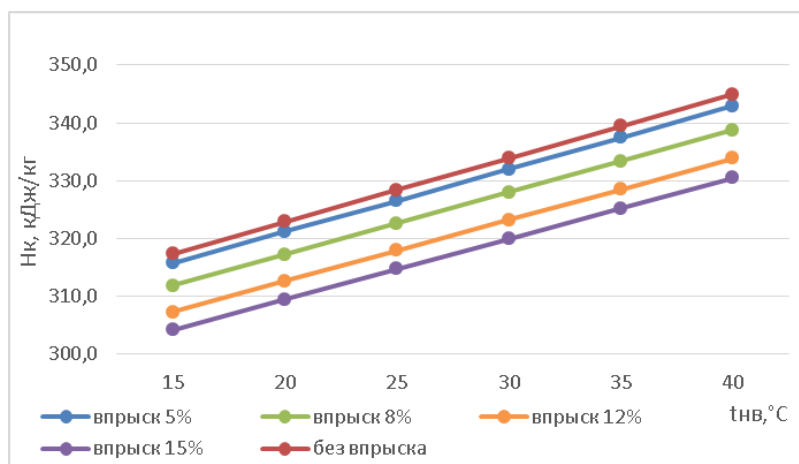


Рис. 1. Зависимость работы сжатия в компрессоре от температуры наружного воздуха с впрыском

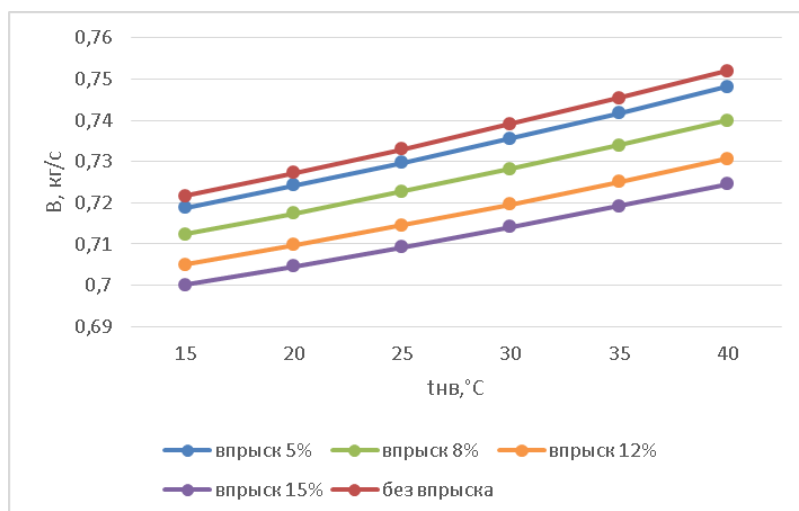


Рис. 2. Зависимость расхода топлива от температуры наружного воздуха с впрыском

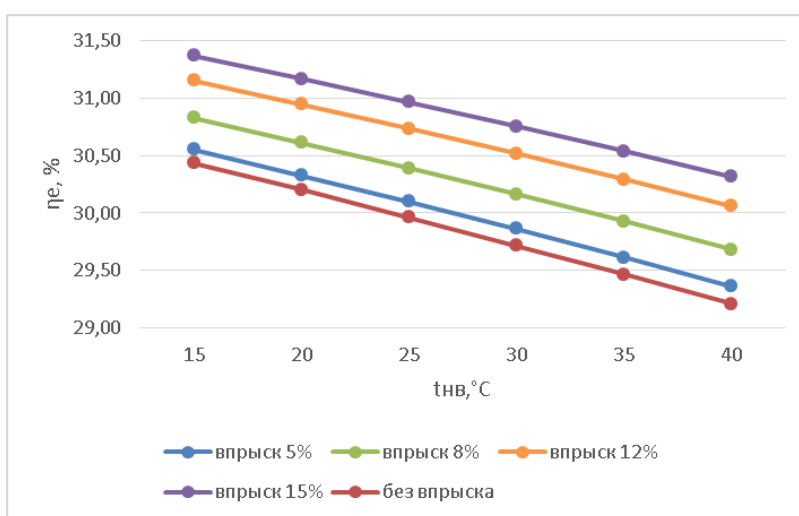


Рис. 3. Зависимость эффективного КПД от температуры наружного воздуха с впрыском

Как видно на рис. 1 - 3, результаты предварительных расчётов технико-экономических показателей показали, что с увеличением объёма впрыскиваемой воды работа, затрачиваемая на привод компрессора, уменьшилась на 0,52 %...4,18 %, расход топлива уменьшился на 0,39 %...3,66 %, а эффективный КПД возрос на 0,39 %...3,8 % в зависимости от температуры наружного воздуха и количества впрыскиваемой воды. В этом случае было рассмотрено влияние многоточечного равномерного впрыска влаги в проточную часть компрессора без его распределения. Предлагается рассмотреть оптимизацию распределения многоточечного впрыска влаги по проточной части компрессора.

Предварительными расчетами установлено, что впрыск влаги не по всей проточной части, а на первых семи ступенях осевого компрессора дает, во всяком случае при таком подходе, наибольший эффект в сравнении с другими распределениями впрыска по проточной части. В качестве климатического режима работы газотурбинной установки предлагается рассмотреть температуру наружного воздуха + 20,40 °С и впрыск влаги 5,8,12 и 15 %. При впрыске того же количества влаги на первых семи ступенях компрессора при сравнении с равномерным впрыском на четырнадцати ступенях расход топлива ощутимо сокращается на 1,14...2,56 %, работа сжатия при неравномерном впрыске влаги снижается на 1,49...3,22 % в сравнении с работой сжатия при равномерном впрыске в проточную часть компрессора. Оптимизация распределения многоточечного впрыска дает повышение КПД на 1,15...2,62 %. Можно сделать вывод о перспективности дальнейших углубленных исследований оптимизации впрыска по проточной части.

В качестве вывода можно сказать, что в рамках проведенной работы был выполнен анализ исследований и современных подходов к использованию многоточечного впрыска влаги в проточную часть компрессора, были рассмотрены методические основы расчета технико-экономической эффективности ГТУ с впрыском в составе ГПА на КС СПХГ, были выполнены предварительные расчеты по этим методическим основам, в ходе которых были получены результаты: увеличение эффективного КПД от 0,5 до 4 % в зависимости от температуры окружающей среды и количества впрыскиваемой воды, при этом уменьшение работы сжатия в компрессоре от 0,5 до 4,5 % и уменьшение расхода топлива от 0,4 до 4 %, что в годовом исчислении дает экономию около 40 млн. рублей в год.

## Литература

1. Расчетное исследование влияния впрыска воды на характеристики компрессора газотурбиной установки ГТ-009 / Ю. М. Ануров, А. Ю. Пеганов, А. В. Скворцов [и др.] // Теплоэнергетика. – 2006. – № 12. – С. 13-24.
2. Особенности поведения жидкой фазы в высокооборотных компрессорах конверсионных газотурбинных установок, их влияние на характеристики и эффективность «влажного» сжатия / Р. Р. Григорьяни, В. И. Залкинд, Ю. А. Зайгарник [и др.] // Теплоэнергетика. – 2007. – № 4. – С. 55-62.
3. Шигапов, А. Б. Стационарные газотурбинные установки тепловых электрических станций / А. Б. Шигапов. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2009. – 416 с.
4. Александров, А. А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник ГСССД Р-776-98 / А. А. Александров, Б. А. Григорьев. – М.: Изд-во МЭИ, 1999.

## СЕКЦИЯ 2

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

УДК 50-51

#### **Организация и контроль самостоятельной работы студентов при изучении высшей математики**

Авдошина Татьяна Федоровна, старший преподаватель  
кафедры «Физика и естественнонаучные дисциплины»

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

*В статье описаны основные принципы организации и контроля самостоятельной работы студентов первого курса по высшей математике. Отмечается важная роль домашних заданий и типовых расчетов, необходимость включения в них задач различного уровня сложности. Рассматриваются способы эффективной организации контроля выполнения всех видов домашних работ. В статье также приводятся результаты анкетирования студентов нашего вуза об их оценке своих знаний по школьной математике и высшей математике, об их мотивации к изучению математики в институте, об их отношении к общим и индивидуальным домашним заданиям.*

Уровень математической подготовки абитуриентов в настоящее время во многом не является достаточным для освоения студентами высшей математики в вузе. В учебном плане все большее количество часов отводится на самостоятельную работу студентов, чем на аудиторные занятия. Поэтому за ограниченное время преподавателю нужно успеть дать необходимый материал, а остальную часть вынести на самостоятельное изучение. При этом предполагается, что студент обладает базовыми знаниями и может самостоятельно работать с учебной и научной литературой. Но опыт показывает, что многие студенты первого курса не умеют конспектировать, выделять главное. В этом случае преподаватель должен привить навык самостоятельной работы по изучению и закреплению программного материала.

Проблема адаптации первокурсников к обучению в институте усложнилась в последние несколько лет за счет снижения требований и увеличения наборов. В связи с этим перед каждым преподавателем высшей математики возникают вопросы: как в наиболее простой и доступной форме донести информацию до студентов, как

эффективно организовать аудиторные занятия, как наилучшим образом закрепить полученные знания [1].

Был проведен опрос среди студентов первого курса БИТИ НИЯУ МИФИ, результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты анкетирования студентов: оценка своих знаний по школьной математике и высшей математике, мотивация к изучению математики в институте, отношение к общим и индивидуальным домашним заданиям

| Вопросы                                                                                | Ответы в %                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Оцените уровень своих знаний по школьной математике:                                | а) хороший – 54,5 %;<br>б) удовлетворительный – 41 %;<br>в) неудовлетворительный – 4,5 %.                                                                                                                                                                                       |
| 2. Результаты входного теста по математике                                             | а) более 70 баллов – 25 %;<br>б) от 30 до 70 баллов – 60 %;<br>в) менее 30 баллов – 15 %.                                                                                                                                                                                       |
| 3. Уровень своих знаний по окончании 1 семестра:                                       | а) хороший – 20 %;<br>б) удовлетворительный – 72 %;<br>в) неудовлетворительный – 8 %.                                                                                                                                                                                           |
| 4. Что мотивирует вас к изучению высшей математики?                                    | а) необходимость сдать экзамен – 36,4 %;<br>б) математика для вашей специальности не нужна – 9 %;<br>в) высшая математика является базой для изучения физики, химии, теоретической механики и специальных дисциплин, необходимых для освоения выбранной специальности – 54,6 %. |
| 5. Как вы считаете, нужны ли домашние задания:                                         | а) да – 73 %;<br>б) нет – 27 %.                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 6. Выполняете ли общие домашние задания (для всей группы одинаковые задания):          | а) самостоятельно – 18 %;<br>б) часть списываете – 60 %;<br>в) все задания списываете – 22 %.                                                                                                                                                                                   |
| 7. Выполняете ли домашние задания регулярно                                            | а) да – 85 %;<br>б) нет – 15 %.                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 8. При выполнении индивидуальных типовых расчетов (для каждого студента свой вариант): | а) решаете самостоятельно – 39 %;<br>б) разбираете по готовому типовому решению – 50 %;<br>в) списываете не получившиеся решения, не вникая в них – 9 %;<br>г) полностью все списываете – 2 %.                                                                                  |
| 9. Считаете ли вы, что типовые расчеты                                                 | а) способствуют качественному усвоению материала – 95 %;<br>б) не способствуют – 5 %.                                                                                                                                                                                           |

По результатам опроса больше половины оценили уровень своих знаний как хороший. Но если сравнить результаты входного контроля в виде тестирования этих же студентов, то процент получается ниже. Эти данные практически совпадают с тем, как сами студенты оценили уровень своих знаний по высшей математике по окончании

первого семестра. С одной стороны, это связано со снижением качества школьного образования, с другой – с интенсивностью изучения материала в вузе. При ответе на вопрос, «что мотивирует к изучению высшей математики» чуть больше половины студентов считают, что высшая математика является базой для изучения физики, теоретической механики, химии и специальных дисциплин, необходимых для освоения выбранной специальности.

Российские специалисты, анализируя результаты ЕГЭ [2], отмечают, с одной стороны, возрастающую потребность общематематических навыков в повседневной жизни, а с другой – «падение учебной конкуренции, формирование потребительского отношения к школе и отсутствие ответственности учащихся за результаты своего образования» и констатируют, что «доверие к школьному математическому образованию упало ниже критического уровня».

Преподаватели высшей математики сталкиваются с этими проблемами постоянно в условиях значительной сложности программного материала и сокращения часов математики. В настоящее время широко рассматриваются и обсуждаются методики организации, контроля самостоятельной работы студентов. Особую роль в учебном процессе играют текущие домашние задания, и необходимо, чтобы студенты добросовестно относились к их выполнению. Так, студенты нашего опроса теоретически признают важность домашних заданий.

После получения теоретического материала и решения задач студенту нужно закрепить полученные знания. На лекционных занятиях студент получает большой объем новой информации, и требуется еще дополнительное время, чтобы усвоить теоретический материал и разобраться со сложными задачами. Поэтому без домашних работ нельзя обойтись, даже если внимательно слушать лекции, активно заниматься на практических занятиях. Если после изучения некоторой темы в конце занятия провести самостоятельную работу, то обычно многие хорошо решают. Но это только кратковременная память, а уже через некоторое время алгоритм решения забывается и аналогичные задачи решаются с трудом. Чтобы получить прочность приобретенных знаний, качественное овладение материалом возможно только при его самостоятельном осмыслении, повторении. Умение самостоятельно обрабатывать информацию развивает творческие навыки студентов и улучшает критическое мышление. При выполнении домашних заданий происходит рациональная организация времени, улучшается самодисциплина.

В зависимости от способности и подготовленности каждого студента индивидуальные задания должны быть различными по уровню сложности. Простые

задачи нужны для отработки стандартных методов и являются обязательными для выполнения каждым студентом. Задания более высокого уровня, требующие более углубленного самостоятельного изучения дополнительного материала, могут решить не все студенты. Разноуровневые задачи обеспечивают каждому студенту возможность усвоить курс математики, достичь уровня, соответствующего его индивидуальности, стимулируют к стремлению повышать свой уровень знаний [3].

При самостоятельном решении задач у студентов могут возникнуть вопросы. С этой целью регулярно проводятся консультации. Кроме того, домашние примеры, вызвавшие сложности при решении, обязательно разбираются на следующем занятии. При этом не обязательно проводить проверку домашних заданий у всей группы, а выборочно. Разбор домашних заданий способствует более глубокому пониманию и прочности усвоения данной темы. По результатам нашего опроса большая часть студентов считает, что проверка стимулирует их к регулярному выполнению домашних работ.

Студенты на нашей кафедре кроме общих домашних работ выполняют индивидуальные задания ( типовые расчеты) по каждому разделу математики, которые учитываются как текущий контроль. Типовые расчеты содержат вопросы по теории и состоят из большого количества задач различного уровня сложности. Первая часть А состоит из задач, которые являются обязательными для всех, и за их выполнение ставится 30 баллов. Это минимум для допуска к экзамену. При этом за решение частей В и С добавляются баллы. Если за текущий контроль студент получает минимум баллов, то ему может не хватить на экзамене баллов, чтобы на экзамене была хорошая оценка. Поэтому это является стимулом решать более сложные задачи. Как показывает опыт, если в течение семестра студент вовремя выполняет все работы, внимательно слушает лекции, на практическом занятии активно работает, старается разобраться самостоятельно со сложными задачами, задает вопросы преподавателю, то и проблем с успешной сдачей экзамена не бывает. Но таких, как правило, совсем немного в группе. Есть такие студенты, для которых нужно больше времени, чтобы осмыслить материал и понять алгоритм решения задач. Поэтому самостоятельная работа играет важную роль при освоении дисциплины. Индивидуальные задания необходимо проверять, лично беседуя со студентом, который должен объяснить принцип решения задачи, чтобы исключить списывание.

Как показал опрос, только 18 % студентов самостоятельно выполняют общие домашние работы, а при выполнении же индивидуальных типовых расчетов 39 % студентов решают их самостоятельно. Индивидуальные задания стимулируют

студентов к активной работе с самого начала занятий, что очень повышает их интерес к учебе и в итоге уровень успеваемости. При этом полученные знания являются основательными, и у обучаемого появляется чувство удовлетворенности от проделанной работы. Согласно опросу почти все студенты считают, что типовые расчеты способствуют качественному усвоению материала, так как нужно самостоятельно разобраться в решении своих задач. Индивидуальные задания являются тренировочными, это по сути подготовка к итоговой контрольной работе по данной теме. После изучения каждой темы проводится проверка теоретических знаний и практических навыков в форме коллоквиума, контрольной работы, и результат значительно выше там, где студенты выполняли типовые расчеты. Это можно объяснить тем, что студенту приходится своевременно изучить тему, чтобы успеть сдать типовой расчет, который является допуском к итоговой контрольной работе.

Самостоятельная работа студентов играет огромную роль при закреплении пройденного материала, позволяет осмыслить и понять новую информацию, научиться решать сложные задачи при достаточном количестве времени. На выполнение домашней работы студент тратит времени столько, сколько потребуется, чтобы разобраться с более сложным заданием, а если получается решить, то приходит понимание, как решать конкретные задачи, и появляется желание учиться. Поэтому важным направлением улучшения качества подготовки будущих специалистов является эффективная организация самостоятельной работы студентов, которая включает необходимое сочетание общих и индивидуальных домашних заданий, что приводит к личностно ориентированной направленности процесса обучения, развивая у студентов культуру умственного труда и ответственность за свое самообразование.

### Литература

1. Соловьева, И. Ф. К вопросу преподавания математических дисциплин для студентов технических специальностей / И. Ф. Соловьева, Е. В. Калиновская // Труды БГТУ. – 2014. – № 8. – С. 98-100.

2. Ященко, И. В. Методические рекомендации по некоторым аспектам совершенствования преподавания математики (на основе анализа типичных затруднений выпускников при выполнении заданий ЕГЭ) / И. В. Ященко, А. В. Семенов, И. Р. Высоцкий // ФИПИ: [сайт]. – URL: <http://www.fipi.ru/binaries/1562/MATnew.pdf> (дата обращения: 12.04.2023). – Текст: электронный.



3. Марченко, В. М. О методическом обеспечении и системе оценки знаний студентов в уровневой образовательной технологии / В. М. Марченко, И. М. Борковская, О. Н. Пыжкова // Труды БГТУ. – 2012. – № 8. – С. 39-41.

УДК 004.9

**Использование программных приложений для оптимизации процесса  
оценивания работ обучающихся вузов**

Байкин Никита Сергеевич, 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

*В современном образовании информационные технологии имеют важное значение, поэтому веб-приложения для преподавателей являются неотъемлемой частью учебного процесса. Такие приложения помогают упростить процесс выставления оценок за практические работы, а также предоставляют информацию об успеваемости обучающихся в удобном формате.*

Образование – это одна из самых мобильных динамичных и креативных сфер жизнедеятельности. Преподаватель понимает: для того, чтобы быть успешным и востребованным, надо быть актуальным – надо работать, используя технологии, присущие эпохе [1]. В настоящее время существует множество программных приложений, которыми могут пользоваться преподаватели высших учебных заведений, школ и подготовительных учреждений в ходе учебной деятельности [2]. Это программное обеспечение как для организации учебного процесса, так и для оценивания работ и отслеживания успеваемости обучающихся.

Два наиболее популярных приложения на российском рынке – это «1С: Университет» и «GS-Ведомости».

«1С: Университет» – это система, которая объединяет в себе управление учебным процессом и бухгалтерский учет. Она предоставляет возможность преподавателям выставять оценки за различные виды работ и тестирования, а также отслеживать успеваемость студентов. Однако данная система имеет сложный

интерфейс, что может затруднять ее использование преподавателями, которые не имеют достаточного опыта работы с IT-системами.

«GS-Ведомости» – это веб-приложение, которое предоставляет возможность выставления оценок за различные виды работ, тестирования и экзамены. Система имеет простой и понятный интерфейс, что делает ее использование более удобным для преподавателей. Кроме того, «GS-Ведомости» предоставляет подробную статистику успеваемости студентов, что помогает преподавателям оценивать уровень знаний студентов и принимать решения по улучшению учебного процесса.

Проанализировав эти системы, можно сделать вывод о том, что они имеют многосторонний и сложный функционал. Для использования таких систем требуются специализированные знания. Видится актуальной разработка простого веб-приложения следующего функционала:

- возможность хранить сведения об обучающихся, дисциплинах, текущей и промежуточной аттестации по дисциплинам в единой базе данных;
- формирование итоговых зачетных и экзаменационных ведомостей по дисциплинам на основе данных об оценках в приложении;
- ведение статистики успеваемости обучающихся по дисциплинам.

Прежде чем приступить к разработке программного приложения, необходимо проанализировать предметную область и выполнить моделирование оптимизируемых процессов. На рис. 1 и 2 представлены функциональная блок-схема и диаграмма декомпозиции процесса оценивания работы обучающегося.

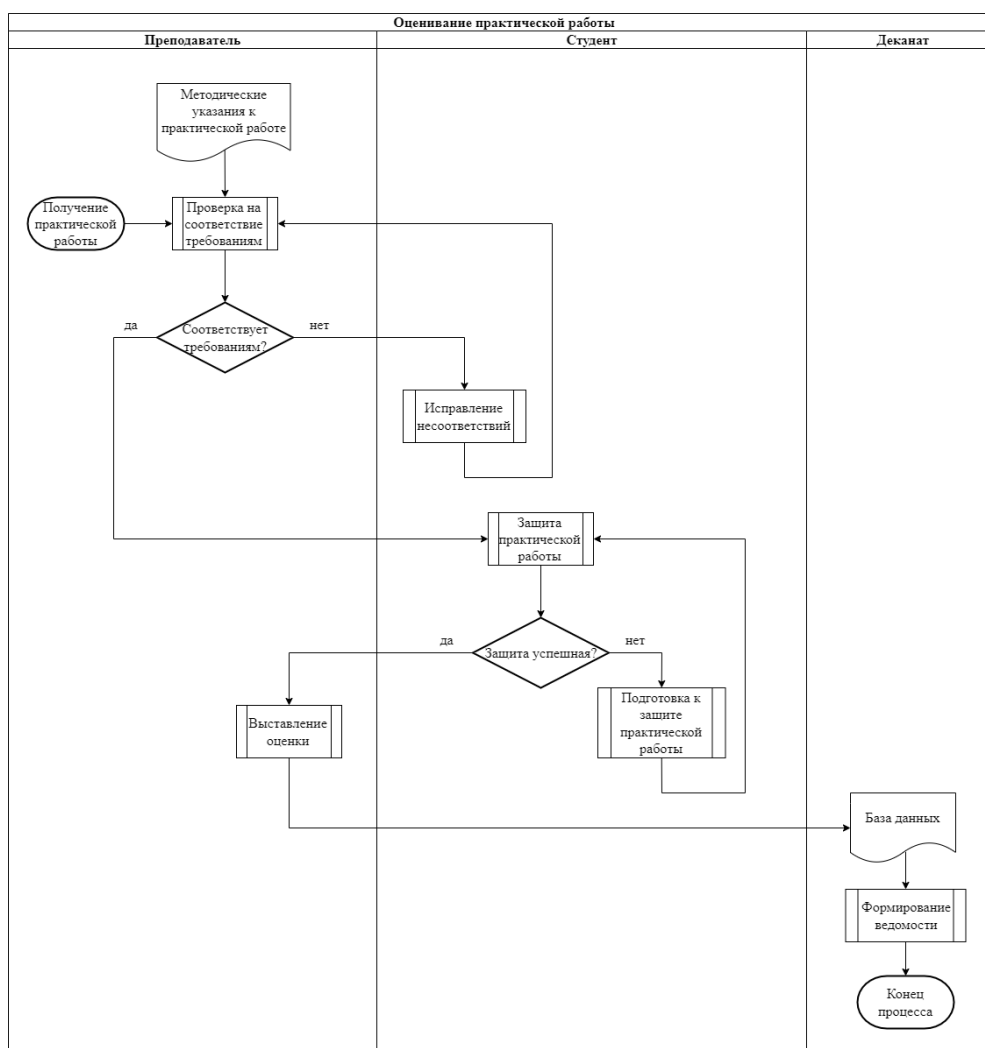


Рис. 1. Функциональная блок-схема процесса оценивания работы обучающегося

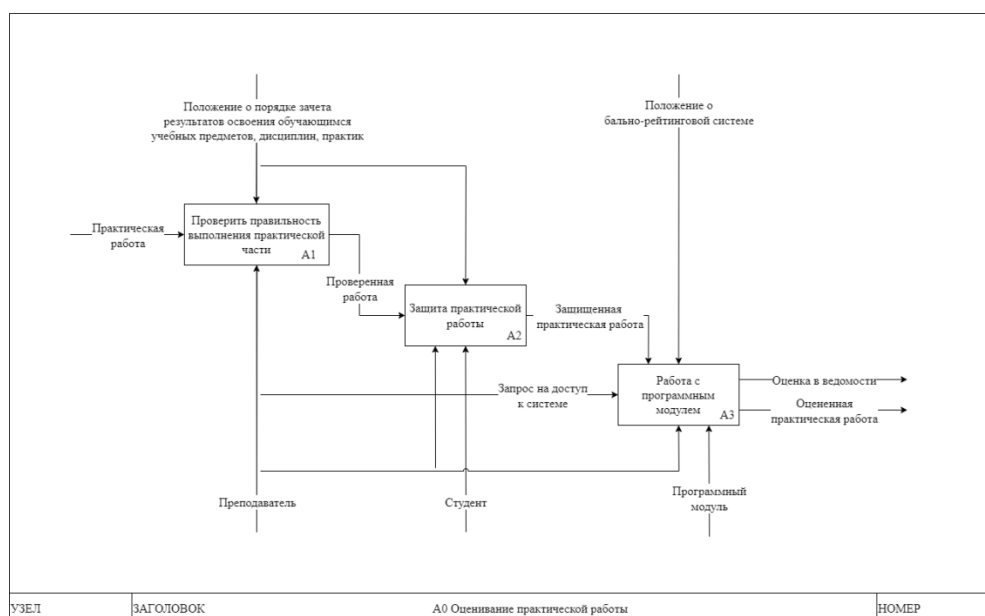


Рис. 2. Диаграмма декомпозиции процесса оценивания работы обучающегося

Для разработки приложения необходимо выбрать язык программирования и систему управления базой данных. Из нескольких языков программирования, таких как

JavaScript, TypeScript, C#, Dart, выбран язык JavaScript, так как он лучше всего подходит для разработки веб-приложений. JavaScript обладает большим сообществом разработчиков, богатой экосистемой библиотек и фреймворков, что упрощает разработку и расширение функциональности приложения.

На настоящий момент существуют несколько популярных систем управления базами данных (СУБД), включая MySQL, Microsoft SQL Server и PostgreSQL. В современной обстановке перехода от импортного программного обеспечения к отечественному, PostgreSQL является оптимальным вариантом. Он представляет собой мощную и открытую СУБД с широким набором функций и возможностей, активно развивается, совместим с различными операционными системами, что обеспечивает поддержку и обновления системы.

Разработанное с помощью данных программных средств веб-приложение поможет преподавателям упростить процесс оценивания практических работ обучающихся, а также даст возможность формировать необходимые документы для отчетности и вести статистику успеваемости, основываясь на данных из приложения.

#### Литература

1. Долгачев, В. А. Применение онлайн-сервисов в организации дистанционного обучения / В. А. Долгачев, Г. В. Очкур // Сборник статей XXV Международной научно-технической конференции «Информационно-вычислительные технологии и их приложения». – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. – С. 47-50.
2. Забродин, М. Д. Функциональные возможности облачных сервисов в преподавательской деятельности / М. Д. Забродин, О. В. Виштак // 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. 251-257.
3. Миндалев, И. В. Моделирование бизнес-процессов с помощью IDEF0, DFD / И. В. Миндалев. – Красноярск: Красноярский ГАУ, 2016. – 123 с.
4. Киселев, Д. Ю. Функциональное моделирование на базе стандарта IDEF0 / Д. Ю. Киселев. – Самара: СГАУ, 2014. – 20 с.

### **Компетенции контент-менеджеров**

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

Лотова Наталья Евгеньевна, 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 рассмотрена значимость подготовки и востребованность ИТ-специалистов, проведен анализ деятельности специалиста ИТ-сферы - контент-менеджера. Рассмотрены трудовые функции контент-менеджера.*

ИТ-специалисты – это профессионалы в области информационных технологий, которые занимаются разработкой, тестированием, внедрением, поддержкой и обслуживанием ИТ-систем и программного обеспечения [1, 2, 4]. В зависимости от специализации ИТ-специалисты могут заниматься различными областями, такими как программирование, сетевые технологии, базы данных, информационная безопасность, аналитика данных и другие [3, 6].

Подготовка ИТ-специалистов в настоящее время является очень важной задачей, так как современный мир все больше зависит от информационных технологий. ИТ-специалисты играют важную роль в разработке и поддержке программного обеспечения, а также в обеспечении безопасности систем и данных. Без квалифицированных ИТ-специалистов невозможно обеспечить нормальную работу компьютерных систем и сетей, а также защитить данные от кибератак и других угроз.

Несмотря на то, что сфера ИТ является одной из самых быстроразвивающихся и динамичных отраслей экономики, недостаток квалифицированных специалистов остается одной из главных проблем. Пандемия COVID-19 привела к прорывному переходу к цифровому формату организации процессов, многократно ускорив естественный прогресс. Уникальная ситуация 2020 года еще больше повысила важность цифровизации и переориентировала пользователей на удаленный формат получения услуг. Люди приняли новые условия жизни, доступность технологий, что модифицировало их навыки и привычки [6].

Подготовка IT-специалистов включает в себя не только технические знания и навыки, но и умение работать в команде, общаться с клиентами и коллегами, а также быстро адаптироваться к новым технологиям и изменениям в сфере IT [2, 4]. Кроме того, необходимо обладать навыками аналитического мышления и решения проблем, что позволяет им находить эффективные решения для различных задач.

Одним из главных преимуществ IT-специалистов является их способность решать сложные и нетривиальные задачи, связанные с информационными технологиями. На данной профессии можно научиться разрабатывать новые программы и системы, а также оптимизировать и улучшать уже существующие. Специалисты также обеспечивают безопасность компьютерных систем и данных, защищая их от вирусов, хакерских атак и других угроз.

А ещё эти специалисты могут играть важную роль в различных отраслях экономики, таких как банковское дело, медицина, производство, транспорт и другие. Они помогают улучшить эффективность работы компаний и организаций, а также повысить качество продукции и услуг.

Широкое использование информационных технологий в различных отраслях экономики и жизни общества делает подготовку IT-специалистов еще более важной. Большинство компаний и организаций нуждается в IT-специалистах, чтобы разрабатывать и поддерживать свои системы, а также обеспечивать безопасность своих данных. Поэтому значимость подготовки IT-специалистов будет расти в будущем.

Таким образом, подготовка IT-специалистов имеет огромное значение для развития экономики, науки и технологий, а также для обеспечения безопасности и защиты информации. Поэтому необходимо уделять большое внимание качественной подготовке IT-специалистов и созданию условий для их профессионального роста и развития.

В данной статье представлен анализ компетенций специалиста, который занимает особую важность в IT-сфере, – контент-менеджер. Это прежде всего диджитал-специалист, который занимается созданием и дистрибуцией самого разного контента. Профессия «контент-менеджер» подразумевает наполнение и развитие сайтов компании, руководство работой сторонних и штатных специалистов, в том числе постановку задач копирайтерам, дизайнерам, программистам [5, 7, 8].

На самом деле ключевое слово в этой профессии именно «менеджер». То есть человек, который занимает эту должность, не просто наполняет сайт компании, а в первую очередь управляет этим процессом. Его главная задача – сделать так, чтобы на

сайте, а также в социальных сетях и рассылках всегда была свежая информация для пользователей, которая привлекает и мотивирует их покупать товар или услугу.

Как правило, стратегия наполнения сайта разрабатывается вместе с маркетологом. Он формулирует цели проекта и решает, как их достичь, а контент-менеджер отвечает за то, чтобы все идеи были воплощены в жизнь.

На этой должности придется работать в связке с веб-дизайнером, графическим дизайнером, маркетологом, SMM-щиком, копирайтерами, программистами.

Трудовые функции контент-менеджера могут варьироваться в зависимости от конкретной компании и ее потребностей в управлении контентом. Тем не менее, ниже перечислены некоторые общие функции, которые выполняет контент-менеджер:

1. Разработка контент-стратегии: контент-менеджер должен разрабатывать стратегию создания и размещения контента на сайте или в социальных сетях, а также определять цели и задачи контент-маркетинга.

2. Создание и редактирование контента: контент-менеджер должен создавать и редактировать тексты, изображения, видео и другой контент, который будет размещаться на сайте или в социальных сетях.

3. Оптимизация контента для поисковых систем: контент-менеджер должен уметь оптимизировать контент для поисковых систем, чтобы повысить его видимость и привлечь больше посетителей на сайт.

4. Управление контентом на сайте: контент-менеджер должен знать, как работать с системами управления контентом (CMS), чтобы размещать, редактировать и удалять контент на сайте.

5. Управление социальными сетями: контент-менеджер должен уметь планировать и публиковать контент на различных социальных сетях, а также отвечать на комментарии и сообщения пользователей.

6. Аналитика: контент-менеджер должен уметь анализировать данные и понимать, как контент влияет на поведение пользователей на сайте и в социальных сетях, чтобы оптимизировать контент-стратегию и улучшить ее результаты.

7. Управление проектами: контент-менеджер должен уметь планировать и управлять проектами, чтобы обеспечить своевременную и эффективную доставку контента.

8. Сотрудничество с другими отделами: контент-менеджер должен сотрудничать с другими отделами компании, такими как маркетинг, дизайн, разработка, чтобы обеспечить согласованность контента и достичь общих целей.

9. Мониторинг конкурентов и анализ их контент-стратегии.

10. Управление бюджетом на продвижение контента.

11. Проведение А/В тестов для определения эффективности контента.

Это лишь некоторые из компетенций контент-менеджера, которые востребованы в компаниях. В целом, контент-менеджеры являются важным звеном в маркетинговой стратегии компании. А также в других отраслях, таких как реклама, PR, издательское дело, поэтому и их востребованность будет только расти.

### Литература

1. Виштак, О. В. Подготовка к профессии программиста как синтез искусства и науки / О. В. Виштак, М. А. Кулагин, И. В. Михеев // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием. Институт прикладной математики и механики. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – С. 16-18.

2. Труфанов, А. В. Компетенции IT-специалистов / А. В. Труфанов, О. В. Виштак // Сборник материалов Всероссийской молодежной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и творчество: вклад молодежи». – Махачкала, 2021. – С. 39-44.

3. Жарков, Г. А. Компетенции веб-разработчиков / Г. А. Жарков, О. В. Виштак // Сборник 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. 247-251.

4. Виштак, О. В. Межпредметная интеграция при изучении специальных дисциплин подготовки бакалавров в области IT-технологий / О. В. Виштак, А. Н. Токарев // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2014. – № Т20. – С. 4836-4840.

5. Джо Пулицци. Получите контент. Получите клиентов: превратите потенциальных клиентов в покупателей с помощью контент-маркетинга / Джо Пулицци, Ньют Барретт. – Изд-во: McGraw Hill, 2009. – 224 с.

6. Артеменко, Д. А. Цифровые технологии в финансовой сфере: эволюция и основные тренды развития в России и за рубежом / Д. А. Артеменко, С. В. Зенченко // Финансы: теория и практика: [сайт]. – URL: <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2021-25-3-90-101> (дата обращения: 10.04.2023). – Текст: электронный.

7. Роберт Роуз. Управление контент-маркетингом. Практическое пособие по созданию лояльной аудитории для вашего бизнеса / Роберт Роуз, Джо Пулицци; перевод с английского языка Всеволода Иващенко. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014. – 240 с.



8. Артеменко, Д. А. Цифровые технологии в финансовой сфере: эволюция и основные тренды развития в России и за рубежом / Д. А. Артеменко, С. В. Зенченко // Финансы: теория и практика. – 2021. – Т. 25. – № 3.

УДК 004.418

### **Моделирование технологического процесса обследования гидротехнических сооружений**

<sup>1</sup>Виштак Ольга Васильевна, доктор педагогических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры «Информационные системы и технологии»;

<sup>2</sup>Денисов Владислав Олегович, начальник отделения по эксплуатации  
гидротехнических сооружений

<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>Балаковский филиал АО «Апатит», г. Балаково

*В статье представлены результаты моделирования технологического контроля за состоянием гидротехнических сооружений предприятий. Обоснована необходимость разработки программного модуля анализа состояния гидротехнического сооружения, что позволит после его внедрения существенно оптимизировать информационное обеспечение анализа технологического процесса.*

В последние годы тенденции в области автоматизации промышленных предприятий, а также обеспечения безопасности, включая их оборудование и гидротехнические сооружения, направлены на поиск технических решений, позволяющих при соблюдении всех требований к составу и количеству наблюдений обеспечить более оперативный, информативный, качественный и надёжный контроль [1-4].

В данной статье рассматриваются следующие гидротехнические сооружения (ГТС) предприятия:

- шламонакопитель, который предназначен для осветления воды посредством осаждения поступающих с производственной площадки стоков;
- пруд-накопитель, который используется как буферная емкость, а также для испарения объема воды за счет большей площади поверхности водного зеркала;

- аккумулирующие емкости, основной задачей которых является аккумулирование стоков и транспортировка их на следующий технологический этап.

Основными параметрами этих гидросооружений, подлежащими контролю, являются уровень воды, измеряемый специальным инструментом – водомерной рейкой, и состояние насосного оборудования как техническое, так и эксплуатационное.

При ведении учета этих основных параметров на бумажном носителе существуют определённые недостатки, такие как, например, ошибки обходчиков (рабочий персонал, осуществляющий контроль и измерения), большие затраты времени для передачи информации о состоянии ГТС инженерно-техническим работникам, принимающим решения о корректировке технологического процесса, отсутствие наглядной картины с отображением динамики изменения основных параметров.

Процесс обследования ГТС начинается с проведения осмотра обходчиком ГТС, в функции которого входит сбор текущих данных о состоянии объектов. Как отклик на внесение им данных о состоянии объектов формируются корректирующие поручения ИТР цеха. Проведем моделирование технологических процессов [6-8]. На рис. 1 представлена диаграмма IDEF-0, предназначенная для графического представления моделирования процесса передачи информации от обходчика ГТС к инженерно-техническим работникам цеха.

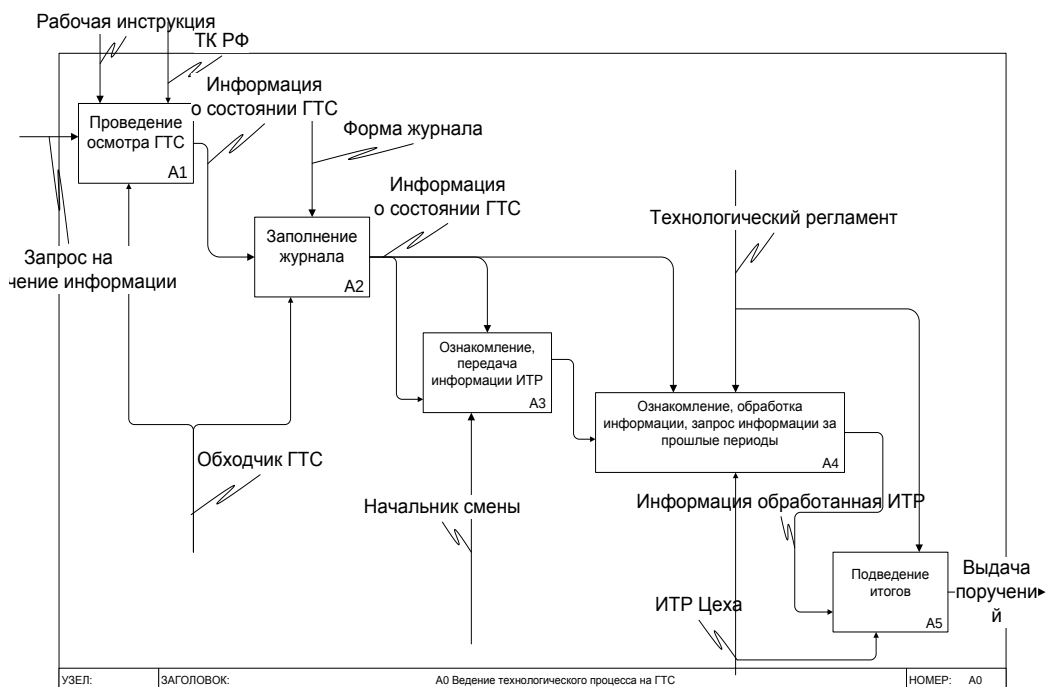


Рис. 1. Диаграмма IDEF-0

Основной процесс представляет собой совокупность пяти подпроцессов:

- проведение осмотра ГТС;

- заполнение журнала;
- ознакомление начальника смены с информацией и передача информации ИТР цеха;
- проведение анализа состояния ГТС посредством запроса информации за прошедшие периоды у обходчика ГТС;
- принятие решений для регулировки технологического процесса.

В первую очередь обходчик гидросооружений, в соответствии с требованиями рабочей инструкции выполняет обход имеющихся на предприятии гидротехнических сооружений и собирает информацию о техническом состоянии откосов, гребня дамб, уровне воды в отдельных секциях, насосного оборудования с записью всей информации в личный блокнот. По завершении обхода работник возвращается на рабочее место и заполняет оперативный журнал, параллельно сообщает информацию начальнику смены. Начальник смены в свою очередь принимает решение о необходимости ознакомления персонала ИТР цеха с полученной информацией. При получении информации ИТР цеха для принятия решения по корректировке технологического процесса запрашивает информацию у обходчика гидросооружений и анализирует ее, руководствуясь технологическим регламентом.

Для визуального представления движения потоков данных разработана DFD диаграмма декомпозиции «Ведение технологического процесса на ГТС», представленная на рис. 2.

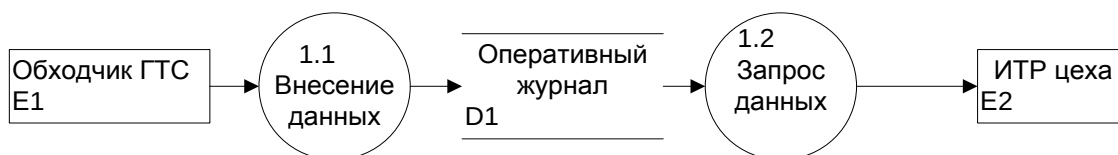
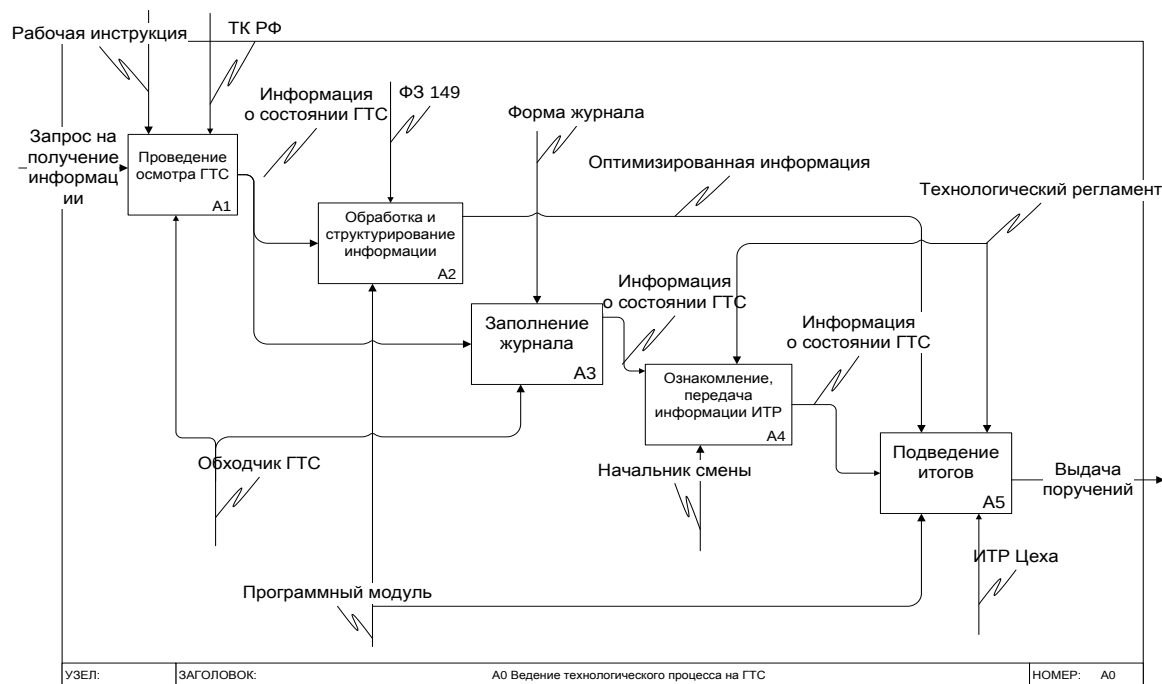


Рис. 2. DFD диаграмма декомпозиции «Ведение технологического процесса на ГТС»

На приведенных диаграммах наглядно видны перечисленные недостатки существующей модели ведения технологического процесса. Так, оперативный персонал (обходчик ГТС), совершая обход гидротехнических сооружений, фиксирует результаты своих наблюдений в личный блокнот для последующего их внесения в оперативный журнал и сообщает информацию начальнику смены, который в свою очередь при необходимости ставит в известность технологический персонал о необходимости внесения корректировок в ведение технологического процесса. Технологический персонал в свою очередь при необходимости дополнительно запрашивает информацию у обходчика ГТС, которая позволит определить необходимые корректирующие меры.

Сложившаяся ситуация однозначно подразумевает под собой обязательное появление ошибок при передаче информации от сотрудника к сотруднику, неизбежны большие временные затраты на анализ текущего состояния гидротехнических сооружений, принятие решений для регулировки производственного процесса и сложность представления всей картины с протекающими на данный момент процессами и состоянием гидротехнических сооружений в целом. Соответственно для устранения этих недостатков принято решение о разработке программного модуля анализа состояния гидротехнического сооружения, что позволит после его внедрения существенно оптимизировать информационное обеспечение анализа технологического процесса.

Как видно на контекстной диаграмме декомпозиции процесса в модели TO-BE IDEF0, представленной на рис. 3, после внедрения программного модуля картина ведения процесса существенно изменяется.



*Рис. 3. Контекстная диаграмма декомпозиции процесса  
«Ведение технологического процесса на ГТС» в модели TO-BE*

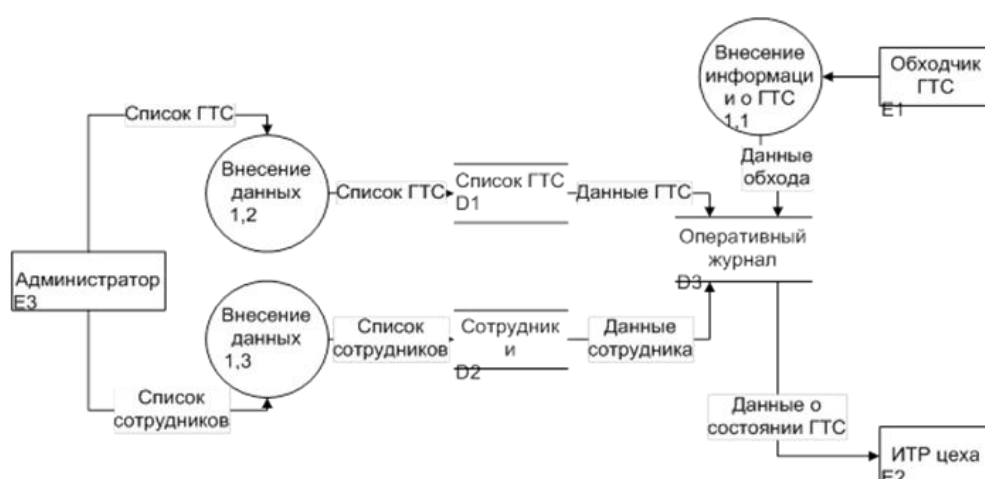
В процессе декомпозиции контекстная диаграмма представлена пятью блоками:

- проведение осмотра ГТС;
- обработка и структурирование информации;
- заполнение журнала;
- ознакомление, передача информации ИТР;
- подведение итогов.

В процессе совершения обхода работник авторизуется в программном модуле и заполняет формы по каждому ГТС. Информация сохраняется в программном модуле. ИТР цеха по информации от начальника смены авторизуется в программном модуле и получает структурированную и обработанную информацию с графическим отображением критических значений в соответствии с технологическим регламентом.

Ведение технологического процесса на ГТС с применением программного продукта осуществляется по следующему сценарию. Администратор заблаговременно вносит информацию в хранилища данных «Список ГТС» и «Сотрудники», откуда информация будет автоматически загружаться при генерации оперативного журнала. Обходчик гидросооружений, осуществляя обход территории, открывает страницу программного модуля на мобильном устройстве и выбирает гидросооружение, для которого необходимо добавить информацию. При выборе страницы определенного гидросооружения открывается форма с полями, соответствующими каждому объекту, необходимая к заполнению. После заполнения и подтверждения введенной информации в поля формы, данные отправляются на сервер для последующей их обработки. ИТР персонал при открытии сайта программного модуля получает возможность сразу выгрузить информацию о состоянии ГТС за необходимый период времени и запросить генерацию графиков динамики изменения уровней воды в определенных гидросооружениях за выбранный период. Информация о состоянии ГТС предоставляется в виде оперативного журнала.

На рис. 4 представлена диаграмма потоков данных процесса «Ведение технологического процесса на ГТС» ТО-ВЕ.



*Рис. 4. Диаграмма потоков данных процесса «Ведение технологического процесса на ГТС» ТО-ВЕ*

На данной схеме отображены новые хранилища данных, добавленных благодаря внедрению программного продукта. Предполагается, что Обходчик ГТС при

проведении обхода добавляет информацию сразу в хранилище данных «Оперативный журнал» посредством заполнения форм в программном модуле.

Введённый в процесс программный модуль позволяет персоналу, работающему с гидротехническими сооружениями, выполнять свою работу более продуктивно и качественно. Одним из главных преимуществ внедрения программного модуля является практически мгновенный доступ к информации о состоянии ГТС для всех сотрудников, участвующих в процессе эксплуатации гидротехнических сооружений. Упрощенный анализ динамики состояния ГТС за счет графиков, построенных на основании измерений обходчиками ГТС, позволяет продумывать и принимать решения по регулировке технологического процесса более точно и оперативно. Информация о состоянии насосного оборудования, расположенного на гидросооружениях, позволяет упростить планирование технического обслуживания и предоставляет возможность вести контроль времени работы каждого из насосов. Хотя из-за требований по безопасности гидросооружений необходимость в ведении бумажных журналов по-прежнему сохранилась, что соответствует действующим регламентам.

#### Литература

1. Гидротехнические сооружения / под ред. Н. П. Розанова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 176 с.
2. Земсков, В. М. Информационная система учета оборудования энергетического предприятия / В. М. Земсков, Н. М. Виштак, Г. В. Очкур // Информационные ресурсы России. – 2021. – № 6. – С. 2-7.
3. Штырова, И. А. Информационная поддержка процессов учета и движения типовых элементов замены / И. А. Штырова, Н. М. Виштак // Сборник трудов V Международной юбилейной научной конференции «Проблемы управления, обработки и передачи информации». – Саратов: Изд-во: ООО СПО «Юди», 2017– С. 669-674.
4. Виштак, Н. М. Программный модуль учета и контроля электромонтажных работ / Н. М. Виштак // Сборник трудов VIII Международной научной конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий» – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2022. – Т. I. – С. 207-215.
5. Федеральный закон от 21.01.1997 N 117-ФЗ (ред. от 02.07.2021) «О безопасности гидротехнических сооружений»: [сайт]. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_17819/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_17819/) (дата обращения: 10.04.2023). – Текст: электронный.

6. Ипатова, Э. Р. Методологии и технологии системного проектирования информационных систем. Учебник: монография / Э. Р. Ипатова. – М.: Флинта, 2016. – 300 с.

7. Разработка моделей предметной области автоматизации: учебник для вузов / С. В. Котлинский. – СПб.: Изд-во Лань, 2021. – 412 с.: [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/183204> (дата обращения: 16.04.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

8. Проектирование информационных систем: учебное пособие / В. М. Вейцман. – СПб.: Изд-во Лань, 2022. – 316 с.: [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/206873> (дата обращения: 17.04.2023). – Текст: электронный.

УДК 371.31

### **Сервисы для разработки веб-квестов**

Виштак Ольга Васильевна, доктор педагогических наук, кандидат технических наук,  
профессор кафедры «Информационные системы и технологии»;

Маркин Вячеслав Витальевич, 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 теме создания веб-квестов образовательного назначения. Среди сервисов для создания веб-квестов выделяем конструкторы веб-квестов с разработанными шаблонами и универсальные конструкторы сайтов, которые также используются для создания веб-квестов. Проанализированы сервисы Quizwhizzer, Seppo, Izi.travel, Joyteka, Surprise me, Google Sites и WordPress.*

В представлении современных школьников образование и изучение какой-либо информации является довольно скучным и сложным процессом. Чтение книг, статей и даже прослушивание лекций преподавателей требует от человека умения абстрактно осваивать информацию, причем, изначально без практического применения. Поэтому перед современным образованием, включая дополнительное, стоит задача использования новых видов и форм организации учебной деятельности. С этой целью многие преподаватели активно используют интернет-технологии, включая игровую педагогическую технологию – технологию веб-квестов [1, 2, 3, 9, 10].

Веб-квест – это сценарий организации проектной деятельности учащихся по любой теме с использованием ресурсов сети Интернет [9, 10]. Образовательный веб-квест обычно представляется в виде интернет-ресурса, с которым работают учащиеся, выполняя ту или иную учебную задачу посредством изучения выданного учебного материала. Цель таких ресурсов заключается в эффективном получении знаний и улучшении навыков пользователей. Главной отличительной особенностью веб-квестов перед другими источниками знаний является подача информации в игровой и интерактивной форме [4, 9, 10]. Это может быть представление сложной темы в виде компьютерной игры или известного приложения.

В качестве примера использования элементов веб-квестов стоит отметить интернет-школу по созданию сайтов «HTML Academy» [<https://htmlacademy.ru>], где пользователю предоставляют практические задачи в виде некой истории, весь учебный материал дается во время выполнения задания, а дополнительную мотивацию обучаемому обеспечивает система достижений. Если рассматривать проекты, которые полностью являются веб-квестами, то хорошим примером можно назвать сайт Geoguessr [<https://www.geoguessr.com>]. Geoguessr представляет собой веб-квест в виде игры, где игрока отправляют в какую-то точку мира с видом на улицу по Google Maps, после чего нужно определить по карте мира свое местонахождение, для чего пользователю требуется применить знания географии. Система рейтинга на сайте дает стимул пользователю учить географию и запоминать архитектурные особенности местностей.

Безусловно, веб-квесты нельзя считать полной заменой других способов изучения информации, хотя бы из-за сложности объяснения особенностей определённой темы. Однако веб-квест дает человеку приятный и быстрый старт в соответствующую учебную тему, после чего обучаемый может сам заинтересоваться поиском дополнительной информации.

Для того чтобы создать качественный веб-квест, нужно не только найти подходящий конструктор, но и иметь некоторое понимание процесса создания [3, 5, 6, 7, 8]. Основные этапы, которые обеспечивают создание качественного веб-квеста, определены следующим образом:

- 1) Для начала нужно определиться с целью создания веб-квеста. В зависимости от цели квеста – обучение какому-либо виду деятельности или предоставление информации об исторических/научных фактах – выбирается технология создания веб-квеста и дальнейшие действия.



2) Определить аудиторию проекта, а именно возраст и увлечения пользователей. Если создается веб-квест для детей, то необходимо использовать соответствующий стиль повествования, интерфейс на сайте и вводить как можно больше интерактивных элементов.

3) Выбор способа прохождения веб-квеста: в команде или индивидуальное участие.

4) Выбор продолжительности веб-квеста, которая во многом определяется аудиторией участников. По продолжительности выделяют 2 типа веб-квестов: кратковременные (задания рассчитаны на 1 - 3 занятия) и для длительной работы (до месяца).

5) Разработка предметного содержания – существует разделение на монопроекты и межпредметные веб-квесты. Веб-квесты могут охватывать отдельную проблему, учебный предмет, тему, а могут работать в связке с другими предметами. Как показывает практика, межпредметные веб-квесты интереснее, интенсивнее. В то же время при разработке таких квестов требуется больше времени, знаний и сотрудничества с другими педагогами.

6) Задания. Они должны быть достаточно сложными, для выполнения которых пользователю нужно собрать материал в сети Интернет, опираясь на ту или иную тему. Также задания должны быть сделаны в интерактивной форме и вписаны в повествование, чтобы было интересно их выполнять.

7) Оформление. Веб-квест можно изобразить в виде путешествия, интерактивной комнаты, игры и т. п.

Создание интерактивных веб-квестов становится все более популярным способом обучения и развлечения. Существует множество сервисов, которые помогают создавать качественные и увлекательные квесты без необходимости знания программирования. Каждый сервис имеет уникальный инструментарий, который может быть направлен на конкретные темы веб-квестов. Рассмотрим наиболее популярные из этих сервисов.

Quizwhizzer [<https://quizwhizzer.com>] – это конструктор онлайн-ходилки. Созданные веб-квесты в данном сервисе напоминают настольную игру, в которой, отвечая на вопросы, игрок продвигается от одной точки к другой. Есть 8 типов вопросов: множественный выбор, множественный ответ, истина / ложь, числовой ответ, короткий текстовый ответ, перетаскивание, упорядочение и неограниченное количество ответов. Определяется количество шагов, на которые продвигается вперед игрок при правильном ответе и назад при неправильном ответе. При создании каждого

вопроса можно ввести изображение, записать голосовое сообщение или видео с канала YouTube. Для создания игрового поля можно загрузить изображение или выбрать из коллекции и определить необходимое количество заданий. Можно запустить игру в двух форматах: как онлайн-игру в классе или как индивидуальное прохождение (домашнее задание). Одним из достоинств проекта можно отметить небольшие ограничения для бесплатного использования (вход до 30 человек на игру, но активная может быть только одна игра).

Seppo [<https://seppo.io>] – это платный онлайн-конструктор, который предоставляет 30 дней бесплатного тестирования. Он предназначен для развлечения и активизации уроков в любом месте, в том числе через телефон. Игровое поле создается с помощью изображений в формате jpeg, png, gif, 360°, или используйте карту GPS в качестве игрового поля. Можно создавать видео, аудио и текст прямо в Seppo, а также добавлять изображения и ссылки на дополнительный контент в свои задачи. Во время игры можно следить за игрой, оценивать ответы игроков и оставлять отзывы. Зарабатывание очков, совместная работа и наблюдение за прогрессом мотивируют игроков. Данный сервис имеет относительно большой функционал и дружелюбный интерфейс, но недостаток заключается в отсутствии перевода интерфейса сервиса на русский язык.

Izi.travel [<https://izi.travel/ru>] – это конструктор веб-квеста, направленный на изучение мировой истории и культурного наследия. Izi.travel предлагает туристу маршрут, проходящий по определенной местности. Данный сервис можно использовать как на ПК, так и на смартфонах. Наиболее применим для экскурсионных квестов.

Joyteka [<https://joyteka.com/ru>] – данный конструктор позволяет создавать квесты подвиги жанра «выход из комнаты». В таких квестах перед игроками ставится задача выбраться из комнаты, используя различные предметы, находя подсказки и решая логические задачи. Для создания образовательного квеста подсказками могут быть ответы на задачи, которые необходимо решить для продвижения по сюжету квеста. С недавнего времени добавились новые режимы игры, такие как «Викторина» и «Термины», а также появились функции «Видео» и «Тест», превратив сайт в универсальный конструктор для образовательных целей. Этот сервис работает на бесплатной основе, но есть премиум-доступ, предоставляющий дополнительные функции.

Surprise me [<https://surprizeme.ru>]: этот онлайн-конструктор ориентирован на создание веб-квестов для праздников, промоакций, для обучения сотрудников и детей.

Одна из особенностей сервиса – возможность создавать дополненную реальность для решения задач. Данный проект также предлагает сделать веб-квест за вас, командой собственных сценаристов за дополнительную плату. Серьезным недостатком данного сайта является его стоимость услуг и ограничение в 5 участников для бесплатного использования.

Помимо сервисов, ориентированных только на создание веб-квестов, можно также использовать и универсальные конструкторы сайтов. Данные сервисы предоставляют возможность создавать полноценные веб-сайты на любую тему, с реализацией собственных функций. Следует отметить, что данные сервисы требуют базовые знания верстки сайтов.

Google Sites [<https://sites.google.com>] – очень удобная в использовании платформа для верстки несложного сайта. Преимуществом использования данного сервиса является абсолютно бесплатное использование, отсутствие ограничений на количество посетителей, совместное редактирование, он легко интегрируется с другими Google-сервисами. Недостатком можно отметить небольшой функционал в сравнении с другими платформами.

WordPress [<https://wordpress.com>] – самая популярная в мире бесплатная платформа для создания сайтов. Данный сервис настолько популярен, что его используют даже крупные компании для своих сайтов (Например, Sony). Управление сайтом, настройка, редактирование происходят в одном окне. Недостатки платформы – большая нагрузка на хостинг, поэтому возможна низкая скорость загрузки, а также ограниченные возможности для расширения, но за плату функциональные возможности расширяются. Можно использовать готовый шаблон или создать свой.

Также стоит отметить и другие конструкторы сайтов, такие как Wix, UMI, Mozello, uCoz. Все они позволят вам создать качественный веб-квест с минимальными ограничениями, но в рамках темы они не будут иметь значительной разницы между собой и WordPress. Кроме того, часть из них не работает в России.

Таким образом, среди сервисов для создания веб-квестов можно выделить 2 вида: специализированные конструкторы веб-квестов и универсальные конструкторы сайтов.

Специализированные конструкторы веб-квестов позволяют создавать веб-квест человеку, который не имеет специальных знаний в создании сайтов. Помимо этого, такие сервисы предоставляют большое количество шаблонов, которые сокращают время создания веб-квеста. Количество функций в данных сервисах для рядового учителя и ученика более чем достаточно. Из минусов стоит отметить отсутствие

возможности добавить уникальный функционал в свой веб-квест, индивидуальные ограничения платформы, а также платность большинства сервисов.

Универсальные конструкторы сайтов имеют прямо противоположные свойства – требуют знаний в работе с сайтами, не обладают полностью готовыми шаблонами для веб-квестов, что замедляет работу. Однако можно добавлять уникальные функции в свой веб-квест, а ваш проект не будет ограничен одной платформой. Это лучший выбор для крупномасштабных веб-квестов.

Таким образом, выбор платформы для создания веб-квеста определяется следующим:

✓ Если ваша цель заключается в развлечении участников и проведении праздников – ваш выбор сервис Surprise me, дающий возможность взаимодействовать с дополненной реальностью и проводить соревнования.

✓ Для проведения исторических уроков и экскурсий отлично подойдет сервис Izi.travel. Более того, данный сервис отлично показывает себя и для личного использования, если есть желание лично исследовать окрестности города.

✓ В качестве универсального решения для создания образовательных веб-квестов стоит отметить сервис Joyteka. Он предлагает интересую базу для вашей идеи, прост в освоении, имеет некоторые шаблоны, обладает огромным набором функций и в целом универсален как образовательный сервис. Сервис имеет огромное количество документации и контента, а также ориентирован на русскую аудиторию. Для начала можно опробовать бесплатный доступ.

✓ Если же задача состоит в создании сложного веб-квеста, под который сложно подобрать шаблон, то здесь придется создавать полноценный сайт в сложных web конструкторах, таких как Wix, WordPress, Google Sites или даже писать с нуля. Данный вариант подходит только для крупных проектов.

Подводя итоги, можно сделать вывод, что для создания веб-квеста выбор платформы играет важную роль. Важно не только удобство создания своего проекта, но и дальнейшей работы для конечных пользователей. У каждого конструктора есть свои преимущества и недостатки, так что выбор в первую очередь зависит от ваших целей.

## Литература

1. Таратухина, Т. А. Использование технологии веб-квест в учебном процессе (из опыта работы) / Т. А. Таратухина // XIII Южно-Российская межрегиональная научно-практическая конференция-выставка «Информационные технологии в образовании»: [сайт]. – URL: <http://nsportal.ru/shkola/inostrannye-yazyki/library/>

2012/05/16/ispolzovanie-tekhnologii-veb-kvest-v-uchebnom-protssesse (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.

2. Быховский, Я. С. Образовательные веб-квесты / Я. С. Быховский // Материалы международной конференции «Информационные технологии в образовании. ИТО-99»: [сайт]. – URL: <http://ito.bitpro.ru/1999> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.

3. Арчилаева, С. Г. Применение веб-квест технологии в современном образовании / С. Г. Арчилаева: [сайт]. – URL: <https://urok.1sept.ru/articles/671383> (дата обращения: 21.04.2023). – Текст: электронный.

4. Виштак, Н. М. Программный модуль разработки образовательных веб-квестов / Н. М. Виштак, Н. П. Ходакова // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 1. – С. 14-19.

5. Кох, Ю. А. Средства разработки образовательных веб-квестов / Ю. А. Кох, Н. М. Виштак // Сборник трудов V Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2019. – С. 121-134.

6. Виштак, Н. М. Проектирование тематических web-квестов / Н. М. Виштак, И. А. Штырова // Сборник статей участников Международной научно-практической конференции «Современные образовательные Web-технологии в системе школьной и профессиональной подготовки». – Арзамас: Арзамасский филиал ННГУ, 2017. – С. 175-179.

7. Виштак, Н. М. Разработка конструктора web-квестов / Н. М. Виштак, Д. Н. Троценко // 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. 185-189.

8. Виштак, Н. М. Программный модуль разработки образовательных веб-квестов / Н. М. Виштак, Н. П. Ходакова // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 1. – С. 14-19.

9. Напалков, С. В. О видовом многообразии Web-квестов в образовательном процессе / С. В. Напалков // Культура и образование. – 2014. – № 12: [сайт]. – URL: <http://vestnik-rzi.ru/2014/12/2740> (дата обращения: 16.04.2023). – Текст: электронный.

10. Миронова, С. В. О развивающих возможностях образовательных web-квестов / С. В. Миронова, С. В. Напалков, Л. Ю. Нестерова // Сборник статей участников международной научно-практической конференции «Развивающий

потенциал образовательных web-технологий». – Арзамас. Арзамасский филиал ННГУ, 2018. – С. 96-100.

УДК 371.31

### **Интерактивные технологии как основа диалогового обучения**

Виштак Ольга Васильевна, доктор педагогических наук, кандидат технических наук,  
профессор кафедры «Информационные системы и технологии»;

Самойлов Константин Александрович, студент направления  
«Информационные системы и технологии»

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

*В статье представлен обзор интерактивных технологий обучения. Рассмотрены преимущества и недостатки интерактивного обучения. Рассмотрена классификация интерактивных подходов в обучении.*

Школьный период обучения является самым активным периодом обучения в жизни человека. Но не всегда все предметы интересны для школьника, поэтому для изучения той области знаний, которая представляет наибольший интерес, дополнительное образование предоставляет большое многообразие развивающих программ [1-4]. Обучение в центрах дополнительного образования предусматривает использование современных компьютерных технологий, которые значительно повышают интерес обучающихся и позволяют повысить эффективность учебного процесса. При этом особое внимание уделяется использованию компьютерных обучающих игр.

На сегодняшний день наиболее используемые такие образовательные игры, как симуляционные, имитационные и веб-квесты [5-8]. Симуляционные игры используются для развития реальных рабочих навыков [9]. Хотя и игры вида SeriousGames написаны со всеми аспектами геймдизайна, но в них нет развлекательного аспекта. Serious Games позволяют обучаться многим дисциплинам, начиная с предметов школьной программы и заканчивая узконаправленными навыками.

Имитационная игра используется при реализации метода группового обучения, при котором образовательные результаты достигаются посредством создания экспериментальной (игровой) ситуации, отражающей реальную жизненную

(профессиональную, групповую) ситуацию, имитации участниками различных видов деятельности в этой экспериментальной ситуации [10]. Сама игра выполняет лишь имитационную функцию. Данный вид игр позволяет улучшить взаимодействие между участниками группы, ведь им предстоит принимать решения коллективно, и в последствии они будут видеть результат принятых решений.

Квесты и веб-квесты – это интерактивные игры с сюжетной линией, которая заключается в решении различных головоломок и логических заданий[5-8]. Включают в себя набор заданий, для выполнения которых требуется привлечь какие-либо ресурсы, в первую очередь, интернет ресурсы. Данный вид образовательных компьютерных игр предназначен для интеграции Интернета в различные учебные процессы [6, 11, 12]. Такие игры могут охватывать отдельную проблему, тему, также они бывают и межпредметные.

Нами предлагается использование игровой технологии при изучении построения алгоритмов, которые являются стартовой точкой для изучения программирования. Веб-квест предусматривает несколько уровней, каждый из которых представляет собой клеточное поле с набором различных объектов. Обучающемуся предстоит взаимодействовать с ними, что-то перенести на новое место, что-то использовать, а с чем-то совершить то или иное действие.

Отличительной особенностью веб-квеста будет процесс управления, совмещенный с процессом обучения. Построение блок-схем, по которым персонаж выполняет различные действия, строится на использовании базовых знаний, так как изучение различных языков программирования предусматривает теоретическую подготовку. Управление через блок-схемы поэтапно познакомит обучающегося с простыми действиями, условиями, циклами и функциями, что обеспечит изучение теории по языкам программирования.

Реализация игра написана на языке программирования Python, с использованием библиотеки Pygame. Python – мощный и простой в использовании объектно-ориентированный язык программирования. Python был выбран по причине легкости синтаксиса, отсутствия необходимости напрямую работать с памятью, что очень облегчает разработку игры. Pygame – это библиотека кроссплатформенного типа для написания сценариев на Python. Функционал позволяет создавать игры и приложения мультимедиа типа, например аркады. В ресурсах программы содержатся все необходимые данные. Для графики в игре, реализованной на Pygame, не нужно использовать библиотеки графического типа, такие как OpenGL и подобные, что очень упрощает разработку компьютерных игр.

В файлах игры содержатся текстовые документы txt формата. Для каждого уровня предусмотрены 2 файла данного типа. Первый файл содержит набор целочисленных чисел. Первые числа – стартовые координаты игрока, ведь стартовая координата на поле будет меняться в зависимости от уровня. Дальнейший набор чисел обозначает тип каждой клетки на поле соответственно. Благодаря такой системе заранее описываем уровень и прописываем сценарий и задание, даваемое обучающему, что существенно облегчает расширение игры за счет использования новых уровней, так как в коде содержится набор функций для построения уровня, а сам уровень строится на основании этого файла. Тем самым для создания нового уровня необходимо лишь прописать начальные координаты обучающегося и расположение блоков в текстовом файле, а также расположить новую кнопку в меню выбора уровней. Второй файл содержит сценарий уровня – описание задачи, решение которой необходимо найти игроку. Также файлы игры содержат файлы кода Python и набор текстур формата png.

В заключение следует отметить, что применение веб-квестов в учебном процессе центров дополнительного образования позволяет значительно повысить эффективность обучения языкам программирования, заинтересовать школьников в систематизированном изучении программирования и информационных технологий, что и делает применение игровых технологий актуальным в сфере дополнительного образования.

#### Литература

1. Виштак, Н. М. Роль дополнительного образования в формировании информационной грамотности младших школьников / Н. М. Виштак // Сборник научных статей «Актуальные проблемы организации образовательного процесса в начальной школе». – Чебоксары, 2020. – С. 68-72.

2. 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.

3. 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.



4. Виштак, Н. М. Геймификация дополнительного образования / Н. М. Виштак, Я. В. Лебедева // Сборник научных трудов «Актуальные тренды в современном образовании» / Саратов: Изд-во «Саратовский источник», 2022. – С. 129-132.
5. Виштак, Н. М. Игровые технологии в учебном процессе компьютерной школы / Н. М. Виштак, В. П. Петченко // Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Проблемы развития предприятий энергетической отрасли в условиях модернизации российской экономики и общества». – М: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – С. 69-75.
6. Напалков, С. В. О видовом многообразии Web-квестов в образовательном процессе / С. В. Напалков // Культура и образование. – 2014. – № 12: [сайт]. – URL: <http://vestnik-rzi.ru/2014/12/2740> (дата обращения: 06.04.2023). – Текст: электронный.
7. 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.
8. 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.
9. Что такое SeriousGames и как они помогают развивать навыки: [сайт]. – URL:<https://skillbox.ru/media/gamedev/chto-takoe-serious-games-i-kak-oni-pomogayut-razvivat-navyki> (дата обращения: 17.03.2023). – Текст: электронный.
10. Компьютерные имитационные игры: [сайт]. – URL: [https:// studopedia.ru/7\\_82028\\_kompyuternie-imitatsionnie-igri.html](https://studopedia.ru/7_82028_kompyuternie-imitatsionnie-igri.html) (дата обращения: 18.03.2023). – Текст: электронный.
11. Применение компьютерных игр в образовании / К. Григорьева, Н. Васильев, П. Корчевной, Р. Комаров: [сайт]. – URL: <https://sapr.ru/article/26110?ysclid=lfbl29juxj512483> (дата обращения: 15.03.2023). – Текст: электронный.
12. Загитова, Г. Веб-квест технология как способ образовательного процесса / Г. Загитова: [сайт]. – URL: <https://vc.ru/u/1049821-zagitova-gulfiya/345607-veb-kvest-tehnologiya-kak-sposob-obrazovatel'nogo-processa> (дата обращения: 18.03.2023). – Текст: электронный.

УДК 372.8

### **Использование проектной деятельности в обучении робототехнике**

<sup>1</sup>Виштак Ольга Васильевна, доктор педагогических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры «Информационные системы и технологии»;

<sup>2</sup>Штыров Геннадий Сергеевич, педагог дополнительного образования

<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>Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение

«Основная общеобразовательная школа с. Быков Отрог»

Балаковского района Саратовской области

*В статье рассматриваются методы и способы организации проектной деятельности на занятиях по робототехнике с целью формирования у детей инженерного мышления и технического творчества.*

В настоящее время в школьном образовании особое внимание уделяется технической подготовке обучающихся, формированию их технической культуры. Современное содержание обучения предполагает не только освоение предметных знаний, но и развитие компетенций, соответствующих практической деятельности. В полной мере данные задачи решает образовательная робототехника – новое междисциплинарное направление обучения школьников, интегрирующее знания о физике, мехатронике, технологии, математике, кибернетике и ИКТ, позволяющее вовлечь в процесс инновационного научно-технического творчества учащихся разного возраста. Многосторонние межпредметные связи образовательной робототехники со школьными предметами позволяют школьникам не только углубить знания по каждому из них, но и применить полученные знания на практике, научиться использовать комплексный подход в решении сложных проблем [1]. Соответственно, необходимо использование современных интерактивных методов обучения, основанных на

вовлеченности обучающихся в учебный процесс, активном взаимодействии обучающихся и педагога [2, 3].

Одним из способов вовлечения обучающихся в познавательную деятельность на занятиях по робототехнике является организация проектной деятельности. Использование метода проектов при обучении робототехнике предполагает решение практической задачи, требующей исследовательской деятельности для ее решения. Проектная деятельность позволяет развить у обучающихся системное мышление, умение применять теоретические знания при решении практических задач, навыки самостоятельного обучения, коммуникативные навыки в условиях групповой работы, раскрыть творческий потенциал, повысить заинтересованность обучающихся [4, 5].

Под образовательным проектом понимается комплексная деятельность, направленная на достижение определенной образовательной цели и уникального результата [6, 7]. Организовать проектную деятельность на занятиях по робототехнике можно уже в начальной школе. В младшем школьном возрасте основной задачей образовательной робототехники является формирование определенных форм мышления и поведения, таких как инженерная грамотность, изобретательность, алгоритмизированный подход к решению технических задач. Основная тематика проектов – создание робота, выполняющего конкретную практическую задачу. Это может быть мобильный робот, робот-манипулятор, устройство, выполняющее физические измерения.

Исследовательская работа при выполнении проекта по робототехнике предполагает несколько этапов:

На первом этапе детям предлагается придумать идею робота и описать ее с помощью рисунка. На данном этапе также определяется цель создания робототехнического устройства, выделяются задачи и этапы разработки.

На втором этапе определяется технология сборки, выбираются необходимые механизмы.

На третьем этапе составляется алгоритм работы робототехнического устройства.

Четвертый этап – сборка и программирование робота.

Пятый этап – испытание робота.

Шестой этап – защита проекта.

Для младших школьников при реализации метода проектов необходимо включать игровые, соревновательные моменты, которые позволят повысить заинтересованность обучающихся [8].

Для создания роботов младшими школьниками используются образовательные робототехнические наборы, особенностью которых является наличие готовых блоков со скрытыми электронными компонентами и крепежных деталей, которые позволяют соединять блоки. С помощью таких наборов дети изучают принципы работы основных механизмов – электродвигателей, датчиков, при этом не надо выполнять пайку электросхем, что снижает возрастной порог обучения робототехнике.

Приведем пример проекта, выполненного в рамках обучения робототехнике в «Точке роста» МАОУ ООШ с. Быков Отрог. Ребятам предлагалось создать мобильного робота, управление движением которого производится с ИР пульта. Обучающиеся должны были самостоятельно придумать дизайн робота, выполнить его сборку и написать программу. Для создания мобильного робота использовался робототехнический набор КЛИК, состоящий из деталей, схожих по инженерному решению с деталями Lego technic, а также электрокомпонентов, разработанных на базе плат Arduino и датчиков с модулями, совместимых с платами Arduino.

Один из разработанных проектов – мобильный робот «Чебурашка», идея которого пришла к ребятам после просмотра одноименного фильма. Для сборки робота использовались блок управления, два мотора для управления вращением колес, ИК модуль (IR), который предназначен для приёма сигналов в инфракрасном диапазоне. Собранный робот представлен на рис. 1.



*Рис. 1. Устройство робота*

Для придания роботу внешнего вида ребята смастерили «одежку» (рис. 2).

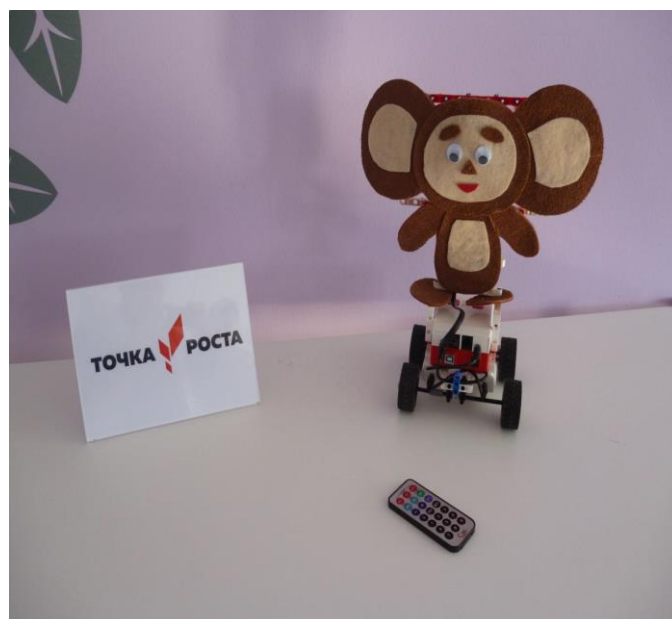


Рис. 2. Внешний вид робота «Чебурашка»

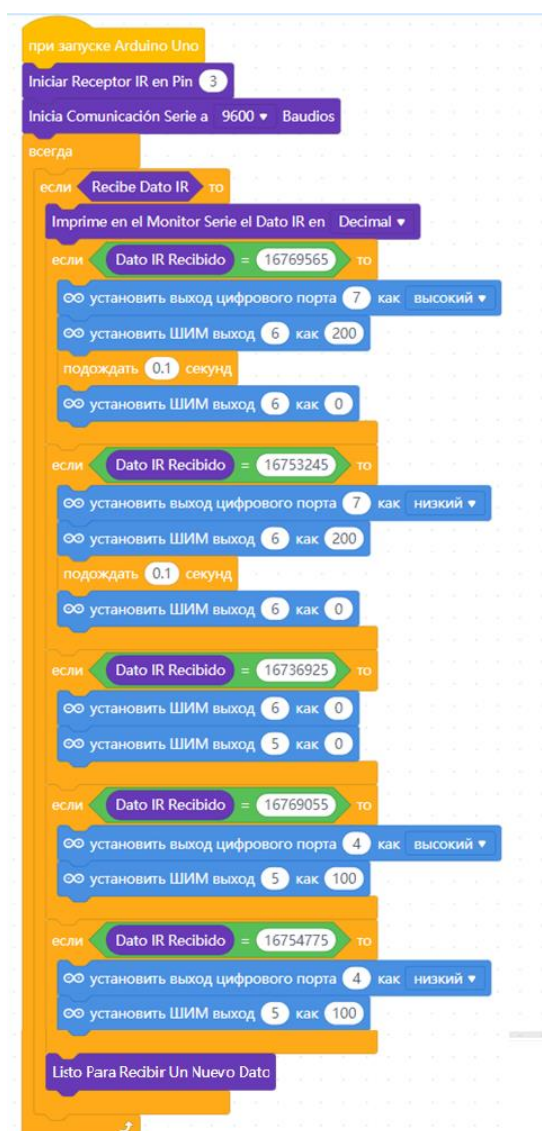


Рис. 3. Программа для управления роботом

Еще одним преимуществом использования набора КЛИК является возможность программирования устройства на Arduino на графико-визуальном в среде программирования mBlock, что также позволяет использовать набор для обучения детей с 7 лет. Написанная программа для управления движением робота представлена на рис. 3.

Созданных роботов обучающиеся демонстрируют на организованных выставках, соревнованиях, конкурсах.

В ходе выполнения проекта школьники активно вовлекаются в процесс создания робота, что способствует практическому закреплению полученных знаний, развитию творческого воображения, нестандартного мышления. Таким образом, проектная деятельность активизирует процесс развития инновационного потенциала учащихся.

### Литература

1. Устюжанина, И. Г. Проектно-ориентированное обучение в робототехнике / И. Г. Устюжанина // Сборник статей I Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и цифровое образование: приоритетные направления развития и практика реализации». – Омск, 2020. – С. 63-67.

2. 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.

3. Коновалов, Э. Н. Интерактивные технологии как средство повышения качества образования / Э. Н. Коновалов, И. А. Штырова // Информация и образование: границы коммуникаций. – 2022. – № 14(22). – С. 407-408.

4. Куликова, Е. Г. Индивидуализация образования через проектную деятельность с использованием информационных технологий / Е. Г. Куликова, И. А. Штырова // 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. 201-204.

5. Виштак, О. В. Использование метода проектов при создании web-квестов по информатике / О. В. Виштак // Сборник статей участников Международной научно-практической конференции «Современные образовательные Web-технологии в системе школьной и профессиональной подготовки». – Арзамас, 2017. – С. 151-155.

6. Панина, О. И. Организация проектной деятельности обучающихся в условиях цифровизации образования / О. И. Панина, 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. – Т. I. – С. 309-313.

7. Виштак, Н. М. Проектные технологии в педагогической практике дополнительных общеразвивающих программ / Н. М. Виштак // Материалы 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. 9-10.

8. Виштак, Н. М. Игровые технологии в учебном процессе компьютерной школы / Н. М. Виштак, В. П. Петченко // Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Проблемы развития предприятий энергетической отрасли в условиях модернизации российской экономики и общества». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – С. 69-75.

**УДК 378.016**

### **Применение чат-ботов в профессиональной деятельности**

Грачев Владислав Александрович, студент направления

«Информационные системы и технологии»;

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 созданию чат-бота с подключаемой базой данных на основе библиотек aiogram, sqlite3 языка программирования PYTHON. Основным преимуществом данных библиотек является возможность решения широкого спектра задач, скорость и простота обработки данных. Язык Python эффективен, легок в освоении, имеет обширную стандартную библиотеку и поддерживает различные платформы, благодаря чему программы, написанные на нем, совместимы с различными операционными системами и способствуют ускорению процесса разработки.*

На текущий момент развития чат-боты повсеместно используются как надежные инструменты в сфере коммуникаций во многих отраслях человеческой жизни. Свою известность они получили благодаря распространению в различных интернет-мессенджерах и социальных сетях (таких как ВКонтакте или Telegram). Благодаря чат-ботам появилась возможность автоматизировать общение с пользователем, ведь бот готов отвечать 24 часа в сутки 7 дней в неделю. Таким образом, всего 1 чат-бот может заменить круглосуточную службу поддержки клиентов, что выливается в серьезную экономию.

При создании чат-ботов важно учитывать принципы их работы, которые основаны на анализе и обработке пользовательских запросов. Для оптимизации работы чат-бота необходимо проанализировать возможные входящие запросы, при этом важно учитывать не только текстовое содержание запросов, но и контекст их использования.

Также необходимо учитывать специфику использования чат-ботов и задачи, которые они решают. Обычно чат-ботов применяют там, где требуется оптимизация повторяющихся процессов, либо же для организации обратной связи с клиентами. В этом контексте важными параметрами являются: эффективность работы, точность определения пользовательских запросов, автоматическая обработка запросов и выдача релевантных ответов.

Сегодня при разработке чат-ботов также могут использоваться нейросети, являющиеся мощным инструментом в области искусственного интеллекта, который может быть применен для улучшения функциональности чат-ботов (например, нейросети применяются в таких чат-ботах, как chatGPT и Bing). Одно из главных преимуществ использования нейросетей в чат-ботах – это возможность обучения бота, чтобы он мог более точно и эффективно отвечать на вопросы пользователей. С помощью нейросетей, к примеру, можно обучить чат-бота распознавать намерения пользователя, а не только ключевые слова. Это позволяет более точно определять, какую именно информацию ищет пользователь, и предоставлять ему соответствующие ответы. Также нейросети могут использоваться для улучшения анализа тональности текста и определения эмоционального окраса сообщений [1], что позволяет более точно понимать потребности и настроения пользователей и отвечать на них соответствующим образом.

Таким образом, при создании чат-ботов необходимо учитывать множество параметров: их способность анализировать запросы пользователей и контекст их использования, чтобы добиться оптимальной работы и повысить удовлетворенность пользователей.



База данных – это организованная коллекция данных, которая обычно хранится и управляется с помощью компьютерной системы. Базы данных используются для хранения и организации большого количества структурированной и неструктурированной информации, которую можно легко получить, изменить и обрабатывать. Они позволяют эффективно организовывать и извлекать информацию, что делает их важным инструментом для принятия решений и анализа данных.

База данных включает в себя несколько таблиц, содержащих данные, связанные между собой. Каждая таблица состоит из набора строк и столбцов, где каждый столбец представляет отдельное поле данных, а каждая строка представляет отдельную запись. Данные в таблицах могут быть связаны с помощью уникальных идентификаторов, таких как ключи.

В рамках данной работы была создана база данных, которая затем подключалась к чат-боту. Был проведен анализ и моделирование необходимой структуры базы данных. Таблица «users» (рис. 1а) представляет собой хранилище данных о пользователе, таких как его уникальный идентификационный номер и дата регистрации. Таблица «records» (рис. 1б) в свою очередь представляет собой хранилище данных о виде операции каждого конкретного пользователя, дате операции и ее значении. В качестве стандартного значения для полей, содержащих дату, была прописана текущая дата. В каждой из таблиц ключевым элементом был выбран элемент «id» с автоматическим увеличением значения. Элемент «user\_id» был прописан как уникальный, для того чтобы не возникало такой ситуации, когда у двух разных пользователей одинаковый идентификационный номер.

|   | Имя       | Тип данных | Первичный ключ                                                                      | Внешний ключ | Уникальность                                                                        | Проверка | Не NULL                                                                             | Сравнение | Сгенерированное | Значение по умолчанию |
|---|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------|-----------------------|
| 1 | id        | INTEGER    |  |              |                                                                                     |          |                                                                                     |           |                 | NULL                  |
| 2 | user_id   | INTEGER    |                                                                                     |              |  |          |  |           |                 | NULL                  |
| 3 | join_date | DATETIME   |                                                                                     |              |                                                                                     |          |  |           |                 | (DATETIME('now'))     |

а

|   | Имя       | Тип данных | Первичный ключ                                                                      | Внешний ключ                                                                        | Уникальность | Проверка | Не NULL                                                                             | Сравнение | Сгенерированное | Значение по умолчанию |
|---|-----------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------|-----------------------|
| 1 | id        | INTEGER    |  |                                                                                     |              |          |                                                                                     |           |                 | NULL                  |
| 2 | users_id  | INTEGER    |                                                                                     |  |              |          |  |           |                 | NULL                  |
| 3 | operation | BOOLEAN    |                                                                                     |                                                                                     |              |          |  |           |                 | NULL                  |
| 4 | value     | DECIMAL    |                                                                                     |                                                                                     |              |          |  |           |                 | NULL                  |
| 5 | date      | DATETIME   |                                                                                     |                                                                                     |              |          |  |           |                 | (DATETIME('now'))     |

б

Рис. 1. Изображение структуры базы данных из двух таблиц

Для создания бота и подключения к нему базы данных была написана программа на языке Python [2]. Язык программирования Python – высокоуровневый интерпретируемый объектно-ориентированный язык программирования с динамической типизацией, который поддерживает кроссплатформенность и автоматическое управление памятью. Язык обладает простым и понятным синтаксисом, из-за чего он широко используется в целях обучения и при создании различных приложений.

Python обладает большим количеством подключаемых библиотек для различного рода задач, таких как математическое моделирование, работа с базами данных, работа с нейросетями, что позволяет решать требуемые задачи без необходимости написания собственных алгоритмов и функций. Например, в данной работе были использованы такие библиотеки, как aiogram и sqlite3 [3, 4]. Данные библиотеки являются очень удобными при создании чат-ботов, потому что предлагают простые инструменты для их создания и подключения к ним баз данных. Они распространяются на бесплатной основе и активно развиваются.

В программе были созданы функции проверки пользователя на наличие в базе, внесение его в базу, записи и чтения значений из базы данных, а также прописана логика бота и его основные команды, такие как просмотр истории операций, внесение записей о доходе и расходе.

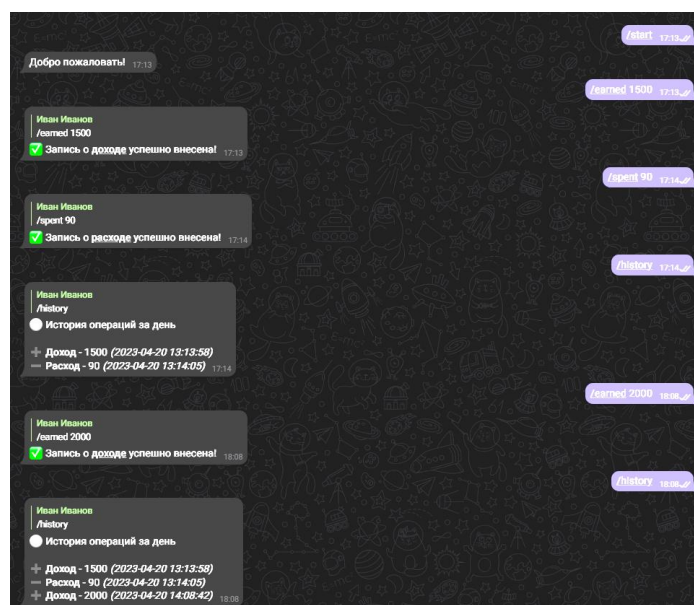


Рис. 2. Работа чат-бота в действии

Результат работы чат-бота представлен на рис. 2. Благодаря подключаемым библиотекам работа бота получилась быстрой и стабильной. Гибкая структура чат-бота

позволяет не только добавлять к нему другие базы данных, но и расширять его функционал, дополняя новыми пользовательскими командами. Созданного бота можно использовать для различных целей, например для ведения бухгалтерского учета или отслеживания персональных накоплений.

### Литература

1. 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. – 389 с.
2. Федоров, Д. Ю. Программирование на языке высокого уровня Python: учебное пособие для прикладного бакалавриата / Д. Ю. Федоров. – М.: Изд-во Юрайт, 2018. – 126 с.: [сайт]. – URL: <http://www.urait.ru/catalog/406590> (дата обращения: 11.04.2023). – Текст: электронный.
3. Руководство по aiogram: [сайт]. – URL: <https://docs.aiogram.dev/en/latest/> (дата обращения: 11.04.2023). – Текст: электронный.
4. Sqlite3 Справочное руководство: [сайт]. – URL: <https://docs.python.org/3/library/sqlite3.html> (дата обращения: 11.04.2023). – Текст: электронный.

УДК 004(075)

### **Использование искусственного интеллекта в распознавании образов**

Колосов Александр Артурович, студент направления

«Информационные системы и технологии»;

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 задаче распознавания лиц искусственным интеллектом на основе библиотеки `deepface` языка программирования `PYTHON`. Данная библиотека*

*предназначена для распознавания и сравнения лиц. Язык программирования Python широко используется во многих сферах информационных технологий. Он прост в освоении, имеет большую стандартную библиотеку, а также именно на нем написаны многие библиотеки, использующие в своей основе технологию искусственного интеллекта.*

На сегодняшний день, многие it-компании, такие как Яндекс, Google, Microsoft и другие широко используют технологию искусственного интеллекта. Например, известный Google Переводчик является системой нейронного машинного перевода, то есть в нем используется технология искусственного интеллекта [1].

Что такое искусственный интеллект? Искусственный интеллект – технология, позволяющая системе, машине или компьютеру выполнять задачи, требующие разумного мышления, то есть имитировать поведение человека для постепенного обучения с использованием полученной информации и решения конкретных вопросов.

Пожалуй, самая популярная и перспективная задача нейросетей – технологии распознавания образов. Они либо по отдельности, либо в интегрированном виде используются в таких сферах, как безопасность и наблюдение, сканирование и создание изображений, маркетинг и реклама, дополненная реальность и поиск изображений [2].

Сегодня создаются и уже используются сети, в которых машины способны распознавать символы на бумаге и банковских картах, подписи на официальных документах, детектировать объекты и т. д. Эти функции облегчают труд человека и повышают точность и надежность различных рабочих процессов благодаря исключению из задачи человеческого фактора.

Для использования искусственного интеллекта в распознавании образов была написана программа на языке Python. Язык программирования Python – мультипарадигмальный язык программирования. Он поддерживает объектно-ориентированный и структурный подходы, функциональное и аспектно-ориентированное программирование. Также язык прост в освоении, поскольку является высокоуровневым языком программирования и имеет несложный синтаксис [3].

Для Python написано более 200 тысяч библиотек, созданных его пользователями [4, 5]. В данной работе использовалась библиотека `deepface`. Эта библиотека написана специально для распознавания лиц людей, их сравнения, а также анализа возраста, пола и эмоций человека на фотографии. `Deepface` использует готовые нейросети, обученные на большом массиве изображений лиц людей. Создание подобной нейросети с нуля потребовало бы больших вычислительных ресурсов, недоступных обычному пользователю.

С целью исследования возможностей искусственного интеллекта для задачи распознавания лиц была написана программа. Сравнивались два изображения одного и того же человека с разной прической, представленные на рис. 1.



*Рис. 1. Фотографии Эмили Кларк*

При распознавании использовались модели: «ArcFace», «VGG-Face», «Facenet», и результаты представлены в табл. 1. Из таблицы видно, что модели практически подобны, т. е. разброс значений параметров работы моделей незначителен.

Таблица 1

Результаты программы при использовании разных моделей  
распознавания лиц, представленных на рис. 1

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| {'verified': True,<br>'distance': 0.26603084170098623,<br>'threshold': 0.68,<br>'model': 'ArcFace',<br>'detector_backend': 'opencv',<br>'similarity_metric': 'cosine',<br>'facial_areas': {'img1': {'x': 762, 'y':<br>182, 'w': 636, 'h': 636},<br>'img2': {'x': 209, 'y': 89, 'w': 188, 'h':<br>188}},<br>'time': 2.3} | {'verified': True,<br>'distance': 0.26638918607522166,<br>'threshold': 0.4,<br>'model': 'VGG-Face',<br>'detector_backend': 'opencv',<br>'similarity_metric': 'cosine',<br>'facial_areas': {'img1': {'x': 762, 'y':<br>182, 'w': 636, 'h': 636},<br>'img2': {'x': 209, 'y': 89, 'w': 188, 'h':<br>: 188}},<br>'time': 1.67} | {'verified': True,<br>'distance': 0.3225590034178477,<br>'threshold': 0.4,<br>'model': 'Facenet',<br>'detector_backend': 'opencv',<br>'similarity_metric': 'cosine',<br>'facial_areas': {'img1': {'x': 762, 'y':<br>182, 'w': 636, 'h': 636},<br>'img2': {'x': 209, 'y': 89, 'w': 188, 'h':<br>188}},<br>'time': 3.9} |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Следующей целью было проверить, как написанная программа будет справляться с задачей распознавания лиц людей с гримом. Были взяты два сильно отличающиеся друг от друга изображения одной и той же девушки с гримом и без него. Результат работы программы, представленный в табл. 2, также положительный.

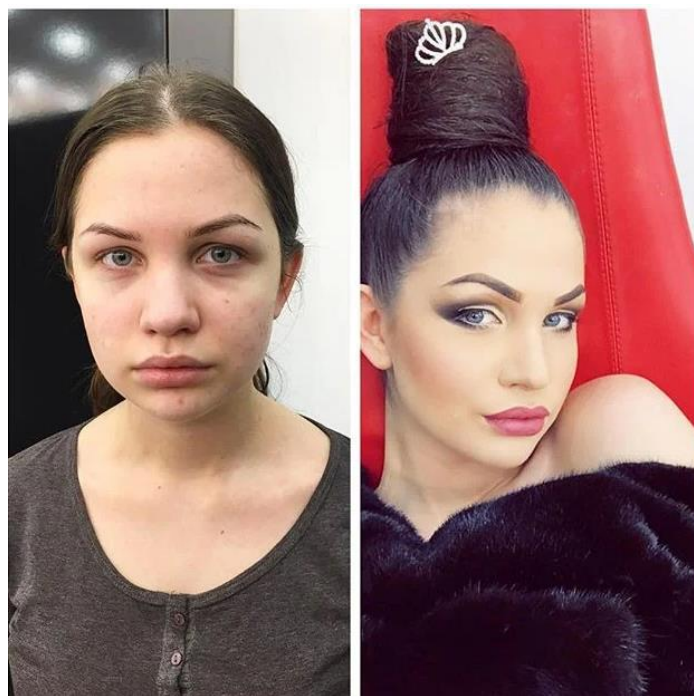


Рис. 2. Фотографии девушки с гримом и без него

При этом необходимо заметить, что параметры работы моделей изменяются в связи с особенностями контекста изображения.

Таблица 2

Результаты программы при использовании разных моделей  
распознавания лиц, представленных на рис. 2

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| {'verified': True,<br>'distance': 0.6550694979845453,<br>'threshold': 0.68,<br>'model': 'ArcFace',<br>'detector_backend': 'opencv',<br>'similarity_metric': 'cosine',<br>'facial_areas': {'img1': {'x': 26, 'y': 1<br>34, 'w': 230, 'h': 230},<br>'img2': {'x': 37, 'y': 144, 'w': 216, 'h':<br>216}},<br>'time': 2.78} | {'verified': True,<br>'distance': 0.29718980482978385,<br>'threshold': 0.4,<br>'model': 'VGG-Face',<br>'detector_backend': 'opencv',<br>'similarity_metric': 'cosine',<br>'facial_areas': {'img1': {'x': 26, 'y': 1<br>34, 'w': 230, 'h': 230},<br>'img2': {'x': 37, 'y': 144, 'w': 216, 'h':<br>216}},<br>'time': 2.89} | {'verified': False,<br>'distance': 0.4333606933536168,<br>'threshold': 0.4,<br>'model': 'Facenet',<br>'detector_backend': 'opencv',<br>'similarity_metric': 'cosine',<br>'facial_areas': {'img1': {'x': 26, 'y': 1<br>34, 'w': 230, 'h': 230},<br>'img2': {'x': 37, 'y': 144, 'w': 216, 'h':<br>216}},<br>'time': 3.93} |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Еще одной задачей, с которой может справиться данная нейросеть, является опознание исходного лица на размытом изображении. Несколько фото были преобразованы с разным радиусом размытия изображения. В табл. 3 представлены результаты работы программы в основном для модели «ArcFace». Из таблицы видно, что модель «ArcFace» распознала фотографии на рис. 3, а модель «Facenet» нет. Отметим, что модель «VGG-Face» также распознала эти фотографии с данным радиусом размытия.



*Рис. 3. Фотографии Эмили Кларк. Обычная фотография и фотография с радиусом размытия 5px*

Таблица 3

Результаты работы программы с изображениями рис. 3 при разном размытии

| Радиус размытия                                                                                                                                                                                                                                                                           | Результат работы программы                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3px                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Положительный                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 5px                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Положительный                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| {'verified': True, 'distance': 0.41353631625408926, 'threshold': 0.68, 'model': 'ArcFace', 'detector_backend': 'opencv', 'similarity_metric': 'cosine', 'facial_areas': {'img1': {'x': 211, 'y': 90, 'w': 186, 'h': 186}, 'img2': {'x': 144, 'y': 66, 'w': 142, 'h': 142}}, 'time': 2.03} | {'verified': False, 'distance': 0.7643213114037537, 'threshold': 0.4, 'model': 'Facenet', 'detector_backend': 'opencv', 'similarity_metric': 'cosine', 'facial_areas': {'img1': {'x': 211, 'y': 90, 'w': 186, 'h': 186}, 'img2': {'x': 144, 'y': 66, 'w': 142, 'h': 142}}, 'time': 3.72} |
| 6px                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Положительный                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 7px                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Отрицательный                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 8px                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Отрицательный                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 10px                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Отрицательный                                                                                                                                                                                                                                                                            |

### Литература

1. Луис Педро Коэльо Построение систем машинного обучения на языке Python. / Луис Педро Коэльо, Вилли Ричарт; перевод с английского А. А. Слинкин. – 2-е изд. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 302 с.
2. Уэс Маккинли Python и анализ данных / Уэс Маккинли; перевод с английского А. А. Слинкин. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 482 с.



3. Федоров, Д. Ю. Программирование на языке высокого уровня Python: учебное пособие для прикладного бакалавриата / Д. Ю. Федоров. – М.: Изд-во Юрайт, 2018. – 126 с.: [сайт]. – URL: <http://www.urait.ru/catalog/406590> (дата обращения: 11.04.2023). – Текст: электронный.

4. NumPy Справочное руководство: [сайт]. – URL: [https://pyprog.pro/reference\\_manual.html](https://pyprog.pro/reference_manual.html) (дата обращения: 11.04.2023). – Текст: электронный.

5. Руководство по Matplotlib: [сайт]. – URL: [https://indico-hlit.jinr.ru/event/151/attachments/340/492/Project\\_school\\_Matplotlib\\_original.pdf](https://indico-hlit.jinr.ru/event/151/attachments/340/492/Project_school_Matplotlib_original.pdf) (дата обращения: 11.04.2023). – Текст: электронный.

УДК 004.9

### **Использование электронных сервисов на предприятиях общественного питания**

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

*В настоящее время электронные меню становятся все более популярными в кафе и ресторанах. Они позволяют клиентам быстро и удобно ознакомиться с перечнем, выбрать блюда и напитки, а также сделать заказ. Разработка электронного меню является актуальной задачей для предприятий общественного питания. В данной статье будет рассмотрена разработка электронного меню для кафе и ресторанов с использованием методологии IDEF0.*

Существует несколько типов программных сервисов, которые используются в настоящее время на предприятиях общественного питания для взаимодействия с посетителями.

Мобильные сервисы онлайн-бронирования столиков – это один из типов электронных меню, который позволяет клиентам заранее забронировать столик в кафе или ресторане через мобильное приложение или веб-сайт. Этот тип электронного меню позволяет клиентам выбрать удобное время и дату для посещения заведения, а также выбрать количество гостей и предпочитаемое место в зале. Кроме того, мобильные



сервисы онлайн-бронирования столиков могут предоставлять информацию о меню, акциях и специальных предложениях заведения.

Мобильные приложения – это еще один тип электронных меню, который позволяет клиентам ознакомиться с меню, выбрать блюда и напитки, а также сделать заказ через мобильное приложение. Мобильные приложения могут предоставлять дополнительную информацию о блюдах и напитках, включая фотографии, цены, состав и аллергены. Кроме того, мобильные приложения могут предоставлять информацию о расположении заведения, часах работы и контактной информации.

Электронное меню – это тип электронных меню, который представляет собой цифровую версию традиционного бумажного меню. Электронное меню может быть представлено в виде веб-сайта или мобильного приложения. Оно позволяет клиентам быстро и удобно ознакомиться с меню, выбрать блюда и напитки, а также сделать заказ. Электронное меню может предоставлять дополнительную информацию о блюдах и напитках, включая фотографии, цены, состав и аллергены.

В табл. 1 представлено сравнение существующих сервисов электронных меню.

Таблица 1

Сравнение электронных меню

| Критерии            | Emenu        | Smart Menu        | Profit Menu          |
|---------------------|--------------|-------------------|----------------------|
| Состав              | +            | +                 | +                    |
| Калорийность        | +            | +                 | +                    |
| Время приготовления | +            | +                 | +                    |
| Доступ в Интернет   | +            | -                 | -                    |
| Хранение данных     | ПК (сервер)  | Облачное хранение | Облачное хранение    |
| Бесплатный период   | Нет          | 30 дней           | 30 дней              |
| Стоимость внедрения | 412 000      | 170 000           | 84 999               |
| Совместимость с ОС  | Android, iOS | Android           | Любая                |
| Оценка блюд         | -            | -                 | -                    |
| Реализация          | Планшеты     | Планшеты          | Мобильные устройства |

Цифровые меню-борды – это тип электронных меню, который представляет собой цифровые дисплеи, установленные в зале кафе или ресторана. Цифровые меню-борды позволяют клиентам ознакомиться с меню, выбрать блюда и напитки, а также сделать заказ, не обращаясь к официанту. Они могут предоставлять дополнительную информацию о блюдах и напитках, включая фотографии, цены, состав и аллергены. Кроме того, цифровые меню-борды могут использоваться для отображения информации о расположении заведения, часах работы и контактной информации.

Процесс заказа блюда в кафе и ресторане можно разбить на несколько этапов:

1. Обработка заказа. Клиент знакомится с меню, выбирает блюда и напитки, и ресторан обрабатывает данный заказ.

2. Приготовление блюда. Заказ отправляется на кухню и/или бар для приготовления.

3. Подача блюда. После приготовления блюд и напитков они передаются официанту для доставки клиенту.

4. Оплата заказа. Клиент оплачивает заказ.

Методология моделирования IDEF0 (Integrated Definition for Function Modeling) является одним из наиболее распространенных методов моделирования бизнес-процессов и позволяет описать функциональные возможности системы и процессы, которые она выполняет. С помощью данной методологии разработана модель процесса заказа блюда в кафе и ресторане (рис. 1).

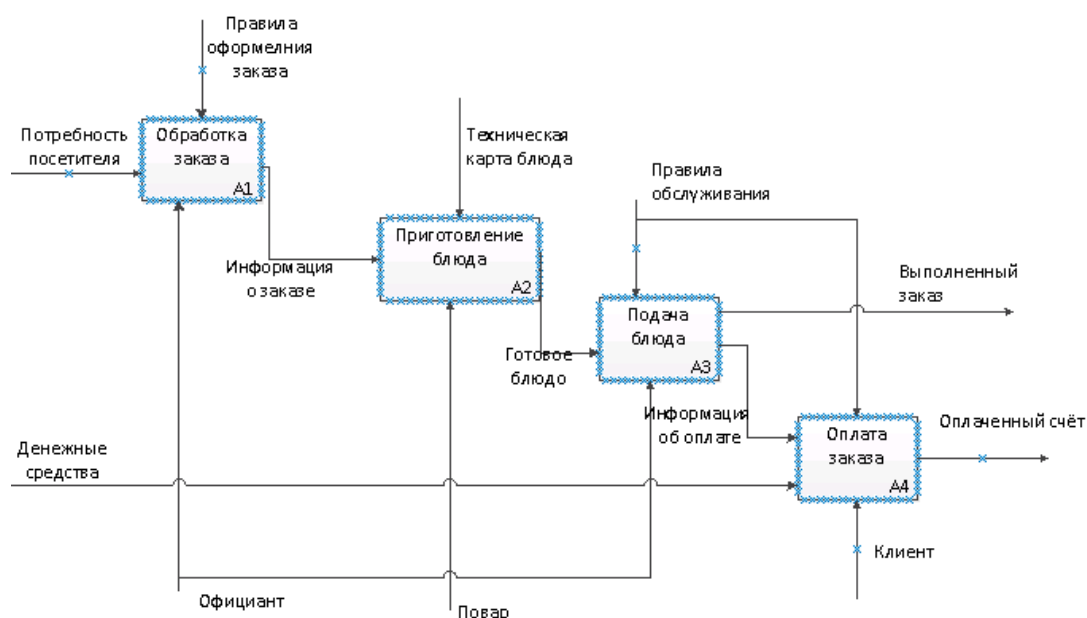


Рис. 1. Диаграмма декомпозиции процесса заказа блюда

При использовании электронного сервиса процесс заказа выглядит по-иному (рис. 2). На схеме показаны все этапы процесса заказа блюда, а также связи между ними.

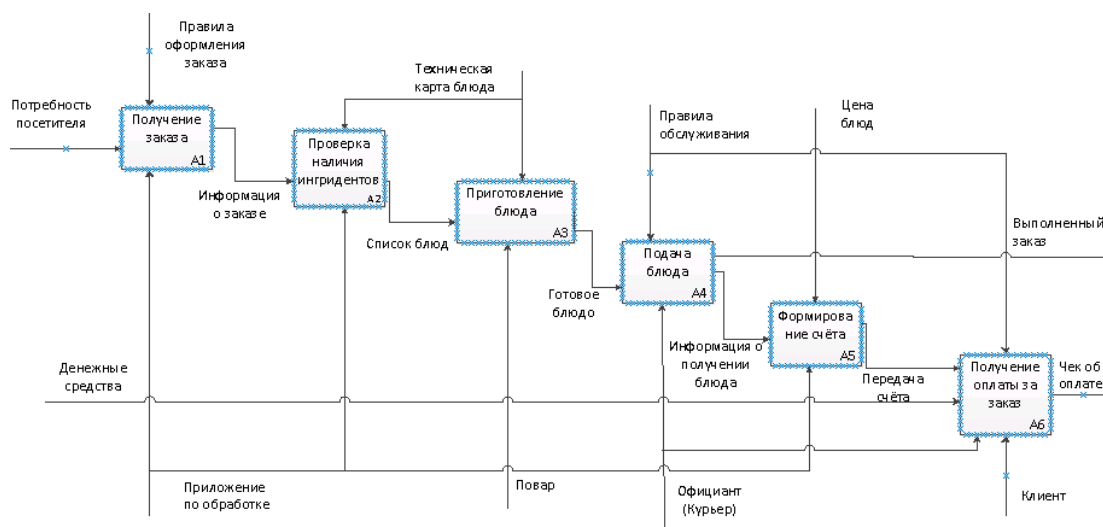


Рис. 2. Модель процесса заказа блюда после внедрения электронного меню

Современное электронное меню должно быть реализовано в виде веб-приложения для использования на компьютерах, планшетах, мобильных телефонах. Его основные функциональные возможности следующие:

1. Просмотр меню с подробным описанием блюд и напитков, включая фотографии, цены, состав и аллергены.
2. Фильтрация меню по категориям, аллергенам и другим параметрам.
3. Формирование заказа с возможностью выбора количества и дополнительных опций.
4. Отправка заказа на кухню и/или бар.
5. Интеграция с системами оплаты для проведения безналичных транзакций.
6. Управление акциями и специальными предложениями.
7. Сбор статистики и аналитики по заказам и предпочтениям клиентов.
8. Многоязычный интерфейс.

Таким образом, внедрение сервисов электронного меню является актуальной задачей для любого кафе или ресторана, стремящегося идти в ногу со временем. Электронное меню позволяет клиентам быстро и удобно ознакомиться с меню, выбрать блюда и напитки, а также сделать заказ. Применение электронного меню позволяет улучшить качество обслуживания клиентов и повысить эффективность работы предприятий общественного питания.

#### Литература

1. Амелина, А. Н. Ресторанный бизнес / А. Н. Амелина. – М.: Смарт, 2016.
2. Андерсен, Б. Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования / Б. Андерсен. – М.: Стандарты и качество, 2018. – 272 с.

3. Выбираем электронное меню для ресторана / 6 лучших QR-меню на рынке: [сайт]. – URL: <https://vc.ru/food/195860-vybiraem-elektronnoe-menyu-dlya-restorana-6-luchshih-qr-menyu-na-rynke> (дата обращения: 17.04.2023). – Текст: электронный

4. Токарев, А. Н. Разработка моделей бизнес-процессов структурного подразделения социальной организации / А. Н. Токарев, Г. В. Очкур // Актуальные проблемы современности: наука и общество. – 2020. – № 2(27). – С. 20-24.

УДК 004.418

**Разработка автоматизированной обучающей системы  
для изучения языка программирования Python**

Лебедева Яна Владимировна, студент направления

«Информационные системы и технологии»;

Виштак Наталья Михайловна, кандидат педагогических наук,

доцент кафедры «Информационные системы и технологии»

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

*При разработке информационной системы необходимо ориентироваться именно на проблему повышения заинтересованности детей школьного возраста в области программирования и информационных технологий в целом. Нехватка квалифицированных специалистов в области цифровых технологий стала первопричиной, по которой в настоящее время на государственном уровне стоит задача по привлечению как можно большего количества детей школьного возраста в IT-индустрию. В качестве актуального ресурса, представляющего собой интерактивное приложение с теоретическим и практическим материалом, выдвигается информационная обучающая система для изучения языка программирования Python. Такая система представляет собой ресурс для получения навыков программирования на одном из самых популярных языков.*

Информационная обучающая система для изучения языка программирования Python представляет собой гибридную систему, сочетающую в себе предоставление теоретического образовательного материала и практических заданий с использованием игровой технологии. Система предназначена для автоматизации и геймификации процесса обучения языку программирования, учета успеваемости ученика и формирования на основе полученных данных сертификата о прохождении курса и

отчета о деятельности организации в сфере предоставления образовательных услуг по изучаемой дисциплине.

Игровая форма заданий вкупе с учетом и визуализацией процесса прохождения курса способствует повышению мотивации обучающегося к изучению теоретического материала и прохождению заданий, а также повышает интерес к миру информационных технологий [1, 2, 5, 6, 7].

Гибридная форма интерактивной системы для изучения языка программирования Python способствует развитию самостоятельности учеников при принятии решений относительно выполнения заданий, а также развивает самодисциплину [4, 5]. Это не значит, что обучающийся остается один на один с незнакомой ему системой. Гибридная форма организации проведения занятия предполагает наличие контроля со стороны преподавателя, к которому можно при любых возникающих вопросах обратиться непосредственно или написать сообщение посредством внутрисистемной электронной почты.

При проектировании клиентской стороны информационной системы важно учитывать тот фактор, что система подразумевается для использования детьми школьного возраста, поэтому при проектировании интерфейса приложения важно применять такие подходы и концепции, которые позволят удержать внимание ребенка и сделать взаимодействие с системой максимально комфортным. Этого можно добиться соблюдением ряда рекомендаций:

1. При проектировании навигационного меню очень важно сделать его интуитивно понятным и дружелюбным по отношению к пользователю. Для этого в системе принято решение располагать навигационное меню в шапке системы, чтобы пользователь всегда мог получить к нему доступ.

2. Дизайн системы необходимо выполнять в соответствии с определенной стилистикой таким образом, чтобы пользователя не отвлекали лишние элементы, но при этом система удерживала бы внимание и концентрацию ученика.

Цветовая гамма выбрана по таблице безопасных цветов. В соответствии с ней, элементы страниц, на которые акцентируется особое внимание (кнопки, логотип, заголовки), имеют более насыщенный цвет. Противоположно этому, элементам, занимающим большую часть страницы (фон, большие текстовые блоки), характерен более нейтральный, спокойный и ненасыщенный цвет.

В соответствии с приведенными требованиями разработан интерфейс системы, приведенный на рис. 1-2.

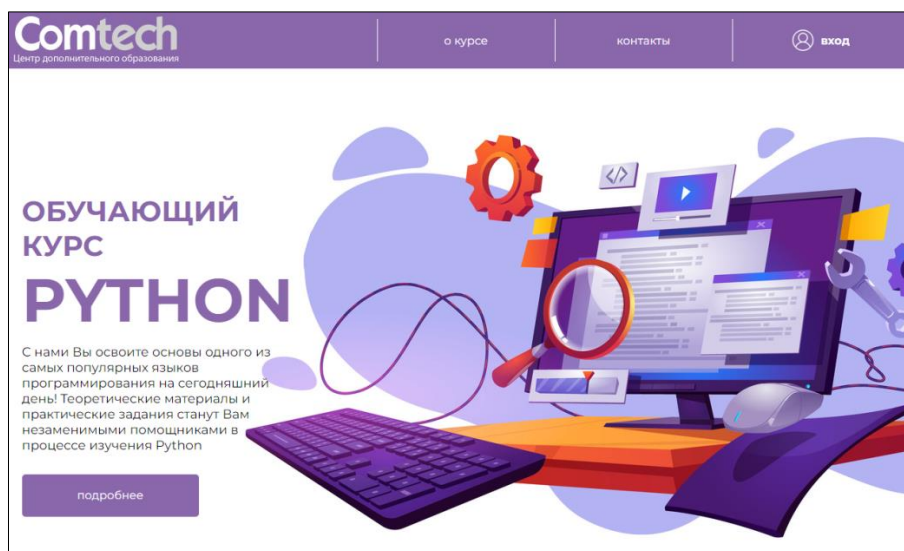


Рис. 1. Главная страница

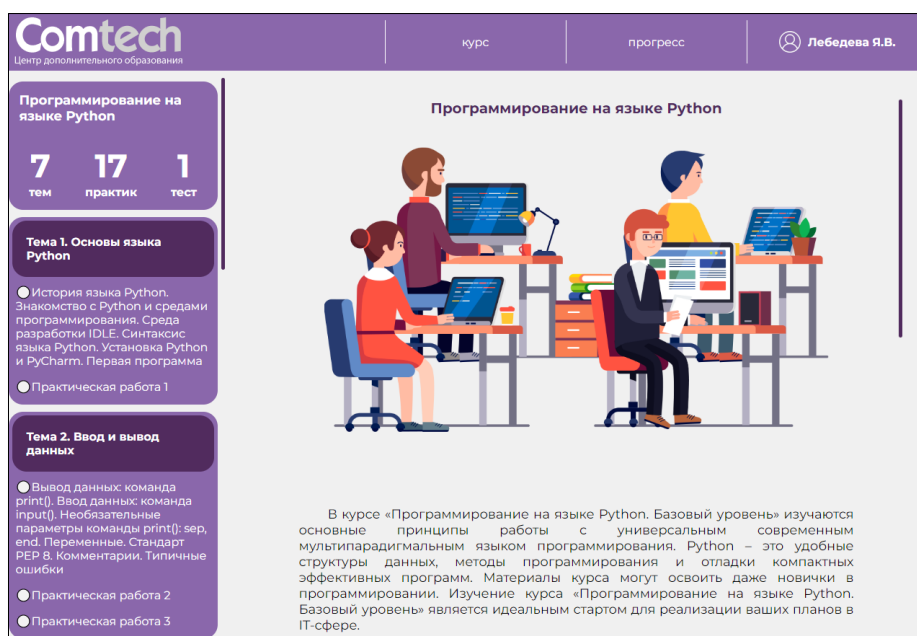


Рис. 2. Страница образовательного курса

Корректная работа системы может быть обеспечена проведением многочисленных тестов системы. Тестирование ПО – это проверка соответствия между реальным поведением программы и ее ожидаемым поведением [3]. Тестирование системы должно быть направлено на исправление некорректной работы и ошибок в реализации наиболее значимых для системы функций:

- корректные сбор и обработка данных с последующей записью в базу данных;
- корректное отображение прогресса ученика в ходе прохождения курса;
- корректное отображение материалов курса в системе;
- разграничение прав доступа разным категориям пользователей к работе с системой.

Корректность сбора и обработки данных с последующей записью в базу данных можно проверить путем ввода изначально некорректных данных в поля для ввода данных при регистрации или аутентификации пользователя. При неверном вводе данных при авторизации срабатывает система валидации данных, развернутая на стороне клиента. Это позволяет вывести пользователю описание ошибки и предложить повторный ввод без перезагрузки страницы. Пример валидации полей представлен на рис. 3.

The image shows a login form with the title "Вход" (Login) in purple. It contains two input fields: "Логин" (Login) with the value "test@mail.ru" and "Пароль" (Password) with three dots indicating a masked password. Below the password field, a red error message states: "Пароль должен содержать не менее 6 и не более 12 символов, латинские буквы, цифры и подчеркивание" (Password must contain at least 6 and no more than 12 characters, Latin letters, digits, and underscores). Below the error message is a purple button labeled "ВОЙТИ" (Login). At the bottom, there is a link that says "Нет аккаунта? Зарегистрируйтесь!" (No account? Register!).

*Рис. 3. Валидация полей при авторизации*

Пользователь в любой момент может получить доступ к просмотру прогресса прохождения курса. Страница представляет собой отображение прогресса в виде удобного анимированного графика. Помимо этого, на странице отображается количество выполненных и невыполненных практических работ, общее количество баллов и процент прохождения курса. Страница прогресса обучения представлена на рис. 4.

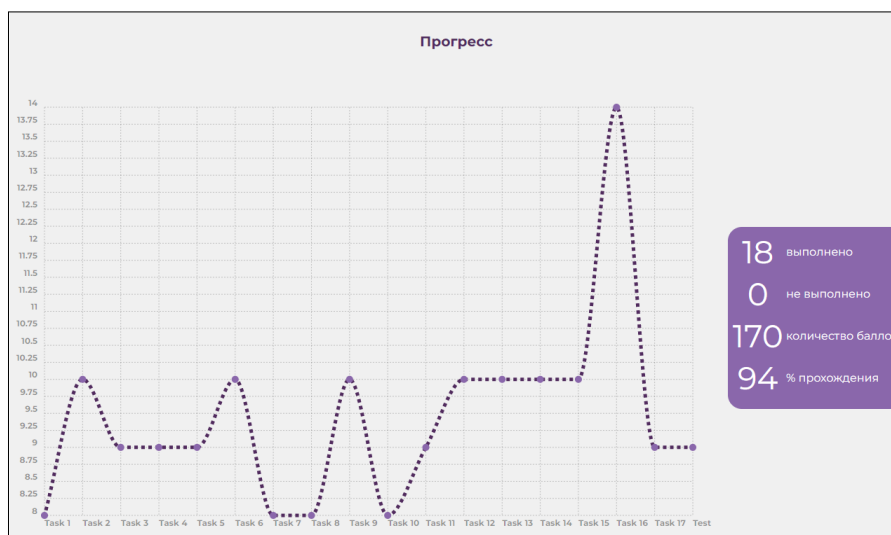


Рис. 4. Страница прогресса пользователя

Разграничение прав доступа разным категориям пользователей к работе с системой можно реализовать путем проверки работы фильтров, отвечающих за защиту файлов от доступа тех пользователей, которым такой доступ запрещен. Будучи авторизованным, как ученик, пропишем абсолютный путь к файлу с главной страницей администратора:

`http://localhost:8080/Python_course_war/admin/index_admin.jsp`

После чего происходит перенаправление пользователя на страницу с образовательным курсом. Следовательно, фильтрация работает и пользователь, не имея достаточно прав на доступ к определенным файлам, не сможет перейти на соответствующую страницу.

Следовательно, тестирование системы позволило убедиться в ее работоспособности и корректном выполнении всех функций, которые реализованы в информационной обучающей системе. Следовательно, информационная система полностью готова к использованию как эффективное средство повышения вовлеченности детей школьного возраста в изучение программирования.

Таким образом, предлагаемая система позволит раскрыть индивидуальные творческие способности детей школьного возраста и поспособствует повышению уровня вовлеченности в изучение мира информационных технологий. Организация образовательного процесса с применением такой системы позволит положить начало развитию качеств, присущих квалифицированному специалисту, который активно реагирует на изменения, происходящие в профессиональной области и на рынке труда в целом.



## Литература

1. Виштак, Н. М. Геймификация дополнительного образования / Н. М. Виштак, Я. В. Лебедева // Сборник научных трудов «Актуальные тренды в современном образовании». – Саратов: Саратовский источник. – 2022. – Ч. 2. – С. 129-132: [сайт]. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48322665> (дата обращения: 17.04.2023). – Текст: электронный.
2. Виштак, Н. М. Игровые технологии в учебном процессе компьютерной школы / Н. М. Виштак, В. П. Петченко // Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Проблемы развития предприятий энергетической отрасли в условиях модернизации российской экономики и общества». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – С. 69-75: [сайт]. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32736452> (дата обращения: 13.04.2023). – Текст: электронный.
3. Аграновский, А. В. Тестирование веб-приложений: учебное пособие / А. В. Аграновский, В. С. Павлов, Е. Л. Турнецкая. – СПб.: ГУАП, 2020. – 155 с.: [сайт]. – URL: <https://reader.lanbook.com/book/216533#2> (дата обращения: 24.04.2023). – Текст: электронный.
4. Виштак, О. В. Интерактивный электронный образовательный ресурс по основам программирования / О. В. Виштак // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Современные Web-технологии образовательного назначения: перспективы и направления развития». – Арзамас: Арзамасский филиал ННГУ, 2016. – С. 77-80.
5. Виштак, О. В. Особенности формирования информационно-методического сопровождения дополнительного образования / О. В. Виштак // Гаудеамус. – 2013. – № 2(22). – С. 100-102.
6. Долгачев, В. А. Использование игровых приложений в дополнительном образовании / В. А. Долгачев, О. В. Виштак // Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2021. – Т. I. – С. 237-242.
7. Виштак, О. В. Компьютерные игры как эффективный инструмент обучения / О. В. Виштак, Р. Р. Мамедов // Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2021. – Т. I. – С. 166-172.

## **Инструментарий для разработки графических объектов**

Михеев Иван Васильевич, старший преподаватель кафедры

«Информатика и управление в технических системах»;

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 программы компьютерной графики и анимации. Рассмотрены преимущества и недостатки представленных программ. Рассмотрены категории интерактивного контента.*

Компьютерная графика – область деятельности, в которой компьютеры наряду со специальным программным обеспечением используются в качестве инструмента как для создания и редактирования изображений, так и для оцифровки визуальной информации, полученной из реального мира, с целью дальнейшей её обработки и хранения. Соответственно, учитывая, что как в основном, так и дополнительном образовании большое внимание уделяется проектной деятельности, которая предусматривает представление и защиту проекта, представляет большой интерес для обучающихся освоение сервисов инфографики [1-5]. Поэтому рассмотрим наиболее значимые сервисы и проведем их сравнительный анализ [8].

По своему профессиональному назначению средства компьютерной графики и анимации можно подразделить на следующие группы: пакеты компьютерной графики для полиграфии; программы двумерной компьютерной живописи; презентационные пакеты; программы двумерной анимации, используемые для создания динамических изображений и спецэффектов в кино; программы для двумерного и трехмерного моделирования, применяемые для дизайнерских и инженерных разработок; пакеты трехмерной анимации, используемые для создания рекламных и музыкальных клипов и кинофильмов; комплексы для обработки видеоизображений, необходимые для наложения анимационных спецэффектов на видеозапись; программы для научной визуализации [12].

Программы компьютерной графики и анимации представляют профессиональный интерес для художников и дизайнеров, полиграфистов и

кинематографистов, разработчиков компьютерных игр и создателей образовательных программ, ученых, а также любых специалистов, которым необходимо создавать, использовать и обрабатывать самые разнообразные изображения. Чтобы правильно донести какую-либо информацию, необходимо грамотно ее изложить. А еще важнее – представить ее так, чтобы собеседник ее запомнил. В таком случае очень часто применяется инфографика.

Инфографика – графическо-текстовое представление различного рода информации. Может включать в себя элементы: фигуры, графики, диаграммы, таблицы, схемы, изображения и т. д. Инфографика применяется для отображения материала практически любой тематики. Главная ее задача – быстро, четко и наглядно подать информацию [7].

Рассмотрим популярные программы для создания инфографики. Программа PosterMyWall. Тысячи брендов ежедневно борются за внимание пользователей. Независимо от того, является ли приложение брендом, компанией или консультантом по цифровому маркетингу, их сообщения в социальных сетях должны содержать привлекательную графику, которая привлечет внимание потребителей. Таким бесплатным многофункциональным онлайн-инструментом является PosterMyWall.

PosterMyWall – это бесплатное приложение, разработанное для использования с веб-браузером Chrome от Google для создания плакатов и рисунков, которое включает в себя тысячи шаблонов, множество простых в использовании инструментов, которые позволяют усовершенствовать каждую деталь, от шрифта и текстовых эффектов до добавления рисунков и картинок.

С PosterMyWall, пользователи получают доступ ко всем различным функциям графического дизайна, которые предлагают некоторые из высокопроизводительных специализированных графических пакетов. Кроме того, платформа также имеет полный каталог шаблонов для различных тем и предпочтений размера, с которыми можно работать и персонализировать в соответствии с потребностями [5].

Программа Piktochart. Это веб-приложение для создания бизнес-презентаций, инфографики и различного рода отчетов с особым дизайном и почти без усилий. Сервис предназначен для создания материалов для презентаций, красочной инфографики в несколько кликов [3]. Следует отметить следующие возможности Piktochart:

- ✓ 300+ профессионально разработанных тем;
- ✓ настройка текста, диаграмм, цветов;
- ✓ карты, иллюстрации и таблицы;

- ✓ сохранение, публикация в социальных сетях или загрузка в виде JPG, PNG, PDF;
- ✓ интерактивные графики;
- ✓ HTML-код для вставки на сайт (гиперссылки) и загрузка изображений;
- ✓ импорт данных из Microsoft Excel.

Это бесплатный ресурс, но необходим доступ к аккаунту в социальных сетях. Имеет 6 готовых шаблонов, 6 цветовых решений. Можно загружать собственные фоновые изображения, использовать разные шрифты. Готовые результаты можно разместить на сайте или выслать по почте. Имеет простой интерфейс. Но этот программный продукт имеет следующие недостатки: англоязычный интерфейс, водяной знак на созданной инфографике и невысокое качество готового изображения. Данная программа подходит тем, кому нужна инфографика для рабочих целей – создания презентаций, отчетов и другого контента, где не важно наличие водяного знака [4].

Программа DesignCap. Это онлайн-сервис для графического дизайна, который позволяет пользователям создавать графику за меньшее время и с большей эффективностью. Он отличается простым использованием, имеет много встроенных инструментов и возможностей настройки графического дизайна. С помощью DesignCap можно создать: инфографику; логотипы; плакаты; листовки; визитные карточки; брошюры; меню; отчёты; резюме; приглашения; диаграммы; презентации; графику для социальных сетей; миниатюры для YouTube; посты для Instagram [13].

DesignCap имеет следующие преимущества: в библиотеке есть множество необходимых для работы элементов – линий, форм, стрелок, значков, выносок, современных и винтажных элементов оформления, абстрактных форм и многого другого. Также можно настроить элементы в соответствии с потребностями. С помощью функции поиска можно найти любой необходимый значок. Если пользователь не нашел подходящего значка в программе, его можно найти на любом другом сайте, нужно только загрузить и можно использовать [1].

Рассмотрим Visme – это онлайн-инструмент визуального обучения, обычно используемый для инфографики, дорожных карт, контрольных списков, отчетов и плакатов. Что хорошо в этом инструменте, так это то, что можно конвертировать свои иллюстрации и наглядные пособия в презентации [6]. Таким образом, легче донести свои идеи и мысли. Инструмент предлагает классифицированные шаблоны в соответствии с профессиями. Следует выделить следующие необходимые функции и достоинства Visme:

- ✓ сохранение актив и элементов бренда;
- ✓ широкие предварительно разработанные шаблоны;
- ✓ доступность в веб-приложениях и настольных приложениях;
- ✓ множество интеграций приложений;
- ✓ интеграция с облачными хранилищами, такими как Onedrive, Dropbox,

Google Drive и т. д.;

- функция совместной работы в режиме реального времени;
- коллекцию шаблонов, анимаций и стоковых изображений;
- маркетинг и рекламная инфографика.

Однако имеются и недостатки:

- ✓ функция совместной работы Visme не показывает разрешения роли;
- ✓ несовместимая функция совместной работы;
- ✓ очень дорого по сравнению с аналогичными программами.

Сервис H5P – это удобный и простой конструктор, в котором есть возможность выбрать любой имеющийся шаблон для создания интерактивного контента. Можно встраивать собранную конструкцию в ряд LMS или веб-страницы при помощи Embed-кода. Все компоненты H5P выполнены в современном формате HTML5 с добавлением JavaScript-кода и CSS-стилей. Это позволяет без проблем изучать созданные с помощью сервиса материалы на любом устройстве [2]. Создатели сервиса делят весь список создаваемого интерактивного контента на следующие категории:

- Игровая форма (Games).
- Мультимедийная форма (Multimedia).
- Формат вопросов (Questions) [9].

Сервис Flippity – это онлайн-сервис, с помощью которого можно создать разнообразные интерактивные задания для обучения на основе Google-таблиц.

По функционалу Flippity схож с такими популярными сервисами, как LearningApps, Quizziz, Classtools. Самые популярные виды интерактивных заданий Flippity: упражнение на ввод текста; проверка орфографии; кроссворд; турнирная таблица; временная шкала; поиск слов; бинго [10].

Для каждого задания доступна инструкция по созданию, а также шаблон и демонстрационная версия. Интерфейс у Flippity англоязычный, но имеет интуитивно понятный интерфейс. Также при работе с сервисом можно воспользоваться автоматическим переводчиком, встроенным в браузер, например, такая возможность есть в браузере Google Chrome. Регистрация на сервисе не требуется, но при работе с

ним понадобится учетная запись Google, поэтому она должна быть создана заранее, так как интерактивные задания будут создаваться на основе данных из Google-таблиц. Сервис полностью бесплатен.

В целом, Flippity является достаточно простым и удобным инструментом для создания интерактивных заданий, (игр, тестов, позволяющим сэкономить время при подготовке к занятиям), следует отметить следующие достоинства:

✓ регистрация на сайте требуется только для создания собственных упражнений;

✓ позволяет создать, используя шаблоны, более 20 видов игровых упражнений;

✓ полностью бесплатен.

Однако, следует указать и недостатки сервиса:

✓ внешний вид упражнений – «устаревший дизайн»;

✓ отсутствует полноценная статистика по упражнениям.

Результаты анализа представим в табл. 1.

Таблица 1

Выбор программ для создания компьютерной графики

| №<br>пп | Название<br>программы | Достоинства                                                                                  | Недостатки                                                                                                                                           | Стоимость                                                                    | Функциональные<br>возможности                                                                                           |
|---------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1       | PosterMyWall          | -бесплатный ресурс;<br>-быстрый редактор;<br>- создавать и загружать видео в формате 4k и HD | - платная графика;<br>- водяной знак на все видео и графику в бесплатном плане;<br>- не дает вам возможности загружать графику в нескольких форматах | Базовый: бесплатно<br>Премиум: 661,07 руб.<br>Премиум Плюс:<br>2 115,74 руб. | Создание пользовательских изображений, плакатов, листовок, цифровых вывесок, инфографики и сообщений в социальных сетях |
| 2       | Piktochart            | - бесплатный ресурс;<br>- простой интерфейс;<br>- имеет 6 готовых шаблонов.                  | - невысокое качество готового изображения;<br>- англоязычный интерфейс;<br>- водяной знак на созданной инфографике.                                  | Базовый: бесплатно<br>Профессиональный:<br>1 111,04 руб.<br>Предприятие.     | Создание презентации, инфографики, отчетов, флаеров, материалов для социальных сетей.                                   |

|   |           |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                     |                                                                                                                                                |
|---|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3 | DesignCap | <ul style="list-style-type: none"> <li>- бесплатный ресурс;</li> <li>- простота использования;</li> <li>- огромная библиотека;</li> <li>- можно настроить элементы в соответствии с потребностями</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- невозможно изменить цвет текста путём выделения;</li> <li>- путём выделения не может быть изменён стиль текста;</li> <li>- недостаточно шаблонов</li> </ul>                                                      | Бесплатная версия                                                                   | Можно создать: инфографику, логотипы, плакаты, листовки, визитные карточки, брошюры, меню, отчёты, резюме, приглашения, диаграммы, презентации |
| 4 | Visme     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- предлагает множество интеграций приложений;</li> <li>- визуализация данных, графики;</li> <li>- шаблоны и макеты проектов;</li> <li>- безопасность</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- бесплатный уровень крайне ограничен;</li> <li>- англоязычная версия;</li> <li>- нужно время на адаптацию к программе</li> </ul>                                                                                  | Базовый: бесплатно;<br>Начинаящий: 972,16 руб.<br>Про: 1 964,16 руб.<br>Для команд. | Сервис для создания онлайн-презентаций, анимаций, анимированных баннеров, инфографики и другого визуального контента                           |
| 5 | H5P       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- удобный и простой конструктор;</li> <li>- в современном формате HTML5 с добавлением JavaScript-кода и CSS-стилей;</li> <li>- может встраивать собранную конструкцию в ряд LMS</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- высокая стоимость;</li> <li>- английская версия</li> </ul>                                                                                                                                                       | Бесплатная платформа                                                                | Список создаваемого интерактивного контента:<br>- Игровая форма;<br>-<br>Мультимедийная форма;<br>- Формат вопросов                            |
| 6 | Flippity  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- регистрация на сайте требуется только для создания собственных упражнений;</li> <li>- позволяет создать, используя шаблоны, более 20 видов игровых упражнений</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- внешний вид упражнений — «устаревший дизайн»;</li> <li>- перевод на русский язык — с ошибками и неточностями, по сути отсутствует полноценная статистика по упражнениям;</li> <li>- английская версия</li> </ul> | Бесплатная версия                                                                   | Создание разнообразных интерактивных упражнений для обучения                                                                                   |

Таким образом, даже краткий анализ сервисов для создания инфографики показывает, что имеются сервисы с большими функциональными возможностями, пользуясь которыми, можно создать прекрасные и функциональные программные объекты, которые значительно повысят уровень учебных проектов и работ.

## Литература

1. Graphic Design Software – Create Awesome Designs Online / DesignCap: [сайт]. – URL: <https://www.designcap.com/> (дата обращения: 22.04.2023). – Текст: электронный.
2. H5P – Create and Share Rich HTML5 Content and Applications 2023: [сайт]. – URL: <https://h5p.org/> (дата обращения: 22.04.2023). – Текст: электронный.
3. Piktochart – Обзор и описание сервиса / Цены и Возможности / WeChoose.pro: [сайт]. – URL: <https://wechoose.pro/service/piktochart> (дата обращения: 23.04.2023). – Текст: электронный.
4. Piktochart – обзор сервиса / Startpack: [сайт]. – URL: <https://startpack.ru/application/piktochart> (дата обращения: 23.04.2023). – Текст: электронный.
5. Tehnografi.com – Технологические новости, обзоры и советы: [сайт]. – URL: <https://tehnografi.com/руководство-по-использованию-postermywall-для-с/> (дата обращения: 22.04.2023). – Текст: электронный.
6. Виштак, Н. М. Особенности подготовки презентационных материалов для слушателей детской компьютерной школы / Н. М. Виштак, Е. А. Яковлева // Сборник трудов «Проблемы развития предприятий энергетической отрасли в условиях модернизации российской экономики и общества». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2016. – С. 93-95.
7. Виштак, Н. М. Возможности визуализации в представлении учебной информации / Н. М. Виштак, Ю. А. Кох // Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Проблемы развития предприятий энергетической отрасли в условиях модернизации российской экономики и общества». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – С. 64-69.
8. Виштак, О. В. Использование метода проектов при создании web-квестов по информатике / О. В. Виштак // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Современные образовательные Web-технологии в системе школьной и профессиональной подготовки». – Арзамас: Арзамасский филиал ННГУ, 2017. – С. 151-155.
9. Возможности сервиса H5P.org: [сайт]. – URL: <https://teachbase.ru/learning/obuchenie/vozmozhnosti-servisa-h5porg/> (дата обращения: 24.04.2023). – Текст: электронный.
10. Flippity – онлайн-сервис интерактивных заданий: [сайт]. – URL: <https://infourok.ru/flippity-onlajn-servis-interaktivnyh-zadanij-4461781.html> (дата обращения: 24.04.2023). – Текст: электронный.



11. Мануйлова, Е. И. Возможности мультимедийных средств обучения в практике дополнительного образования / Е. И. Мануйлова, Н. М. Виштак // Сборник трудов V Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2019. – Т. I. – С. 142-145.

12. Обзор 10 бесплатных ресурсов для создания инфографики: [сайт]. – URL: <https://1ps.ru/blog/texts/2021/top-10-besplatnyix-prilozhenij-dlya-sozdaniya-infografiki/#> (дата обращения: 24.04.2023). – Текст: электронный.

13. Обзор DesignCap: Плюсы и минусы онлайн-сервиса для графического дизайна: [сайт]. – URL: <https://blog.themarfa.name/obzor-designcap-pliusy-i-minusy-onlain-siervisa-dlia-ghrafichieskogho-dizaina/> (дата обращения: 23.04.2023). – Текст: электронный.

УДК 378.147

### **Открытое программное обеспечение в сфере образования**

Прокофьев Николай Сергеевич, студент направления

«Информатика и вычислительная техника»;

Константинова Альфия Гумаровна, кандидат исторических наук,

доцент кафедры «Социально-экономические дисциплины»

Технологический институт – филиал федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования

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

*Проблема выбора подходящего программного обеспечения для образовательных учреждений является актуальной и распространенной. Используемые решения не всегда удовлетворяют потребности преподавателей, не обеспечивают необходимую функциональность и не соответствуют требованиям современного учебного процесса. Для решения данной проблемы была разработана программа «Board4you», предоставляющая удобный и понятный интерфейс, а также дополнительный функционал, необходимый преподавателю. Приложение доступно для операционных систем Windows, GNU/Linux и распространяется под лицензией GPL через репозиторий на GitHub.*

Информационные технологии прочно вошли в повседневную жизнь. Они используются почти во всех сферах деятельности человека: медицине, бизнесе, науке и образовании. Опыт пандемии COVID-19 доказал возможность эффективного

применения информационных технологий в образовании. В 2020 г. большинству российских школ и вузов пришлось перейти на дистанционное обучение. Одной из основных проблем для образовательного сообщества стало отсутствие подходящего программного обеспечения. Некоторые учреждения использовали вместо школьной доски Microsoft Paint. Такой выбор обусловлен тем, что данное приложение установлено почти на всех компьютерах под управлением операционной системы Windows, а также тем, что Microsoft Paint довольно прост и знаком почти всем.

Однако программа от Microsoft Paint имеет ряд недостатков:

- Имеет только одну страницу, после окончания работы с которой необходимо создать новый файл или еще один экземпляр программы. Подобный вариант подходит, если лекцию сохранять не требуется, в противном случае появляется множество излишних действий, которые отнимают время и создают возможность ошибки пользователя при сохранении.
- Доступность только под операционную систему Windows. В 2023 г. все больший сегмент на рынке настольных операционных систем занимают альтернативные продукты, например, GNU/Linux и Chrome OS.
- Проприетарная лицензия: исходный код Microsoft Paint является закрытым, что не позволяет сообществу легально модифицировать программу или создавать ответвления.

Для решения этой проблемы необходимо создать приложение достаточно простое для освоения и использования, но при этом предоставляющее дополнительный функционал, оптимизирующий работу преподавателя. Приложение должно быть кроссплатформенным и распространяться под свободной лицензией.

С самого начала проект задумывался таким образом, чтобы его можно было запускать на любой платформе, в том числе и в браузере. Поэтому были выбраны фреймворки, использующие web-технологии, обойдя Qt, GTK, Tkinter и им подобные.

Несмотря на то, что NW.js предоставляет более простой интерфейс работы с системой прямо из web-страницы, было принято решение использовать фреймворк Electron [1], разработанный GitHub для создания нативных графических приложений, как имеющий подробную документацию и большое количество примеров использования, находящихся в открытом доступе, и в целом достаточно популярный.

За основу разработки web-части приложения взята библиотека React [2] в силу удобства, предоставляемого ей компонентного подхода и декларативного стиля разработки; отрисовка происходит через HTML-элемент canvas с помощью библиотеки konva [3].

История действий (правка отменить и вернуть) реализована через «модель эффектов»: промежуточные состояния холста не хранятся, а генерируются в соответствии с операциями над ним (рис. 1). Такой подход не требует использования лишней памяти, но увеличивает время отрисовки.

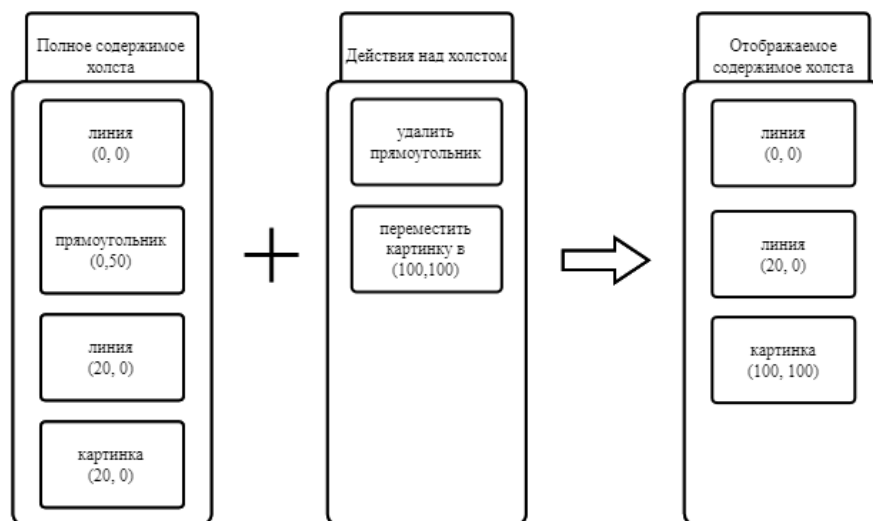


Рис. 1. Пример истории через «модель эффектов»

Поскольку canvas имеет проблемы с производительностью на высоких разрешениях, было принято решение использовать перетаскивание как способ перемещения по холсту, при этом отрисовываются только те элементы, которые частично или полностью попадают в поле зрения.

Board4you – это разработанная с использованием фреймворка Electron и распространяемая под лицензией GPL доска.

Основой интерфейса программы является бесконечный холст, перемещение по которому происходит перетаскиванием. При сохранении документа возможно выбрать PDF или Zip форматы. После этого файл можно открыть в любой удобной программе (рис. 2).

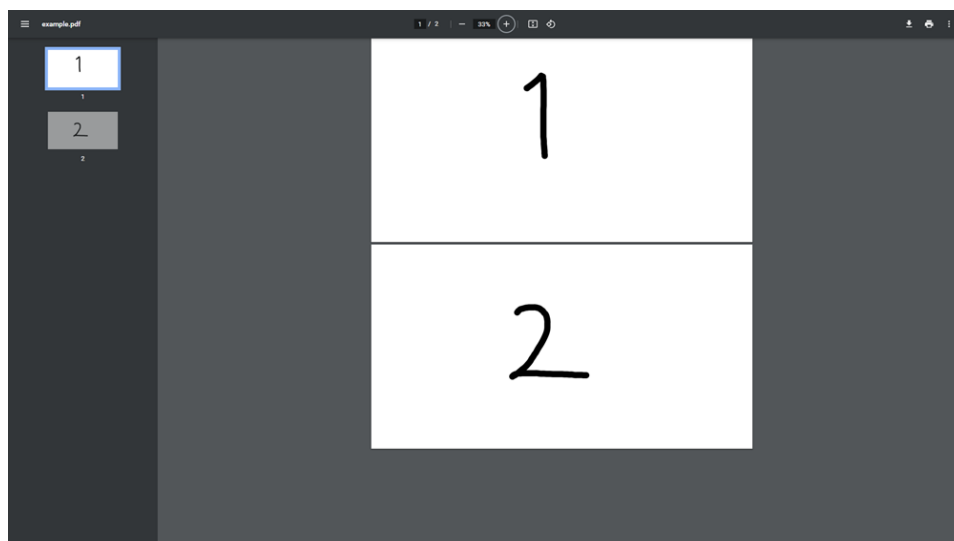


Рис. 2. Сохранение документа

Панель инструментов расположена слева от холста (рис. 3). Для каждого инструмента настройки задаются отдельно, что отменяет необходимость в постоянной смене цвета при подчеркивании или выделении. Настройки доступны по клику на иконку активного инструмента и сохраняются после закрытия программы.

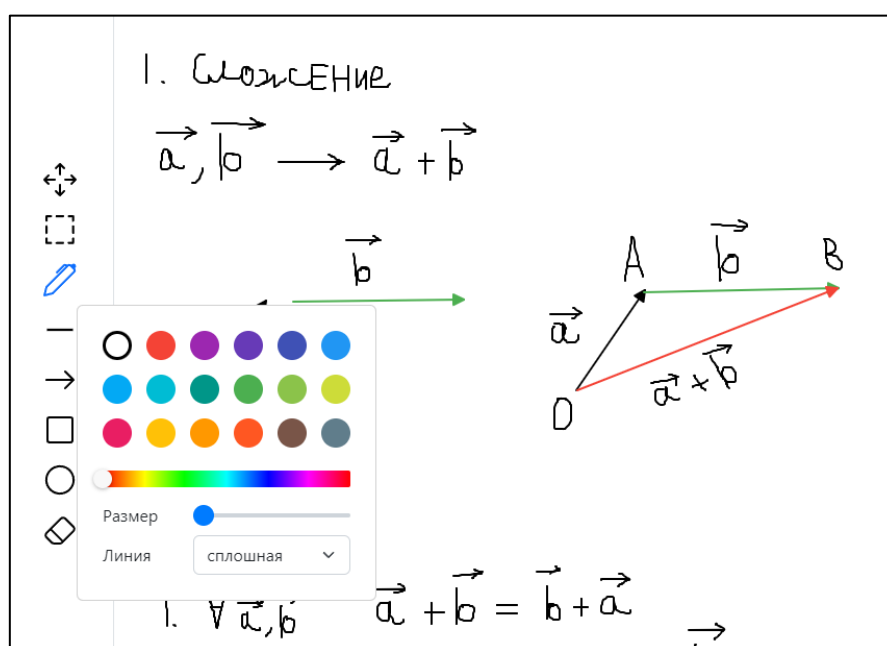


Рис. 3. Холст и панель инструментов

На данный момент существуют релизы для операционных систем GNU/Linux и Windows, однако Board4you может быть собрана под большинство современных систем, для которых доступен Electron (GNU/Linux, macOS, FreeBSD, Windows). В случае, если данный фреймворк не доступен, например, на Chrome OS, собирается PWA-приложение с ограниченным функционалом, запускаемое на любом устройстве, где установлен современный браузер.

Таким образом, удалось создать бесплатную альтернативу простым растровым редакторам в сфере образования, используя свободные технологии и инструменты. Скачать приложение можно по ссылке: <https://github.com/GachiLord/board4you/releases/>.

#### Литература

1. Electron: библиотека: [сайт]. – URL: <https://www.electronjs.org/ru/docs/latest/> (дата обращения: 13.04.2022). – Текст: электронный.
2. React: библиотека: [сайт]. – URL: <https://ru.reactjs.org/docs/getting-started.html> (дата обращения: 13.04.2022). – Текст: электронный.
3. Konva docs: библиотека: [сайт]. – URL: <https://konvajs.org/docs/index.html> (дата обращения: 13.04.2022). – Текст: электронный.

УДК 378.091.398

#### **Критерии оценивания знаний слушателей в реализации дополнительных образовательных программ**

Шестакова Екатерина Сергеевна, студент направления

«Информационные системы и технологии»;

Виштак Ольга Васильевна, доктор педагогических наук, кандидат технических наук,  
профессор кафедры «Информационные системы и технологии»;

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

*Статья посвящена значимости дополнительного образования для детей. Рассмотрены способы оценки результатов обучения в онлайн-курсах, представлены критерии создания качественных тестов и критерии правильного проведения тестирования.*

В современных реалиях дополнительное образование играет большую роль [1]. На сегодняшний день уже принято считать, что дополнительное образование не просто данность или возможности – это обязанность для каждого человека, который себя уважает и хочет чего-то достичь в этой жизни.

Разберемся, что представляет собой дополнительное образование. Дополнительное образование – это любая формальная или неформальная

образовательная подготовка, выходящая за рамки обязательного начального и среднего образования [2]. Дополнительное образование может основываться на навыках и знаниях, полученных в рамках обязательного образования, и может добавлять знания и квалификации к профилю человека или способствовать его личностному развитию. Для разработки и предоставления дополнительного образования широко используются образовательные учреждения, учебные программы, частные репетиторы и интернет [3].

Получать дополнительное образование следует начинать еще в детстве, потому что именно в детстве можно и нужно нарабатывать навыки, которые могут пригодиться в более взрослом возрасте. Биологическое развитие человека сформировано таким образом, что в детском возрасте мозг легче воспринимает новые знания. Однако с годами активность мозговой деятельности снижается – это естественный процесс, которого не избежать. Поэтому в юности при помощи дополнительного образования возможно освоить больше полезных навыков, чем в зрелом возрасте. Таким образом, детское дополнительное образование – это инвестиции в самого себя, в свое будущее.

Дополнительное образование для детей – это возможность заранее влиться в определенную область и стать профессионалом до начала своей рабочей деятельности. Изучение профессиональных навыков в раннем возрасте позволит быть впереди конкурентов в выбранной области, быть инициативным, быть профессионалом, а не просто работать на своей работе. То есть дополнительное образование может в корне изменить жизненный путь человека.

Дополнительное образование может принимать различные формы, и важно отметить, что оно не ограничивается только традиционным формальным образованием, таким как школа, университет, колледж и ремесленное училище, но может включать неформальное образование, жизненный опыт, обучение на рабочем месте и ученичество.

В данной статье рассмотрим онлайн-курсы дополнительного образования для детей. Онлайн-курсы обеспечивают эффективный и действенный способ предоставления дополнительного образования, особенно для тех, кто не может посещать обычные курсы или не может позволить себе традиционные курсы в классе. В частности, онлайн-курсы позволяют учащимся работать в своем собственном темпе, не выходя из собственного дома или предпочтительного места. Интернет в сочетании с разнообразными учебными инструментами обеспечивает идеальную среду для студентов, чтобы учиться и развивать новые знания и навыки в увлекательной форме.

Роль оценивания в онлайн-курсах заключается в том, чтобы предоставить учащимся возможность проверить свой прогресс и уровень понимания на разных

этапах курса. Оценки учащихся помогают определить, приобретают ли учащиеся необходимые знания и навыки, и продвигаются ли они по содержанию и материалам курса должным образом. Это позволяет своевременно получать обратную связь и вмешиваться, чтобы учащиеся не отставали от курса и могли успешно завершить свои онлайн-курсы для достижения своих целей обучения [4].

В основном подобное оценивание результатов проводится в тестовом формате, потому что тесты – это эффективный способ оценить успеваемость учащихся и их понимание предмета [12-14]. Они также считаются справедливым способом оценки успеваемости и знаний учащихся, поскольку каждый учащийся оценивается одинаково, что обеспечивает равные возможности и справедливое сравнение между учащимися, изучающими один и тот же онлайн-курс. Регулярное тестирование на протяжении всего онлайн-курса также помогает убедиться, что учащиеся находятся на пути к достижению своих целей обучения, что в конечном итоге помогает повысить показатели успеваемости студентов, проходящих онлайн-курсы. Наконец, результаты тестов предоставляют важные данные об успеваемости учащихся, которые преподаватели онлайн-курсов могут использовать для улучшения содержания и материалов курса.

Чтобы оценить знания и понимание учащимися предмета, тесты должны охватывать содержание, понятия и навыки, которые должен передать курс. Важно убедиться, что тест соответствует типу и уровню знаний и понимания, которые студенты должны иметь на различных этапах онлайн-курса. Тесты также должны оценивать ключевые знания и понимание, необходимые для успешного завершения курса и достижения его целей обучения, а также учитывать временные ограничения, с которыми студенты сталкиваются при прохождении онлайн-курсов. Наконец, тесты должны быть честными, точными, однозначными и релевантными.

Таким образом, можно выделить следующие критерии создания тестов [5]:

— **Значимость.** Этот принцип указывает на необходимость включить в тест только те элементы знания, которые можно отнести к наиболее важным и ключевым, без которых знания становятся неполными.

— **Научная достоверность.** Суть тестовых заданий заключается в том, что они требуют четкого, заранее известного преподавателям ответа. Все спорные точки зрения, вполне допустимые в науке, не рекомендуется включать в тестовые задания.

— Соответствие содержания теста уровню современного состояния науки. Этот принцип базируется на естественной необходимости подготовки специалистов и проверки их знаний на современном материале.

— Репрезентативность. Следует обращать внимание не только на включение значимых элементов, но и на полноту охвата пройденного материала.

— Возрастающая трудность учебного материала. Знание последующих элементов курса зависит от знания предыдущих учебных элементов, то есть дисциплину можно изучать только с самого начала и без пробелов.

— Вариативность содержания. По мере изменения содержания учебной дисциплины должно варьироваться и содержание теста.

— Системность содержания. Это означает, что подбор содержания и количества тестовых заданий должен отражать все разделы теоретических материалов соответственно трудоемкости по рабочей программе.

— Комплектность и сбалансированность содержания теста. Тест, разработанный для итогового контроля знаний, не может состоять из материалов только одной темы.

— Взаимосвязь содержания и формы. Содержание теста должно быть выражено в наилучшей, с точки зрения наглядности и обучающего потенциала, форме.

Конструирование тестовых заданий требует четкого деления изучаемого материала на логически законченные доли учебного материала, уровень усвоения которых можно было бы оценить кратко и однозначно. Эти доли не должны быть слишком малы, чтобы в целях контроля усвоения материала не приходилось ставить элементарные вопросы, не требующие усилий мысли обучающегося. Подобная часть учебного материала должна содержать не менее одного-двух новых понятий. При этом важно выделить главные вопросы, не увлекаясь второстепенными.

Для эффективного контроля знаний обучающихся с помощью тестирования помимо критериев создания теста необходимо придерживаться и критериев проведения тестирования [6]. Рассмотрим следующие критерии:

— Временные рамки. Сидеть над тестом невозможно бесконечно долго: начало и завершение тестирования должны быть фиксированными. К сожалению, довольно часто временной интервал для этого процесса выбирается спонтанно. И если ошибиться – дать слишком мало времени или слишком много, эффективность теста снизится.



Тестирование в спешке приведет к тому, что как «слабые», так и «сильные» испытуемые не успеют выполнить все задания, и мы не поймем – тестируемый не выполнил задание, поскольку не знал ответа или вообще не успел к нему обратиться.

Если времени слишком много, «сильные» испытуемые, успевшие быстро пройти тестирование, начинают отвлекать других, подсказывать ответы, что нарушает процедуру тестирования.

Если человек проходит тестирование в одиночестве или тестируется онлайн, при избытке времени он будет долго сидеть над заданиями, не решаясь выбрать ответ. Это вызовет утомление, снижение концентрации внимания, расслабление, что также снижает точность тестирования.

Всегда нужно иметь в виду, что испытуемые устают. А значит, тестирование не должно занимать слишком много времени, что напрямую связано с объемом самого теста. Практика показывает, что объем осознанно воспринимаемой информации начинает существенно снижаться примерно через 40 - 45 минут с начала тестирования [7].

— Оформление тестового задания. Тестовое задание должно быть оформлено таким образом, чтобы облегчить тестируемому работу над ним. Существует несколько вариантов дизайна тестовых заданий, но все сходятся в одном: все элементы тестового задания тем или иным образом должны быть графически выделены.

— Инструкция. Это общие требования к выполнению тестового задания. Она должна устранить все вопросы испытуемых об оформлении своих ответов. Кроме того, в тексте инструкции оговаривают специфику задания, например, указывают количество правильных ответов в тесте. При написании инструкции используют стандартные формулировки. Формулировка инструкции зависит от формы тестового задания, количества правильных ответов и пр.

— Формулировка заданий. Эффективность и технологичность теста во многом зависят от того, насколько грамотно сформулированы задания. Если тестируемый не поймет смысл вопроса, ему придется отвечать наугад. А это уже минус к объективности конечного результата. Потому важно тщательно проработать каждое задание.

При правильном отборе контрольного материала содержание теста может быть использовано не только для контроля, но и для обучения, позволяя, таким образом, испытуемому самостоятельно обнаруживать пробелы в структуре своих знаний и принимать меры для их ликвидации. В таких случаях можно говорить о значительном

обучающем потенциале проектируемой системы, использование которого станет одним из эффективных направлений практической реализации принципа взаимосвязи и единства контроля и обучения [8].

Правильно подобранный материал, корректно построенные вопросы, знание основных принципов работы с тестовым материалом – залог высокой результативности и повышения мотивации учащихся [9].

Тестирование является важным этапом итоговой и промежуточной аттестации обучающихся дополнительных образовательных учреждений [10]. Этот метод диагностики один из наиболее достоверных и объективных [11]. Объективность достигается путем стандартизации и проверки критериев качества создания тестовых заданий и проведения тестирования. Выполняя свои многогранные функции, тестовый контроль повышает эффективность и продуктивность учебного процесса.

#### Литература

1. Черноскутова, М. В. Роль дополнительного образования в профессиональном определении / М. В. Черноскутова // Екатеринбург: ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», 2015: [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: 15.04.2023). – Текст: электронный.
2. Джичоня, М. В. Роль дополнительного образование в современной системе образования / М. В. Джичоня // Образовательный центр «ЯПедагог.РФ»: [сайт]. – URL: <https://xn--80agabe1dc1k.xn--p1ai/> (дата обращения: 15.04.2023). – Текст: электронный.
3. Роль и место дополнительного образования в современной модели образования / С. Н. Кудинов, А. Н. Борисов, А. И. Рябинин [и др.]. – Информационный центр развития образования и науки, 2017.
4. 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». – Москва, 2013: [сайт]. – URL: <https://scienceforum.ru/2013/article/2013008069> (дата обращения: 15.04.2023). – Текст: электронный.
5. Тиссен, Е. Г. Спирина Рекомендации по разработке тестов / Е. Г. Тиссен, И. Г. Калугина, А. С. Спирина. – Цифровой университет АлтГУ: [сайт]. – URL: <https://portal.edu.asu.ru/mod/book/tool/print/index.php?id=88304> (дата обращения: 16.04.2023). – Текст: электронный.

6. Шаврина, Е. Каков вопрос – таков и ответ, или Как правильно составлять педагогические тесты / Ведущая многопрофильная группа ИТ-компаний в РФ ГК ЛАНИТ: [сайт]. – URL: <https://habr.com/ru/companies/lanit/articles/534846/> (дата обращения: 16.04.2023). – Текст: электронный.
7. Ким, В. С. Тестирование учебных достижений / В. С. Ким. – Уссурийск: Изд-во УГПИ, 2007. – С. 29-35.
8. Горбунова, О. В. Грамотное применение тестового задания – основа эффективного процесса обучения в Российской школе / О. В. Горбунова, О. А. Иванова // Школьные технологии. – 2015. – № 1: [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gramotnoe-primenenie-testovogo-zadaniya-osnova-effektivnogo-protsessa-obucheniya-v-rossiyskoy-shkole> (дата обращения: 16.04.2023). – Текст: электронный.
9. Сафиулин, Р. З. Развитие технологий тестирования в образовании / Р. З. Сафиулин // Управление образованием: теория и практика. – 2015. – № 1(17): [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-tehnologiy-testirovaniya-v-obrazovanii> (дата обращения: 20.04.2023).
10. Алегцанова, И. В. Педагогическое тестирование как средство повышения качества контроля и оценки эффективности учебного процесса в вузе / И. В. Алегцанова, Н. А. Фролова // Современные проблемы науки и образования. – 2007. – № 6. – С. 13-17.
11. Cattell, R. B. The scree test for the number of factors / R. B. Cattell // Multivariate behavioral research. – 1966. – Т. 1. – № 2. – С. 245-276.
12. 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. – Т. I. – С. 149-153.
13. Виштак, Н. М. Подходы к организации тестового контроля знаний в компьютерных обучающих системах / Н. М. Виштак, Е. И. Мануйлова // Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции «Проблемы развития регионов в условиях модернизации экономики, общества и образования». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2018. – Т. I. – С. 48-50.
14. 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, 2016. – С. 40-43.

УДК 004.415

**Разработка информационной системы для оценки эффективности работы  
образовательного учреждения**

Штырова Ирина Анатольевна, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Информационные системы и технологии»;

Коновалов Эльдар Наилевич, студент направления  
«Информационные системы и технологии»

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

*В данной статье приводится описание структуры информационной системы, разрабатываемой с целью повышения эффективности процессов подготовки, проведения и анализа результатов опросов, которые проводятся при оценке результативности воспитательной работы в образовательном учреждении.*

В настоящее время одним из направлений развития сферы образования является совершенствование системы управления, а именно повышение эффективности, аргументированности принимаемых решений. В связи с возрастающими требованиями к качеству образования и в условиях постоянно увеличивающегося объема обрабатываемой информации внедрение информационных систем в управленческую деятельность дает возможность оптимизировать процессы управления образовательным учреждением [1].

Одной из приоритетных задач управления образовательным учреждением является организация воспитательного пространства, повышение эффективности воспитательного процесса, в том числе – формирование механизмов оценки его качества. Под системой оценки качества воспитательного процесса понимается совокупность систем внутреннего контроля, мониторинга, общественной и профессиональной экспертизы. При этом необходимо обеспечивать сбор, хранение и систематизацию информации о состоянии и развитии системы воспитательной работы в образовательном учреждении [2].

В процессе оценки качества воспитательного процесса проводятся такие мероприятия, как диагностика и анализ уровня воспитанности, диагностика качества проведенного мероприятия, мониторинг удовлетворенности результатами воспитательного процесса учителей, родителей, учащихся, мониторинг удовлетворенности услугами дополнительного образования и так далее [3]. Большинство из указанных мероприятий предполагают опрос участников образовательного процесса и анализ результатов проведенного опроса. Проведение таких опросов предполагает следующие обязательные этапы:

- подготовительный этап, который включают в себя постановку цели и задач опроса, формирование плана проведения опроса и составление анкет;
- этап сбора данных предполагает непосредственно проведение анкетирования респондентов;
- этап анализа данных включает в себя обработку полученных результатов опроса, расчет показателей эффективности воспитательного процесса.

Перевод анкетирования в электронный формат позволяет упростить и стандартизировать взаимодействие участников опроса, а для самих участников делает процесс анкетирования более удобным и комфортным [4]. Таким образом, разрабатываемая информационная система для оценки эффективности работы образовательного учреждения позволит применить электронные средства составления анкет и обработки результатов анкетирования, то есть автоматизировать все этапы проведения опросов участников образовательного процесса, создать централизованное хранилище результатов анкетирования, перевести процесс анкетирования в цифровой дистанционный формат, требующий минимального участия персонала.

Основными функциями информационной системы являются формирование вопросов анкет, заполнение анкет респондентами, автоматический статистический анализ полученных данных, а также визуализация результатов обработки данных [5].

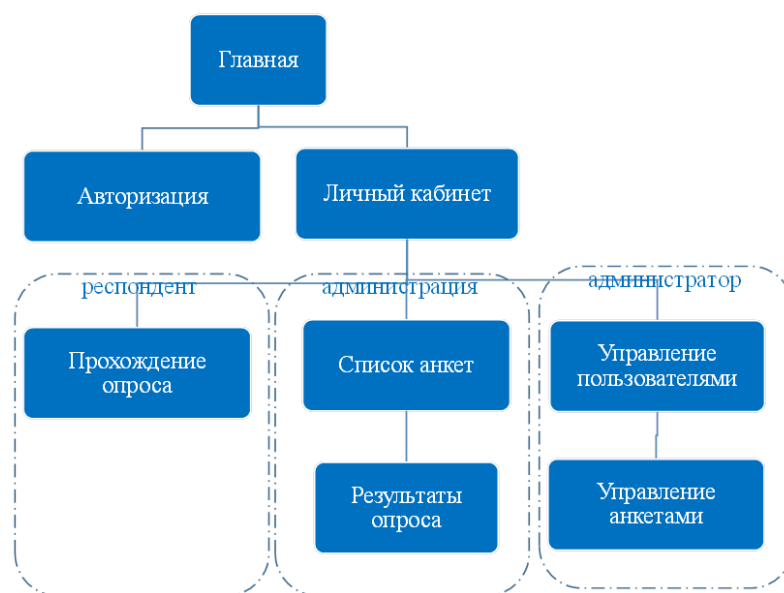
Пользователями информационной системы будут непосредственно респонденты, использующие систему для прохождения опроса, администрация образовательного учреждения, которой предоставляется доступ для просмотра ко всем анкетам и результатам опроса, а также администратор, имеющий возможность управлять данными пользователей и редактировать анкеты.

Информационная система для оценки эффективности работы образовательного учреждения должна иметь архитектуру клиент-серверного приложения. Сервер должен принимать HTTP-запросы от клиентов, обрабатывать их, посылать инициировавшему

запрос клиенту ответ, а также инициировать взаимодействие с централизованной базой данных. Клиент системы должен иметь возможность взаимодействовать с сервером путём отправки HTTP-запросов и получения ответов от сервера на отправленные запросы. Должно обеспечиваться хранение и регулярное обновление в базе данных как минимум следующей информации: данные респондентов, вопросы анкет, результаты опроса. Таким образом, в составе информационной системы для оценки эффективности работы образовательного учреждения можно выделить следующие подсистемы:

- подсистема хранения данных, решающая задачи по накоплению и индексированию информации;
- подсистема доступа к данным, включающая в себя модули, обеспечивающие формирование графического пользовательского интерфейса пользователей, доступ к данным и защиту информации;
- подсистема анализа данных, включающая модули обработки результатов опроса и средства визуализации данных.

Структура информационной системы для оценки эффективности работы образовательного учреждения с учетом выделенных групп пользователей представлена на рис. 1.



*Рис. 1. Структура информационной системы*

Для разработки информационной системы выбран язык программирования PHP, а также фреймворк Laravel. Для frontend разработки используется язык гипертекстовой разметки HTML, а также каскадные таблицы стилей CSS. База данных создается с использованием системы управления базами данных MariaDB. Также для создания информационной системы была выбрана интегрированная среда разработки PHPStorm.

Страница прохождения опроса должна представлять из себя набор форм, в каждой из которых есть вопрос и несколько вариантов ответа, из которых респонденту необходимо выбрать один. Макет страницы прохождения опроса представлен на рис. 2.

| Название анкеты                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-bottom: 10px;"> <p>Вопрос 1</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span><input checked="" type="radio"/> Вариант ответа 1</span> <span><input type="radio"/> Вариант ответа 3</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span><input type="radio"/> Вариант ответа 2</span> <span><input type="radio"/> Вариант ответа 4</span> </div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p>Вопрос 2</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span><input checked="" type="radio"/> Вариант ответа 1</span> <span><input type="radio"/> Вариант ответа 3</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span><input type="radio"/> Вариант ответа 2</span> <span><input type="radio"/> Вариант ответа 4</span> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px 20px; display: inline-block;">Завершить</div> </div> |                                                                                |
| example@mail.ru<br>Поддержка                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | © Информационная система оценки<br>эффективности воспитательной работы<br>2022 |

*Рис. 2. Макет страницы прохождения опроса*

Макет страницы создания анкеты представлен на рис. 3.

Конструктор опросов

[Профиль](#)

Заголовок опроса:

Вопрос 1:

Ответ 1:

Ответ 2:

Ответ 3:

Ответ 4:

Правильный ответ:

☐ Ответ 1
☐ Ответ 2
☐ Ответ 3
☐ Ответ 4

Удалить  
вопрос

Добавить  
вопрос

Сохранить  
опрос

*Рис. 3. Страница создания анкеты*

Таким образом, разработка и внедрение информационной системы для оценки эффективности работы образовательного учреждения позволит улучшить значения следующих показателей при проведении опросов:

- время подготовки анкет;
- время внесения изменений в анкеты;
- время проведения опросов;
- время обработки результатов анкетирования.

### Литература

1. Штырова, И. А. Разработка информационной системы расчета рейтинговых показателей педагогов в образовательной организации / И. А. Штырова, О. П. Горкун // сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции «Современные технологии в атомной энергетике». – М.: НИЯУ МИФИ; Балаково: БИТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – С. 117-120.
2. Виштак, О. В. Автоматизация мониторинга качества в системе дополнительного профессионального образования / О. В. Виштак, И. А. Штырова // Научное обозрение. Педагогические науки. – 2017. – № 5. – С. 14-17.
3. Концепция и модель оценки качества воспитания в системе общего образования. Научно-методическое пособие / под ред. Н. Л. Селивановой, П. В. Степанова. – М.: НОУ Центр «Педагогический поиск», 2013. – 96 с.
4. Виштак, Н. М. Функциональные возможности информационной системы обработки данных педагогического исследования в области дополнительного образования / Н. М. Виштак, И. В. Михеев // Материалы IV Международной научной конференции «Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании». – Красноярск, 2020. – С. 67-72.
5. Штырова, И. А. Анализ задач и функций информационной системы для оценки эффективности воспитательной работы в образовательном учреждении / И. А. Штырова, Э. Н. Коновалов // Сборник материалов V Всероссийской научно-практической конференции «Информационные технологии в экономике и управлении». – Махачкала, 2022. – С. 132-135.



### СЕКЦИЯ 3

#### «ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

УДК 69.05

#### **Организация и технологические особенности возведения высотных зданий из железобетона**

Андреева Наталья Викторовна, старший преподаватель кафедры

«Промышленное и гражданское строительство»;

Красильников Михаил Николаевич, студент направления «Строительство»

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

*Цель данной работы направлена на рассмотрение технологических особенностей возведения высотных зданий из железобетона, основных технологических процессов, методов сокращения продолжительности строительства.*

С каждым годом во всем мире растет количество высотных зданий. Вызвано это нехваткой территории в экономически перспективных районах, а также необходимостью размещения офисов и финансовых центров крупных организаций.

Как известно, построение вертикально протяженных объектов требует учитывать особые технологические факторы, зависящие от места и района строительства. Помимо различных видов силовых воздействий, влияющих на здание, следует особое внимание уделять организации строительных процессов строящегося объекта. Важно это потому, что при неправильной взаимоувязке трудовых процессов и поставок материалов увеличивается фактический срок строительства объекта. Цены на материалы и труд постоянно растут, вследствие этого при длительных простоях не только снижается прибыль от функционирования объекта, но и увеличиваются затраты на его возведение.

Основу процесса строительства высотных зданий составляет комплекс организационных и технологических мероприятий, направленных на оптимизацию сроков строительства, снижение трудозатрат и сокращение сроков использования специализированной техники с сохранением требуемого качества конструкций.

Основным методом, применяемым при возведении высотных зданий, является поточный метод строительства.

Основными и самыми длительными процессами возведения железобетонного здания являются различные монолитные работы. Для этого используется бетон, обладающий повышенными характеристиками. К тому же необходима своевременная поставка данного строительного материала к месту проведения работ. Вопрос производства и поставки бетона до строительной площадки должен стоять как один из ключевых факторов, от которого стоит отталкиваться при составлении графика производства работ.

В основном применяют две технологические схемы доставки бетона:

- С заводов производителей в автобетоносмесителях.
- С автоматизированного бетонного узла, обеспечивающего приготовление модифицированного бетона прямо на объекте.

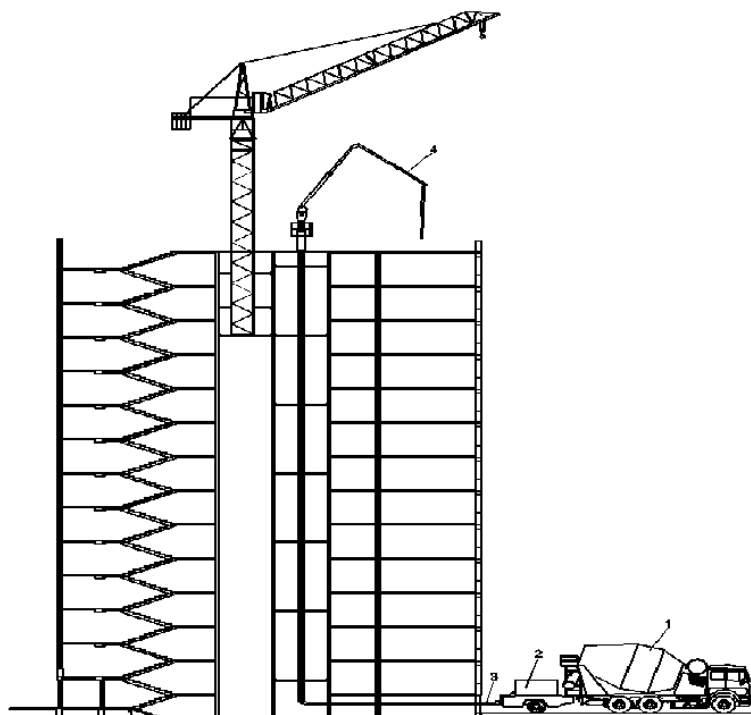
Второй момент, который необходимо учесть – это укладка бетона в опалубку. При устройстве конструкций нулевого цикла и первых этажей целесообразнее использовать бетононасосы с распределительной стрелой (рис. 1). Стационарный бетононасос с переналаживаемым бетоноводом позволяет подавать бетон на всю высоту здания.

Повышенные требования предъявляют к арматурным работам. Сварка, как правило, нежелательна. Вызвано это тем, что при сварке изменяются свойства металла и есть риск того, что шов лопнет. Все арматурные работы должны проводиться в соответствии с СП 267.1325800.2016 [4].

Опалубочные системы и технологии значительно влияют на темпы производства работ. При высоте более 100м работе кранов часто препятствуют ветер и туман, вследствие чего кран полноценно может работать 4 - 5 дней в неделю, а за это время нужно возводить не менее одного этажа. В этом случае целесообразны самоподъемные гидравлические опалубочные системы. Применение классических опалубочных систем не может обеспечить требуемых темпов строительства, максимум специальных технологий по опалубочным работам и обеспечению безопасных условий труда. Самоподъемные опалубки комплексно решают вопросы опалубливания и механической распалубки конструкций, перемещения конструкции по высоте, безопасных условий работ и защиты от ветра по всей высоте.

Для обеспечения безопасного и быстрого подъема грузов на высоту применяют специальное оборудование: грузовые краны, грузовые и грузопассажирские подъемники. При выборе оборудования стоит учитывать:

- объемно-планировочные решения строящегося здания;
- методы организации строительства;
- технико-экономические характеристики;
- массу конструкций;
- наличие зон ограничения работ на объекте.



*Рис. 1. Схема подачи бетонной смеси бетононасосом [1]:  
1 – автобетоносмеситель; 2 – бетононасос; 3 – бетоновод; 4 – автономная  
распределительная стрела*

Все башенные краны стоит связывать единой системой управления во избежание их столкновения.

Для кранов и подъемников необходимо обеспечить устойчивое положение. Подъемники с помощью монтажных связей прикрепляют к каркасу здания с наружной стороны. Краны могут быть установлены как снаружи, так и внутри ствола здания, либо в специально отведенном месте здания с предусмотренным технологическим проемом для крана. Проем может быть временным и после демонтажа крана заделанным.

Характеристики подъемника определяются на основании грузоподъемности, высоты здания, скорости подъема, опускания и размеров грузонесущего устройства. Люди могут транспортироваться только в грузопассажирских подъемниках.

Также необходимо учитывать особенности выполнения монолитных работ в зимнее время. Для бетононасоса необходимо устройство обогреваемого помещения,

утепление бетоновода специальными фартуками и принятие других мер с целью сохранения температуры бетонной смеси. Неблагоприятная температура для бетонной смеси – ниже 5 °С.

Жаркая сухая погода также влияет на технологию возведения. Увеличивается потребность в воде для улучшения подвижности бетона, а также расход цемента для получения требуемой прочности бетона. Быстрая потеря подвижности приводит к нарушению условий транспортировки бетонной смеси, ухудшению его прочностных характеристик, долговечности и других физико-механических свойств. В жарких условиях увеличивается скорость усадки бетона, что приводит к трещинам и влечет за собой ухудшение качества конструкции.

Приведенные рекомендации относятся к сухому жаркому климату с температурой выше 30 °С и относительной влажностью воздуха менее 50 %.

Помимо всего перечисленного, необходима тщательная проработка стройгенплана: производственно-бытовые городки, которые должны быть за пределами опасной зоны действия крана; временные сети электро- и водоснабжения; освещение строительной площадки в ночное время; временные дороги; открытые и закрытые склады; площадки укрупнительной сборки.

Сокращение сроков продолжительности строительства.

Для ускоренного возведения объекта стоит применять технологию ранней распалубки монолитных конструкций. Основой такой технологии является применение вертикальных страховочных элементов для поддержания конструкции перекрытия до набора прочности. Раннюю распалубку следует производить при наборе бетоном прочности 50 - 60 % от проектной с единовременным опиранием плиты на существующий этаж, имеющий требуемую несущую способность. Применяют следующие страховочные элементы: телескопические стойки, опорные системы, рамы и башни.

При возведении высотного здания с монолитными перекрытиями следует применять каскадную технологию. При наборе бетоном перекрытия минимальной прочности 5 МПа приступают к монтажу опалубки вышележащего этажа. При наборе перекрытием распалубочной прочности следует приступать к бетонированию вышележащих конструкций. Демонтировать стойки разрешено только после того, как плита станет способна воспринимать все действующие на нее нагрузки.

Оборудование, требуемое для возведения высотного здания.

Бетононасос. Служит для укладки бетона в опалубку. При высотном строительстве применяется стационарный бетононасос, способный обеспечить подачу бетона на всю высоту здания.

Самоподъемная опалубка (рис. 2). Передвигается вверх за счет гидравлического привода независимо от работы грузоподъемного крана. Основная область применения – возведение ядра жесткости.

Самоподъемная опалубочная система должна включать следующие основные элементы:

- внутренние и наружные панели опалубки стен;
- навесные подмости для бетонирования;
- рабочие и нижние подмости (только для опалубки лифтового блока и наружных стен);
- рабочую площадку с самофиксирующимися упорами (для опалубки лифтового блока);
- дверные проемообразователи (для опалубки лифтового блока);
- оконные проемообразователи (для опалубки наружных стен);
- гидравлическую подъемную систему;
- направляющие балки и анкерные механизмы;
- рихтующий передвижной узел.

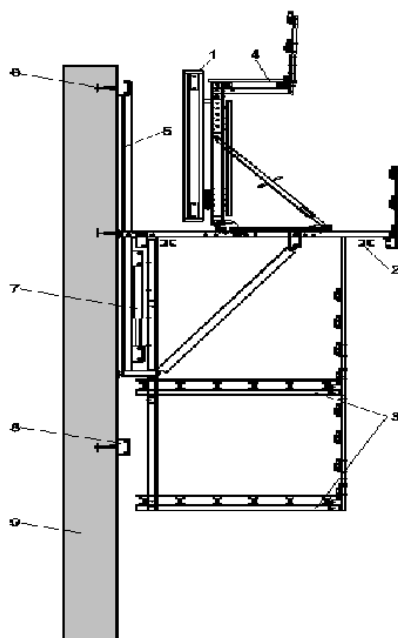
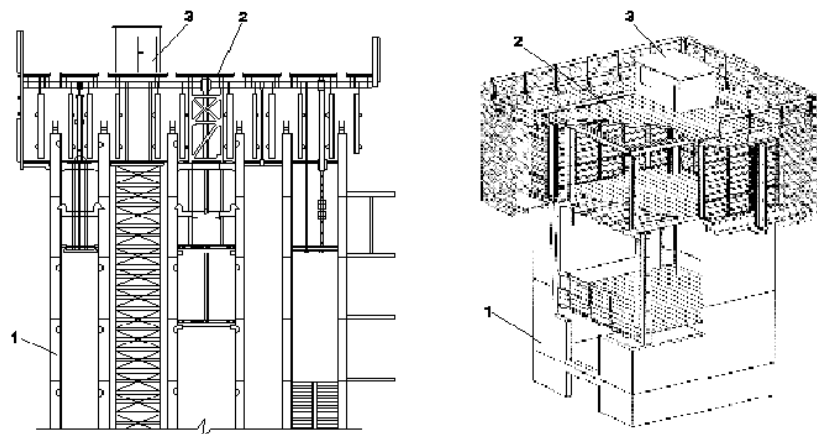


Рис. 2. Самоподъемная опалубка [1]:

- 1 – наружная опалубочная панель; 2 – рабочие подмости; 3 – нижние подмости;  
4 – подмости для бетонирования; 5 – направляющие балки; 6 – анкер;  
7 – гидравлический домкрат; 8 – навесной башмак с гравитационным механизмом;  
9 – монолитная стена

Самодвижущаяся опалубочная платформа (рис. 3). Применяется для возведения ядра жесткости высотного здания. Объединяет в себе опалубку, рабочие площадки и площадки под складирование. Полностью закрытая опалубочная система позволяет обеспечить выполнение строительно-монтажных работ при неблагоприятной погоде, а также максимальную безопасность труда рабочих. Также может применяться для сокращения сроков возведения стен.



*Рис. 3. Схема устройства самодвижущейся опалубочной платформы [1]:*

*1 – монолитные конструкции; 2 – опалубочная платформа;*

*3 – насосная гидравлическая станция*

## Литература

1. Коклюгина, Л. А. Технология и организация строительства высотных многофункциональных зданий: учебно-методическое пособие / Л. А. Коклюгина, А. В. Коклюгин. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2016. – 116 с.
2. Генералов, В. П. Особенности проектирования высотных зданий: учебное пособие / В. П. Генералов. – Самара: Самарск. гос. архитект.-строит. ун-т, 2009. – 296 с.
3. Денисова, А. П. Несущий остов многоэтажных и высотных зданий: учебное пособие / А. П. Денисова. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2009. – 108 с.
4. СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные»: [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456044284> (дата обращения: 12.04.2023). – Текст: электронный.
5. СП 48.13330.2019. Свод правил. Организация строительства. СНиП 12-01-2004 (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 24.12.2019 N 861/пр): [сайт]. – URL: <https://admtyumen.ru/files/upload/OIV/> (дата обращения: 12.04.2023). – Текст: электронный.

## **Перспективы применения фибробетонов на территории Краснодарского края**

Голова Татьяна Александровна, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Архитектура»;

Кошко Руслан Нурдинович, магистрант;

Хатков Самир Айдамирович, студент специальности

«Строительство уникальных зданий и сооружений»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет  
имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар

*В статье представлены основные сведения о фибробетоне, видах фибр и волокон. Рассматриваются преимущества и недостатки фибробетона, особенности его применения в условиях Краснодарского края.*

Краснодарский край занимает лидирующие позиции по объемам строительства среди других регионов Российской Федерации, Данный регион относится к сейсмоопасным территориям застройки, что необходимо учитывать при разработке объемно-планировочных и конструктивных решений здания. Поэтому при проектировании и возведении применяют строительные материалы с высокими показателями прочности. Одним из таких материалов является – фибробетон.

Фибробетон – это композитный материал, который состоит из бетона и содержит в себе добавку в виде равномерно распределённых фибр или волокон, служащих армирующим материалом. В качестве фибр применяют проволоочные изделия определенных размеров, а волокна выполняются из органических или синтетических материалов. Фибры или волокна добавляются в материал для улучшения его свойств, таких как прочность на растяжение, устойчивость к ударным нагрузкам, усталости и сколам.

Фибробетон широко используется в строительстве благодаря своим уникальным свойствам. В первую очередь этот материал отличается высокой прочностью, что делает его перспективным для использования в строительных конструкциях, подверженных высоким нагрузкам и вибрации. Также он обладает высокой стойкостью к воздействию агрессивных сред, что обуславливает его применение при строительстве мостов, тоннелей, дорог и других объектов, которые могут подвергаться воздействию химических или физических воздействий.

Кроме того, фибробетон имеет преимущества перед другими материалами благодаря своей устойчивости к температурным изменениям, влаге и огню, что позволяет использовать его в самых разных условиях и климатических зонах.

В целом, использование фибробетона в строительстве позволяет создавать более прочные и долговечные конструкции, что повышает безопасность и надежность зданий и сооружений. Поэтому данный материал становится все более популярным в строительной отрасли Краснодарского края и привлекает внимание исследователей, которые работают над улучшением его свойств и разработкой новых видов фибробетона для различных условий применения.

Фибробетон в промышленном и гражданском строительстве Краснодарского края применяется в основном для устройства ограждающих конструкций и напольных покрытий, предназначенных для увеличения срока их службы.

Экономичность фибробетона достигается в основном за счет высокой долговечности, износостойкости, срока эксплуатации, а также из-за повышения безопасности сооружений в сейсмических ситуациях и при пожарах [1].

Фибры можно разделить на две основные группы: стальные и неметаллические. К неметаллическим видам фибр относятся: базальтовые, углеродные, акриловые, стеклянные, полиамидные, полиэтиленовые, нейлоновые и др.

Производство фибробетона включает в себя процесс создания композитного материала на основе цемента, песка, воды и добавок в виде микроволокон, например, стекловолокна, полипропилена, стали, базальта и других материалов. Каждый вид фибробетона производится по своей технологии, которая зависит от используемых добавок.

Например, производство стального фибробетона начинается с того, что стальная проволока загружается в специальный аппарат, где она обрезается на маленькие отрезки одинаковой длины. Затем эти отрезки проволоки смешиваются с цементом, песком и водой, и полученная смесь заливается в формы. После затвердевания материала формы снимаются, и на выходе получается готовый стальной фибробетон.

Полипропиленовый фибробетон производится по аналогичной технологии, но вместо стальной проволоки используется специальное полипропиленовое волокно. Базальтовый фибробетон производится с использованием базальтового волокна, которое добавляется в смесь цемента, песка и воды.

Кроме того, существуют и другие технологии производства фибробетона, которые отличаются использованием различных добавок и особенностями производства. Например, производство стекловолокнистого фибробетона включает



использование стекловолоконной арматуры, которая увеличивает прочность и устойчивость к разрушению материала.

В целом, технологические процессы производства фибробетона заключаются в смешивании компонентов, добавлении специальных волокон или арматуры, заливке полученной смеси в формы и выдержке до полного затвердения материала. Каждый вид фибробетона имеет свои особенности производства, которые определяются свойствами используемых добавок и целевым назначением готового материала.

Фибробетон является одним из наиболее популярных строительных материалов в современном строительстве. Он обладает рядом преимуществ по сравнению с другими материалами, вот некоторые из них:

- Высокая прочность и устойчивость к различным воздействиям – благодаря наличию в составе фибробетона армирования из стекловолокна, металла или других материалов, он обладает повышенной прочностью и устойчивостью к различным нагрузкам и воздействиям, таким как вибрация, удары, температурные изменения, а также к разрушительному воздействию воды и других вредных факторов окружающей среды.

- Легкий вес – по сравнению с традиционными материалами, такими как бетон или кирпич, фибробетон является гораздо легче и имеет более низкий удельный вес, что облегчает его транспортировку и установку.

- Удобство в обработке и формовании – благодаря своей пластичности и формовочным свойствам фибробетон может быть легко обработан и использован для создания различных форм и конструкций, в том числе, малых архитектурных форм.

- Эстетический вид – фибробетон может имитировать различные поверхности и текстуры, такие как камень, дерево или мрамор, что делает его универсальным материалом для создания различных элементов и объектов в архитектуре.

- Долговечность и экологичность – фибробетон является долговечным материалом, который не требует замены в течение многих лет, а также экологичным, так как он может быть переработан и использован повторно.

Все эти преимущества делают фибробетон одним из наиболее перспективных материалов в современном строительстве, но, несмотря на многие преимущества, у фибробетона также есть свои недостатки. К ним можно отнести:

- Высокую стоимость производства. Производство фибробетона требует дополнительных затрат на приобретение волокон, оборудования и технологических процессов, что может повлиять на его стоимость.

- Сложность обработки. Из-за того, что фибробетон содержит волокна, он может быть сложен в обработке и требует использования специального оборудования.

- Трудности с соединением. Фибробетон может быть сложен для соединения с другими материалами, такими как сталь или бетон, что требует специальных технологий и затрат на соединение.

- Уменьшение прочности со временем. Хотя фибробетон может быть более прочным, чем традиционный бетон на ранних стадиях, его прочность может уменьшаться со временем, особенно при воздействии агрессивных сред и изменениях температуры.

- Необходимость правильного дозирования волокон. Неправильное дозирование волокон может привести к неравномерному распределению волокон в материале и ухудшению механических свойств фибробетона.

Важно упомянуть, что изделия из легкого бетона как конструкционного материала на рынке строительных услуг представлены в виде мелкоштучных элементов [2].

Учитывая достоинства и недостатки, фибробетон как конструкционный материал не получил широкого применения на территории Краснодарского края, как и в целом по России. Это обуславливается дороговизной данного вида бетона в отличие от традиционных бетонов, а также отсутствием технологий производства в данном регионе.

Однако проведенные исследования на территории Краснодарского края из фибробетона с использованием волнистой фибры показали положительные результаты – увеличение физико-механических характеристик по прочности до 20 % на сжатие и до 25 % на растяжение [3].

Учитывая специфику региона строительства, необходимо проводить дальнейшие исследования использования фибробетона с применением местных материалов для возведения несущих элементов зданий.

## Литература

1. Окольников, Г. Э. Анализ свойств различных видов фибробетонов / Г. Э. Окольников, А. П. Белов, Е. В. Слинкова // Системные технологии. – 2018. – № 1(26): [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-svoystv-razlichnyh-vidov-fibrobetonov> (дата обращения: 24.04.2023). – Текст: электронный.

2. Голова, Т. А. Легкие фибробетоны на основе отходов местных производств / Т. А. Голова, И. А. Магеррамова // Сборник статей XXII Международной научно-

технической конференции «Эффективные строительные конструкции: теория и практика». – Пенза: АННОО «Приволжский Дом знаний», 2022. – С. 53-56.

3. Тамов, М. М. Сверхвысокопрочный фибробетон на основе материалов, доступных в Краснодарском крае / М. М. Тамов, М. И. Ф. Салиб // Сборник тезисов Краевой отчетной конференции грантодержателей Кубанского научного фонда. – Краснодар: УНО «Кубанский научный фонд», 2021. – С. 88-90.

4. Применение фибробетона в железобетонных конструкциях / И. В. Белоусов, А. В. Шилов, З. А. Меретуков, Л. Д. Маилян // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 4(47): [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-fibrobeta-na-v-zhelezobetonnyh-konstruktsiyah> (дата обращения: 24.04.2023). – Текст: электронный.

УДК 692.1; 69.001.5

**Анализ международного опыта сейсмостойкого строительства  
и инновационные принципы повышения сейсмостойкости  
технически сложных объектов на слабых грунтах**

Землянский Анатолий Андреевич, доктор технических наук,  
профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство»;

Андреева Наталья Викторовна, старший преподаватель кафедры  
«Промышленное и гражданское строительство»;

Жильцов Александр Николаевич, студент специальности  
«Строительство уникальных зданий и сооружений»;

Жанарстанов Вилена Ренатовна, 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 приведены сведения о международном опыте строительства сейсмостойких зданий и сооружений, применяемой элементной базе и новых инновационных принципах повышения сейсмостойкости уникальных зданий и сооружений.*

В настоящее время все нормативные требования к сейсмостойким зданиям отражены в СП 14.13330.2018 [1]. На практике сейсмостойкое строительство в основном осуществляется в сейсмоопасных районах с учетом воздействия

сейсмических (инерционных) сил различного происхождения на здания и сооружения. Во всех документах и чертежах, используемых при сейсмическом строительстве, используется печать «С» или более широкий и точный термин «антисейсмическое строительство». Интенсивность землетрясений в разных странах оценивается по разным сейсмическим шкалам. Согласно шкале, принятой в России (ГОСТ Р 57546-2017) в [2], землетрясения с интенсивностью 7 баллов и более считаются опасными для зданий и сооружений. В районах, где максимальная прогнозируемая интенсивность землетрясения (сейсмичность, сейсмическая активность) не превышает 6 баллов, специальные антисейсмические меры (при проектировании и строительстве) обычно не предусматриваются. Сейсмическая активность таких районов определяется по карте сейсмического районирования. Для того, чтобы уточнить сейсмическую активность строительной площадки (участка), нужно провести надлежащее исследование (см. сейсмическое микрорайонирование), поскольку очень неэкономично осуществлять строительство в районах, где сейсмическая активность превышает 9 баллов. Поэтому в существующих нормах строительство ограничено зоной сейсмической активности в 7 - 9 баллов. Обеспечение полной сохранности зданий и сооружений от землетрясений обычно требует больших затрат, но есть случаи, когда это практически неосуществимо. Учитывая, что землетрясения (особенно сильные) происходят относительно редко, нормы допускают возможность повреждения элементов конструкций, не приводящих к угрозам для безопасности находящихся в них людей или сохранности ценного оборудования. Степень воздействия землетрясений на здания и сооружения в значительной степени зависит от грунтов. Наиболее благоприятными в отношении сеймики являются прочные скальные грунты. Сильно выветренные или нарушенные геологическими процессами породы, осадочные грунты, районы гравия, зыбучие пески, горных выработок неблагоприятны, а иногда они вообще не подходят для возведения фундамента сооружения; в случае строительства в таких геологических условиях необходимо укрепить фундамент и принять дополнительные меры по защите сооружения, что, конечно же, приведет к увеличению затрат на строительство.

Чтобы обеспечить сейсмостойкость сооружения, необходимо позаботиться о выборе благоприятной, с точки зрения сейсмологии, строительной площадки до начала самого строительства. Следует разработать наиболее разумную, рациональную конструктивную и планировочную схему сооружения с учётом использования специальных конструктивных мероприятий, повышающих защиту элементов и узлов от пластических деформаций, что даст значительное увеличение сопротивляемости сооружения действию сейсмических сил. Новые технологии производства работ и

высокое качество строительных материалов также повышают сейсмостойкость сооружения.

На практике для удовлетворения требованиям безопасности эксплуатируемых зданий с недостаточной сейсмостойкостью следует применять следующие инженерные методы и решения:

- уменьшение остаточного ресурса и срока эксплуатации здания;
- изменить схему пространственного планирования, разделить здания со сложными конструктивными схемами на отсеки упрощенной формы с сейсмостойкими соединениями, усилить верхние слои здания для увеличения общей жесткости здания и увеличить устройство элемента жесткости для обеспечения симметричного расположения жесткости в отсеках и уменьшения расстояния между ними;
- дополнительно усиливая стены, рамы и вертикальные связи для обеспечения надежного восприятия дополнительных усилий от расчетных сейсмических воздействий;
- увеличение надежности соединения элементов сборных перекрытий устройством или дополнительным усилением антисейсмических поясов;
- обеспечение дополнительных связей между несущими стенами в различных направлениях, а также между перекрытиями;
- дополнительное усиление элементов соединения между сборными конструкциями стен;
- изменение конструктивной схемы здания, в том числе путем введения системы дополнительных конструктивных элементов;
- снижение массы здания и применение сейсмоизоляции, пассивного демпфирования и других активных методов регулирования негативных сейсмических реакций;
- и наконец, кардинальное изменение функционального назначения здания (снижение уровня ответственности).

В случае нарушения накопленного опыта антисейсмического строительства очень часто возникают серьезные последствия с катастрофическими материальными и человеческими потерями, в частности (рис. 1).



*Рис. 1. 20-этажный жилой дом, упавший при землетрясении в Чили в 2010 году*



*Рис. 2. Гараж в Нортридже после землетрясения 1994 года*



*Рис. 3. Штаб-квартира ООН в Порт-о-Пренс, Гаити после землетрясения 12 января 2010 г.*

Согласно действующей нормативной литературе, оценка сейсмостойкости различных зданий и сооружений производится на практике либо в полевых, натурных условиях, либо на моделях на сеймоплатформе, при этом и тот и другой вид испытания взаимно дополняют и обогащают друг друга.

С целью повышения сейсмостойкости высотных, уникальных и технически сложных объектов на практике используют три вида систем виброгашения указанных зданий и сооружений: пассивные; активные и гибридные.

К пассивным системам виброгашения можно условно отнести сухую кладку инков в Перу и арабов в Египте при сооружении различных военных крепостей, а также пассивное демпфирование сейсмических воздействий специальной вертикальной конфигурацией возводимых зданий в виде пирамид, что отражено на рис. 4, 5 и 6.



*Рис. 4. Безрастворная кладка стен в замке Солнца в Мачу-Пикчу, Перу*

Уникальными особенностями зодчества инков и арабов является максимально тщательная подгонка каменных блоков (часто неправильной формы и достаточно разных размеров) друг к другу без использования соединительных строительных растворов. Возможно, благодаря именно этим особенностям кладки не было резонансных частот и точек концентрации напряжений, обладая дополнительной прочностью свода. При землетрясениях средней силы, а также при небольших толчках такая кладка оставалась практически недвижимой, при сильных же – камни лишь дрожали, оставаясь на своем месте, не теряя взаимного между собой расположения, а при окончании землетрясения укладывались в прежнем порядке.



*Рис. 5. Сейсмически прочная и массивная Пирамида Кукулькана города Чичен-Ица*

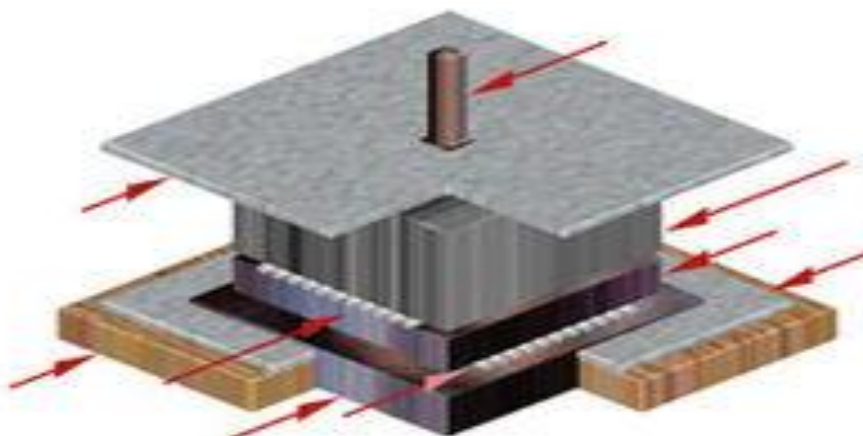




*Рис. 6. Демпфирование вертикальной конфигурацией в здании Transamerica Pyramid в Сан-Франциско, Калифорния*

К активным системам виброгашения можно отнести следующие виды виброгасителей:

- специальные сейсмоактивные амортизаторы на катках;
- инерционные гасители колебаний в виде маятников;
- гистерезисные демпферы различной конструкции (жидкостный, твердый вязкоупругий, газовый, пружинный, свинцово-резиновый и т. д.), которые представлены на рис. 7-11.



*Рис. 7. Конструктивная схема сейсмоактивного амортизатора*





*Рис. 8. Конструктивная схема инерционно – маятникового гасителя колебаний*



*Рис. 9. Гистерезисный, жидкостно-вязкоупругий демпфер в сейсмостойких зданиях*

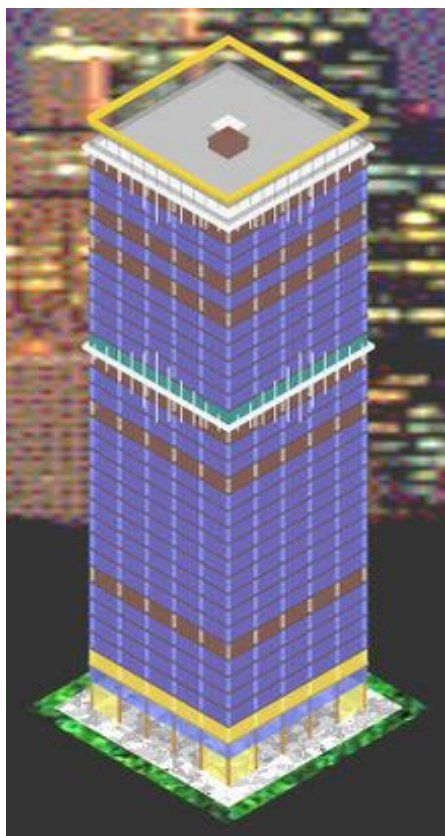


*Рис. 10. Вибрационное испытание свинцово-резиновой гистерезисной опоры*

Наконец, к гибридным системам виброгасителей можно отнести следующие подходы:

- многочастотные успокоители колебаний МУК;

- эффект приподнятого (парящего) основания зданий (ПОЗ). Последние представлены соответственно на рис. 11 и 12.



*Рис. 11. Высотное здание с многочастотным успокоителем МУК*



*Рис. 12. Конструктивные особенности приподнятого основания здания (ПОЗ)*

Учтено, что сейсмоустойчивость зданий и сооружений напрямую зависит от следующих случаев:

- частотных характеристик, интенсивности и продолжительности ожидаемого землетрясения;
- геологических условий площадки будущего строительства;

- динамических параметров самого здания или сооружения.

Авторы настоящей статьи предложили принципиально новый метод повышения сейсмоустойчивости технически сложных объектов, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях.

При этом в основу предложенного метода внесены следующие принципы повышения сейсмоустойчивости технически сложных объектов:

-первый принцип связан с применением системы инновационного кольцевого армирования слабого грунта на основе активного преднапряжения последнего и позволяющего увеличить несущую способность слабого грунта практически на порядок;

-второй принцип связан с тем, что на усиленном слабом основании устраивается щебенно-гравийная подушка с соответствующими критически эффективными параметрами, а затем на указанной подушке возводится несущая фундаментная плита;

-третий принцип связан с применением двух буферных фундаментных плит, между которыми в зонах колонн устраиваются сейсмоактивные катковые амортизаторы, а вся горизонтальная полость между двумя плитами выполнена абсолютно герметичной с помощью сверхтонкой металлической оболочки, заполненной вязкоупругой жидкостью с некоторым избыточным давлением, уменьшающим косвенно давление на нижнюю плиту от сейсмоактивных катковых амортизаторов, синхронно расположенных под верхней плитой практически под каждой монолитной колонной, что приводит к возникновению эффекта «парящего» здания, что резко увеличит сейсмоустойчивость уникальных, высотных, ядерных и экологически опасных технически сложных зданий и сооружений.

Все технические решения данного метода и элементы базовых принципов повышения сейсмоустойчивости уникальных зданий, предложенные профессором А.А. Землянским, защищены соответствующими патентами на изобретения. Широкомасштабные эксперименты, выполненные авторами с моделями высотных и технически сложных зданий и сооружений, показали высокую эффективность данного метода, характеризуемого одновременно и достаточно низкими затратами на возведение рассматриваемых систем активного виброгашения.

В настоящее время в мире существуют следующие мировые исследовательские центры по сейсмостойкому строительству:

- Earthquake Engineering Research Center (Научно-исследовательский центр сейсмостойкой техники организация в районе Даань, Тайбэй, Тайвань);

- Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) (Тихоокеанский центр сейсмотехнических исследований (PEER));
- John A. Blume Earthquake Engineering Center (Стэнфорд, штат Калифорния);
- Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering (CUREE) (Консорциум университетов для исследований в области сейсмостойкости);
- Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (MCEER) (Многопрофильный центр сейсмотехнических исследований (MCEER));
- Earthquake Engineering Research Projects of CSUN (Исследовательские проекты CSUN в области сейсмостойкости);
- George E. Brown, Jr. Network for Earthquake Engineering Simulation (Джордж Э. Браун-младший, сеть инженерного моделирования землетрясений);
- USGS Earthquake Hazards Program (Программа Геологической службы США по опасности землетрясений);
- Office of Earthquake Engineering at Caltrans (Управление сейсморазведки в Caltrans);
- Earthquake Engineering Research Centre of Iceland (Исследовательский центр сейсмостойкой техники Исландии);
- Earthquake Engineering New Zealand (Сейсморазведка в Новой Зеландии);
- Canadian Research Centers and Research Groups on Earthquake Engineering (Канадские исследовательские центры и исследовательские группы по сейсмостойкой инженерии);
- Hyogo Earthquake Engineering Research Center (Центр исследований землетрясений в Хиого);
- Laboratory for Earthquake Engineering of NTUA (Лаборатория сейсморазведки NTUA);
- Earthquakes and Earthquake Engineering in The Library of Congress (Землетрясения и сейсморазведка в Библиотеке Конгресса);
- International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (Международный институт сейсмотехники и сейсмологии);
- National Center for Research on Earthquake Engineering (Национальный центр исследований в области сейсмостойкости).

Однако аналогов предложенному авторами настоящей работы методу повышения сейсмостойкости рассматриваемых объектов в настоящее время не выявлено, что свидетельствует о неординарной уникальности данного метода и несопоставимо высокой эффективности.

## Литература

1. СП 14.13330-2018 Строительство в сейсмических районах. – М.: АО «НИЦ «Строительство», 2018. – 165 с.
2. ГОСТ Р 57546-2017 Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – М.: Стандартинформ, 2017. – 32 с.
3. Уздин, А. М. Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства зданий и сооружений / А. М. Уздин, Т. А. Сандович, Аль-Насер-Мохомад Самих Амин. – СПб: ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1993. – 176 с.
4. Айзенберг, Я. М. Сейсмоизоляция высоких зданий / Я. М. Айзенберг // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2007. – № 4. – С. 41-43.
5. Авидон, Г. Э. Особенности колебаний зданий с сейсмоизолирующими фундаментами А. М. Курзанова и Ю. Д. Черпинского / Г. Э. Авидон, Е. А. Карлина // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2008. – № 1. – С. 42-44.

УДК 621.642

### **Глобальная оценка главных причин аварий резервуаров большого объёма**

Землянский Анатолий Андреевич, доктор технических наук,  
профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство»;

Андреева Наталья Викторовна, старший преподаватель кафедры  
«Промышленное и гражданское строительство»;

Жуков Алексей Дмитриевич, студент специальности  
«Строительство уникальных зданий и сооружений»;

Жанарстанова Вилена Ренатовна, студент направления «Строительство»

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

*Представленная работа систематизирует причины аварий резервуаров большого объёма из накопленного опыта их эксплуатации. Приводится анализ натурных наблюдений и априорной информации, показывающий, что возникновение аварийных и предаварийных ситуаций резервуаров связано, главным образом, с деформациями грунтового основания, конструкций и материала; перенапряжением материала; различными нагрузками и воздействиями, не учитываемыми или непредвиденными в ходе жизненного цикла строительного объекта. Сделаны выводы, что наибольшая доля эксплуатационной надёжности резервуаров закладывается на*

*стадии проектирования. Обеспечение качественных характеристик должно быть выдержано при возведении с применением эффективных технологий возведения и при эксплуатации путём соблюдения требований к эксплуатации и выполнения систематического мониторинга строительных объектов во времени.*

В последние годы XX и в начале XXI века в России и за рубежом зарегистрированы массовые случаи отказов резервуаров емкостью до 100 тыс. м<sup>3</sup>. В работах В.В. Филиппова, В.А. Прохорова, С.В. Аргунова и Н.И. Буслаевой [1] проведен детальный анализ отказов и предаварийных ситуаций нефтеналивных резервуаров на нефтебазах республики САХА (Якутия). Так, августе 1991 г. во время заполнения резервных резервуаров в п. Усть-Куйга последние получили значительные повреждения и вышли из строя. При этом во время аварии температура окружающей среды достигла + 40 °С, что привело к образованию трещин в уторных соединениях трех резервуаров объемом от 700 до 2000 м<sup>3</sup>. Геодезическая съемка, выполненная после аварии, установила, что максимальное значение разности отметок в пределах разрушенных уторных соединений составила более 294 мм.

В 1990 г. на предприятии «Якутскнефтепродукт» и Нижне-Бестяхской нефтебазы было обследовано техническое состояния более 20 резервуаров объемом от 1000 до 3000 м<sup>3</sup> [2]. При этом в ходе сезонного оттаивания и промерзания грунтов РВС была выявлена максимальная разность осадок окраек по периметру днища от 102 мм до 258 мм, что также явилось причиной возникновения серьезных аварийных ситуаций.

Одновременно в указанных резервуарах было выявлено множество дефектов, трещин и непроваров сварных швов как в уторном соединении, так и в днище.

Детальный анализ результатов комплексных обследований РВС и полученных материалов свидетельствует о том, что наиболее часто предаварийные либо аварийные ситуации возникают в самом опасном и перегруженном – уторном – соединении стенки с днищем. Последнее объясняется тем, что в уторной зоне имеет место сложно-напряженное состояние, обусловленное наличием как кольцевых растягивающих усилий, так и меридиональных напряжений изгиба от краевых моментов, а также малоцикловой усталостью металла в перегруженном сварном шве и наличием «остаточных» напряжений как в теле, так и в околошовной зоне сварного шва уторного соединения.

В Англии в 1966 году также произошло несколько разрушений резервуаров вместимостью от 8 до 24 тыс. м<sup>3</sup>. Анализ показал, что причиной разрушения резервуаров явилось возникновение хрупких трещин в сварных швах окраек и в уторной зоне [3, 4].

Вблизи Роттердама в 1968 году разрушились три резервуара, каждый вместимостью по 58 тыс. м<sup>3</sup>. Перед разрушением были замечены небольшие утечки из-под окраек.

Срочно было принято решение об опорожнении резервуаров. Однако это сделать не удалось, так как разрушение произошло очень быстро. Экспертами фирмы «ESSO» был установлен механизм разрушения, который представлял собой самоускоряющийся процесс развития трещины.

Развитие начальной трещины в окрайках и днище чаще всего возникает в зоне сварных соединений – это подтвердило испытание вертикального резервуара, во время которого появились трещины в сварных швах окраек вблизи стенки резервуара. При этом было установлено, что напряжения возрастают с увеличением уровня налива воды, а скорость налива во время испытания была такой, что достижение предельных упругих и пластичных напряжений разрушения в сварных швах окраек и уторном шве происходило быстрее, чем резервуар был наполнен до полной высоты. В результате утечки жидкости через днище грунт в этих местах снизил свою плотность на 40 - 50 % и стал при этом непригодным для поддержания рабочего столба жидкости внутри резервуара. Это усугубило разрушение, трещины раскрылись, увеличилось насыщение грунта жидкостью, процесс ускорился. Состояние неустойчивости под весом содержимого резервуара привело к тому, что окрайки днища просели, а так как стенка имеет большую жесткость, чем днище, произошли значительные разрывы по длине между стенкой и дном резервуара, и содержимое его разлилось за десятки секунд по окружающей акватории.

Аналогичные аварии произошли в Японии. В девяностых годах разрушились резервуары вместимостью 65 и 80 тыс. м<sup>3</sup>, аварии были вызваны также трещинами, возникшими в уторных швах. Резервуар вместимостью 80 тыс. м<sup>3</sup> был введен в эксплуатацию в октябре 1971 года и работал до октября 1974 года, выдержав за этот период 23 цикла нагружений, разрушился из-за перенапряжения опорного узла [5]. В 1984 году произошла аналогичная авария резервуара вместимостью 38 тыс. м<sup>3</sup> из-за трещины в опорном узле, и сырая нефть вылилась в залив Сето. При этом трещина длиной 10 м и шириной 15 см образовалась между стенкой и дном резервуара.

В Японии 18 декабря 1974 года также произошла крупная авария резервуара вместимостью 50 тыс. м<sup>3</sup> (фирма «Мицубиси Сэки»). Резервуар был установлен на песчаном основании, а подстилающий основание грунт усилен буронабивными сваями. Трещины возникли в окрайках, в зоне наибольших изгибающих моментов в районе уторного шва и развивались в двух направлениях – параллельно стенке и в радиальном направлении резервуара.

Расчеты, проведенные экспертами на соседнем резервуаре, показали, что рабочие напряжения в окрайках и в зоне уторного шва находились в пластической области, а расчеты на малоцикловую усталость по методике Американского нефтяного института позволили сделать вывод о том, что при таком напряженно-деформированном состоянии резервуар мог выдержать не более 40 циклов нагружения. Это соответствовало действительности – резервуар находился в эксплуатации 9 месяцев и выдержал 20 циклов нагружения. Экспертами было отмечено, что такие напряжения в окрайках могли быть достигнуты за счет ряда воздействий: гидростатического давления; температурного градиента, который составлял  $\Delta 37^\circ\text{C}$ , а также неравномерной осадки основания. Через трещины, образовавшиеся в окрайке, мазут вытекал настолько быстро, что внутри резервуара образовался вакуум, в результате чего стенка и кровля резервуара были смяты, и в кровле образовался значительный разрыв. Нижний пояс стенки резервуара толщиной 27 мм и окрайки толщиной 12 мм были выполнены из высокопрочной стали марки HW-50 ( $\sigma_{\text{в}} = 500 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_{\text{в}} = 620 \text{ МПа}$ ), остальные конструкции резервуара – из стали марки SS-41.

В Японии во время землетрясения разрушились три крупных резервуара. Эпицентр землетрясения находился на расстоянии 140 км от нефтебазы. Разрушение произошло сразу после прохождения основной ударной волны. Часть разрушений была общей для большинства резервуаров, что было подтверждено наличием трещин и разрывов в местах сварки окраек со стенкой резервуара. В результате образовавшихся разрывов вся нефть, хранящаяся в резервуарах, вытекла менее чем за 50 секунд.

В Японии произошла авария резервуара вместимостью 32 тыс. м<sup>3</sup>. Трещина длиной 70 см образовалась в окрайке под действием краевых моментов и изгибающих усилий. Внутри резервуара трещина прошла параллельно стенке на расстоянии 80 мм от нее. Трещина была обнаружена по выходу пятен нефти из-под резервуара через 1,5 месяца после ввода его в эксплуатацию. Опорный узел резервуара опирался через гидрофобный слой на бетонное кольцо [5].

В штате Пенсильвания в резервуарном парке, принадлежащем компании Ашленд Ойл Инкорпорейтед, 2 января 1988 г. произошло разрушение резервуара вместимостью 15 тыс. м<sup>3</sup>. Резервуар был отремонтирован в августе 1987 г. Резервуар разрушился, будучи заполненным дизельным топливом. Таким образом, в ближайшую реку вылилось около 11,5 тыс. м<sup>3</sup> дизельного топлива. Частными и государственными агентствами компании было предъявлено множество исков на сумму 18 млн долл. Причиной аварии была хрупкая трещина размером с 10-центовую монету, образовавшаяся под воздействием избыточного тепла сварки и остаточных сварочных



напряжений. Хрупкость стали около трещины возросла после сварки оболочки во время реконструкции резервуара. В день аварии в полдень температура стали резервуара достигла 38 °С, что способствовало хрупкому разрушению.

В дальнейшем под воздействием веса содержимого резервуара трещина начала увеличиваться, и в области соединения днище – стенка произошло разрушение. Содержимое резервуара резко вылилось наружу, и бурный поток дизельного топлива разрушил обвалование и смёл порожний резервуар, стоящий в 30 м от первого.

На нефтеперерабатывающем заводе в Великобритании произошла авария резервуара диаметром 44 м и высотой 16,5 м, в котором хранили смесь сырой нефти, нефтесодержащих стоков и дренажных сбросов после очистки резервуаров и танкеров [6]. Смесь периодически откачивали из резервуара с предварительным подогревом до 80 °С. Разрушение резервуара произошло в результате разрыва сварных швов между листами днища. При этом в днище образовалось отверстие, а под днищем яма глубиной 1,8 м и площадью около 12 м<sup>2</sup>. Одновременно произошло повреждение трубопроводов подвода тепла и дренажного сброса. Плавающая крыша резервуара сильно покоребилась, а нижние листы цилиндрической обечайки погнулись и в некоторых местах потрескались.

В результате сопоставительного анализа был сделан вывод, что непосредственной причиной разрушения резервуара было частое, хотя и незначительное перенапряжение сварных швов в днище и прилегающей части обечайки вследствие систематического перегрева нижней зоны резервуара. Установлено также, что в отдельных местах днища были небольшие и неглубокие каверны, которые замазали краской, после чего была возобновлена эксплуатация резервуара. Обстоятельный анализ гидродинамической природы образования этих каверн не производился.

В целях оценки опасности образования трещин в сферических резервуарах, используемых для хранения сжиженных нефтяных газов, фирма Калтекс Петролеум (США) провела обследование 141 резервуара. Из них в 43 резервуарах обнаружены трещины глубиной до 12 мм и длиной до 1000 мм. Большинство обнаруженных трещин имели длину до 25 мм и глубину до 3 мм и находились в зоне сопряжения сферической стенки резервуара с кольцевой системой передачи суммарной нагрузки на грунтовое основание.

Анализ условий образования трещин показал, что во многих случаях микроразождение трещин происходило еще на стадии изготовления стальных листовых заготовок, использовавшихся при сооружении резервуаров. Некоторые из таких трещин

распространялись затем в металле вследствие перенапряжения стенки в нижней зоне и водородного охрупчивания, обусловленного воздействием увлажненного сероводорода.

Резервуарные стали с пределом прочности более 500 МПа в процессе эксплуатации могут проявлять значительную восприимчивость к водородному растрескиванию металла в зоне термического воздействия сварных швов. При этом послесварочная термообработка сварных соединений не всегда оказывается эффективной в снижении потенциальной опасности подобного растрескивания, поскольку ее эффективность зависит от химического состава и режима сварки. Тем не менее, в ряде стран послесварочная термообработка сварных соединений является обязательной, поскольку она снижает остаточные напряжения, которые могут способствовать хрупкому разрушению.

Многолетний зарубежный и отечественный опыт эксплуатации резервуаров с плавающей крышей показал их преимущества по сравнению с резервуарами других типов, а также выявил и некоторые несовершенства их конструкций. Выявленное несовершенство отдельных узлов обследованных резервуаров и отсутствие активного мониторинга их НДС резко снижает общую эксплуатационную надежность исследуемых объектов и приводит к необходимости разработки принципиально новых конструктивных схем РВС для эффективного повышения работоспособности последних.

Отказы в работоспособности плавающей крыши наиболее часто проявляются в зимний и весенний периоды во время заполнения или опорожнения резервуара. Отказы вызываются в основном креном плавающей крыши при неравномерном распределении снеговой нагрузки по ее поверхности, а также нарушением герметичности коробов и отклонением направляющих труб от вертикальной оси [7].

Ранней весной под воздействием солнечных лучей происходит таяние освещенного солнцем участка снегового покрова, а образовавшаяся талая вода скапливается под снегом в наиболее низкой зоне плавающей крыши. В затененной от стенки резервуара части крыши снеговой покров сохраняется некоторое время. В результате совместного воздействия снегового покрова и скопившейся талой воды возрастает неравномерность распределения нагрузки на крышу, что может привести к подтоплению или заклиниванию крыши на направляющих стойках. К сожалению, существующие методы расчета плавающей крыши резервуара не учитывают возможное неблагоприятное сочетание внешнего воздействия на крышу указанных нагрузок, а существующие технические возможности не позволяют эффективно удалять с крыши все климатические осадки или их равномерно распределять.

Низкую работоспособность плавающей крыши, связанную с отклонением ее направляющих стоек от вертикали, по-видимому, можно объяснить деформацией стенки и днища резервуара в результате его неравномерной осадки, а также некачественным выполнением монтажных операций. При чередовании операций заполнения - опорожнения осадка основания резервуара в зависимости от характеристик грунта в средней полосе нашей страны достигает значительной величины. Зимой величина осадки уменьшается, а весной, когда солнечные лучи прогревают основание с одной стороны в большей степени, может произойти неравномерная осадка резервуара. Многолетняя эксплуатация резервуара при периодических осадках основания приводит к недопустимым перенапряжениям и неравномерным деформациям конструкции.

Деформация корпуса резервуара часто приводит к отклонению направляющих стоек плавающего покрытия от вертикали. В результате плавающее покрытие заклинивает между направляющими стойками, и при откачке нефти из резервуара покрытие может зависнуть над жидкостью. Произвольный срыв покрытия вниз после зависания может стать причиной разрушения плавающей крыши или возникновения пожара из-за образования искры.

Отказы в работе плавающих крыш могут произойти на практике из-за неравномерно распределенной талой воды на его поверхности. Причинами отказа плавающей крыши часто оказываются заклинивание катучей лестницы и выход из строя системы сброса ливневых вод. Кроме того, имели место случаи затопления крыш из-за некачественного выполнения сварных соединений в коробах и центральной части, некачественного уплотнения люк-лазов и опорных стоек в крыше, образования трещин в зоне сварных соединений.

По материалам диагностических обследований стальных вертикальных резервуаров, охвативших более 300 резервуаров вместимостью от 5000 до 50000 м<sup>3</sup>, произведен анализ наиболее характерных повреждений. При этом было установлено, что наиболее опасными являются дефекты корпуса резервуара, особенно в зоне сопряжения стенки и днища, а наиболее массовыми являются технологические повреждения, которые при длительной эксплуатации РВС могут перерасти в доминирующие повреждения, приводящие на практике к разрушению сооружения.

С целью системного анализа аварийных ситуаций РВС большого объема в настоящей работе выполнена оценка напряженно-деформированного состояния резервуаров, обусловленного неравномерными осадками и наличием больших горизонтальных перемещений в грунтовом основании. В ходе произведенной оценки автором выявлена достаточно частая седлообразность деформационного поведения

грунтового основания под резервуаром большого объема [8]. Было установлено, что на вертикальную осадку резервуаров оказывают активное влияние горизонтальные перемещения грунта в исследуемом основании.

Максимальные их величины были зафиксированы на глубине около 5 м от поверхности и составили на конец испытаний 19,5 см при максимальной величине вертикальной осадки на этот момент, равной 27,5 см. Таким образом, можно предположить, что значительная часть осадки резервуара произошла за счет отжатия грунта из массива основания резервуара в горизонтальном направлении.

Общий анализ вышеприведенного материала позволил выявить, что все многочисленные причины разрушения РВС большого объема могут быть систематизированы и объединены соответственно на стадии проектирования, возведения и эксплуатации, как показано на рис. 1.

При этом, по мнению авторов данной работы, на стадии проектирования РВС на уровень их эксплуатационной надежности и безаварийности могут активно влиять:

- достоверность в оценке уровня эксплуатационных нагрузок и внешних воздействий на объект;
- адекватность математических моделей, используемых для оценки прочности, устойчивости и работоспособности выбранных несущих и ограждающих конструкций резервуара;
- эффективный выбор рабочих марок стали.

На стадии возведения причины разрушения резервуаров очень часто связаны с несовершенством методов и технологий изготовления, монтажа и контроля качества выполненных работ, а также с неосознанным созданием различного рода концентраторов напряжений в различных несущих элементах резервуара как при конструировании, так и при его возведении.

На стадии эксплуатации все причины разрушения РВС с плавающими крышами можно условно разбить на:

- причины, связанные с проявлением конструктивных и технологических несовершенств, заложенных в резервуары в ходе их проектирования и возведения;
- причины, обусловленные возникновением недопустимо больших абсолютных и неравномерных деформаций грунтового основания, которые просто не были учтены при проектировании и гидроиспытании;
- причины, связанные с циклическим нагружением и разгрузением сооружения, процессом старения и коррозии металла резервуара.

Если не учитывать активную коррозию металла РВС, заложенную в ходе проектирования на весь запланированный период его безаварийной работы, то все причины разрушения РВС можно условно сократить до минимума, выделив только несколько генеральных направлений. В результате натурных и априорных исследований, выполненных авторами, с анализом более 216 аварийных резервуаров полученная информация был систематизирована и обобщена, что позволило выделить в табл. 1 только наиболее весомые и доминирующие причины разрушения РВС.

Таблица 1

Классификация доминирующих причин разрушения резервуаров

| Наименование доминирующих причин аварий резервуаров                                                                                                                                                                        | Частота события | Процент повторения |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------|
| 1. Недопустимо большие и неравномерные осадки грунтового основания                                                                                                                                                         | 99              | > 46 %             |
| 2. Наличие концентраторов напряжений в несущих и ограждающих конструкциях РВС из-за несовершенства конструкции резервуаров и технологий их возведения                                                                      | 45              | $\geq 21$ %        |
| 3. Наличие низкочастотной вибрации и неравномерного нагружения плавающих крыш снеговой нагрузкой с неоднородным трением в затворах, приводящих к заклиниванию и обрушению крыш с последующим их разрушением и затоплением. | 38              | $\leq 18$ %        |
| 4. Наличие дефектов в материале и конструкции РВС из-за несоответствия используемого материала сертификационным требованиям                                                                                                | 19              | $\geq 9$ %         |
| 5. Нарушение технологии изготовления и возведения РВС                                                                                                                                                                      | 10              | $\geq 5$ %         |
| 6. Грубые ошибки в аналитических расчетах и проектировании РВС, особенно по II предельному состоянию                                                                                                                       | 2               | $\geq 1$ %         |

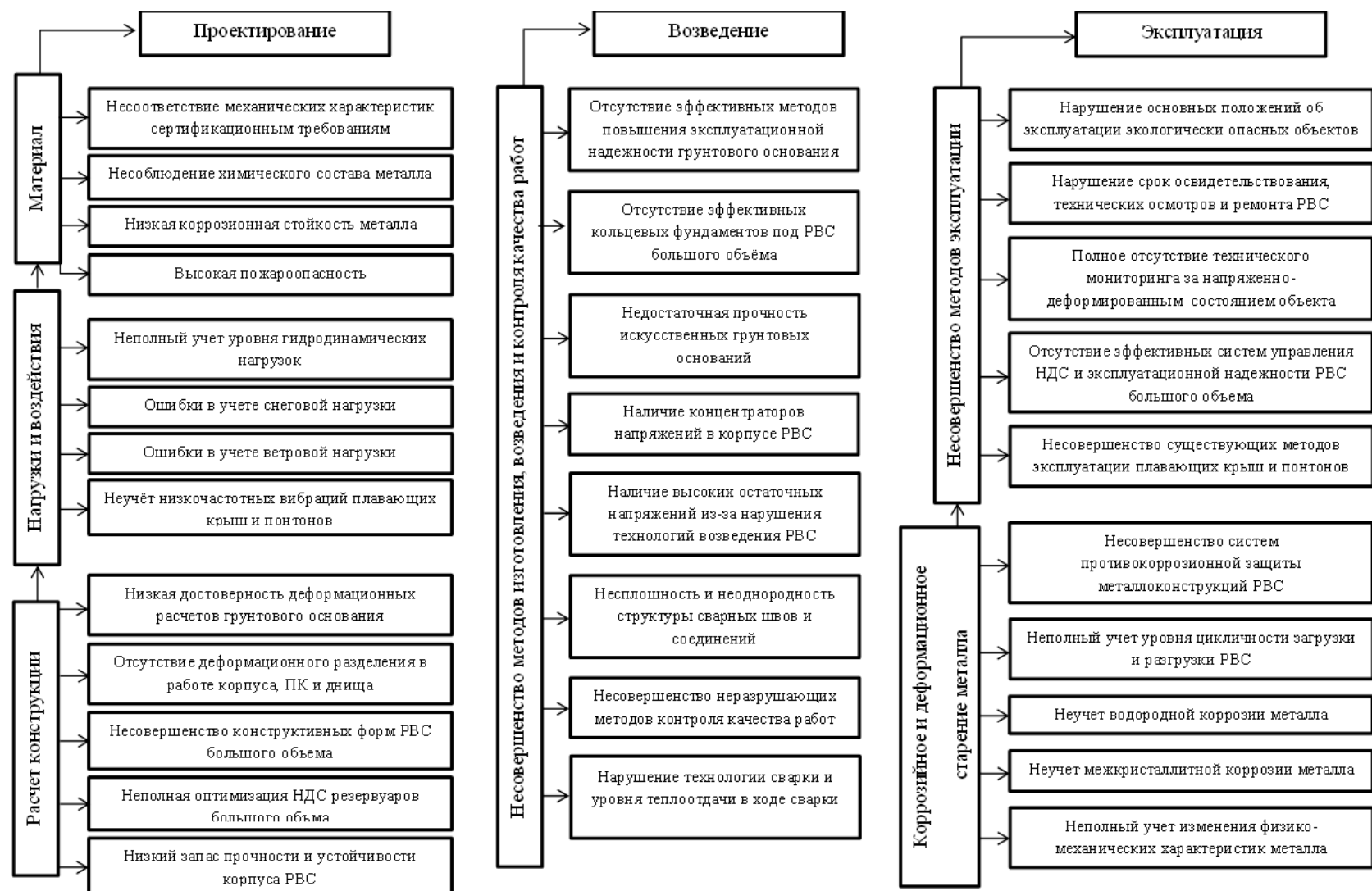


Рис. 1. Системная классификация причин разрушения РВС большого объема

При этом общее количество наиболее активных причин разрушения РВС уменьшится до шести, а наиболее весомой причиной по результатам статистической обработки имеющихся результатов в выделенном спектре будут практически всегда являться большие неравномерные осадки исследуемого грунтового основания под РВС.

Общий анализ и системная оценка выделенных доминирующих причин разрушения РВС большого объема свидетельствуют о высокой степени объективности полученных результатов и необходимости дальнейших экспериментально-теоретических исследований, направленных на повышение эксплуатационной надежности рассматриваемых экологически опасных объектов.

### Литература

1. Техническое состояние резервуаров для хранения нефтепродуктов объединения «Якутнефтепродукт» / В. В. Филиппов, В. А. Прохоров, С. В. Аргунов, И. И. Буслаева // Известия вузов. Строительство. – 1993. – № 7-8. – С. 13-16
2. Филиппов, В. В. Оценка экологического ущерба при авариях резервуаров в условиях Севера / В. В. Филиппов, В. А. Прохоров // Защита -95. – 1995. – С. 55.
3. Аварии и катастрофы. Кн. 4. Предупреждение и ликвидация последствий / В. А. Забегаев, К. Кочетков, А. Носач, В. Котляревский. – М.: Изд-во АСВ, 1998. – 203 с.
4. Palmer, S. Desing of floating roofs oil storage tanks to withstand wind Loading – areview with recommendations Mimeche / Palmer S. – Departament of Engineering, Cambridge University, 1986. – Pp. 321-329.
5. Авария большого резервуара в Японии / Перевод с английского Ж. Хайкан Гидзюцу. – Москва, 1975. – Т.8. – № 5. – С. 128-142.
6. Gladman, T. In «Effects of Second Phase Particles on the Mechanical Properties of Steels» / T. Gladman, B. Holmes, L. D. Melvor. – London: Iron and Steel Institute, 1971. – P. 68.
7. Евтихин, В. Ф. Эксплуатация резервуара объёмом 50 тыс. м3 с плавающей крышей / В. Ф. Евтихин // НТРС. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – М.: ЦНИИТ Энефтехим, 1976. – № 6. – С. 8-11.
8. Фундамент стальных резервуаров и деформации их оснований / П. А. Коновалов, Р. А. Мангушев, С. Н. Сотников [и др.]. – М.: Изд-во АСВ, 2009. – 336 с.

**Расчёт по деформациям грунтового основания,  
армированного кольцевой системой, преднапряженной по грунту**

Землянский Анатолий Андреевич, доктор технических наук,  
профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство»;

Жуков Алексей Дмитриевич, студент специальности  
«Строительство уникальных зданий и сооружений»;

Жанарстанова Вилена Ренатовна, студент направления «Строительство»

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

*Анализ аварийных ситуаций с РВС большого объема, возводимых на слабых, органоминеральных и водонасыщенных грунтах, показывает, что одной из доминирующих причин аварий и отказов несущих и ограждающих конструкций обследуемых резервуаров являются их большие абсолютные и неравномерные осадки.*

В настоящее время для оценки допускаемых осадок и возможных отклонений рабочих точек как в центре, так и по контуру РВС установлены 5 критериев, в частности:

- максимальная абсолютная осадка РВС ( $S_{\max}$ );
- разность осадок двух характерных точек, расположенных в центре и на внешнем контуре резервуара ( $f$ );
- разность осадок двух смежных точек, находящихся на расстоянии шести метров друг от друга по периметру резервуара ( $\Delta S$ );
- разность осадок двух диагонально противоположных точек расположенных на внешнем периметре резервуара ( $S_D$ );
- относительная разность осадок двух диаметрально противоположных точек на внешнем периметре резервуара по отношению к его диаметру ( $S_D/D$ ).

Анализ накопленного практического опыта эксплуатации РВС большого объема показал, что при значительных прогибах днища и неравномерных осадках, превышающих предельно допустимые значения, в днище и в вертикальной стенке резервуара возникают дополнительные напряжения, которые в явном виде не учитываются в вышеприведенных деформационных критериях, кроме требований норм



безопасности, разработанных корпорацией «Шелл» [1], в которых используется следующее аналитическое выражение

$$f = \sqrt{\left( f_0^2 + \frac{0,37}{\gamma_m} \frac{\sigma_{u,st}}{E_{st}} D^2 \right)} \quad (1)$$

где  $f_0$  – начальный прогиб днища резервуара, м;

$\gamma_m = [\sigma] / \sigma_\phi$  – коэффициент надежности днища по материалу;

$[\sigma]$  – предельно допустимое напряжение на разрыв для материала днища, МПа;

$\sigma_\phi$  – фактическое напряжение в материале днища, МПа;

$E_{st}$  – модуль деформации материала днища, МПа;

$\sigma_{u,st}$  – допускаемое напряжение на разрыв для материала стенки, МПа;

$D$  – диаметр резервуара, м.

Зарубежные специалисты [2, 3] рекомендуют два значения коэффициента надежности по материалу:

- $\gamma_m \leq 4$  определяет тот уровень напряжений, при котором в отдельных точках днища резервуара напряжения могут достичь своего предельного значения;
- $\gamma_m \leq 2$  соответствует случаю, когда возможен разрыв днища под действием растягивающих напряжений.

Использование  $\gamma_m = 4$  дает расчетное значение прогиба в 2 раза меньше прогиба, при котором возможен разрыв днища резервуара, а при  $\gamma_m = 2$  расчетный прогиб в 1,43 раза меньше прогиба, при котором возможен разрыв днища или сварного шва.

Наличие в формуле (1) эмпирических коэффициентов и неопределенность в значении коэффициента надежности материала днища  $\gamma_m$ , резко снижает ее достоверность.

Детальный анализ допустимых осадок и возможных перемещений по внешнему периметру резервуаров различных объемов, отраженных в существующей нормативной литературе, позволил автору представить полученную информацию в табл. 1

Таблица 1

**Допускаемые проектные и монтажные вертикальные отклонения  
рабочих точек в центре и по контуру типовых резервуаров**

| Нормативная база                             | Объем резервуара, м <sup>3</sup> | Максимальная абсолютная осадка S <sub>max</sub> (мм) | Максимальный прогиб f, (мм) | $\Delta S$ , (мм) | $\Delta S_D$ , (мм) | $\Delta S_D / D$ |
|----------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------|------------------|
| 1                                            | 2                                | 3                                                    | 4                           | 5                 | 6                   | 7                |
| СНиП 2.09.03-85                              | 700 ÷ 50000                      | ≤ 200                                                | 0,003 σ (<100мм)            | –                 | –                   | 0,002 ÷ 0,004    |
| СНиП 3.03.01-87                              | <700                             | –                                                    | –                           | 20                | 40                  | 0,0038           |
|                                              | 700 ÷ 1000                       |                                                      |                             | 30                | 60                  | 0,0057           |
|                                              | 2000 ÷ 5000                      |                                                      |                             | 35                | 80                  | 0,0038           |
|                                              | 10000 ÷ 20000                    |                                                      |                             | 40                | 75                  | 0,0019           |
|                                              | 30000 ÷ 50000                    |                                                      |                             | 50                | 100                 | 0,0016           |
| Правила технической эксплуатации резервуаров | 2000 ÷ 20000                     | –                                                    | –                           | 30                | 80                  | 0,0050           |
| 1                                            | 2                                | 3                                                    | 4                           | 5                 | 6                   | 7                |
| ВСН 311-73                                   | 700                              | –                                                    | –                           | 10                | 25                  | 0,0017           |
|                                              | 700 ÷ 1000                       |                                                      |                             | 15                | 40                  | 0,0025           |
|                                              | 2000 ÷ 50000                     |                                                      |                             | 20                | 50                  | 0,0033           |
| ТУ 34-42-5347-76                             | 10000                            | –                                                    | –                           | 30                | 80                  | 0,0050           |
| Нормы корпорации «Шелл»                      | 1000                             | –                                                    | 164                         | –                 | –                   | –                |
|                                              | 5000                             |                                                      | 303                         |                   |                     |                  |
|                                              | 10000                            |                                                      | 455                         |                   |                     |                  |
|                                              | 20000                            |                                                      | 606                         |                   |                     |                  |
|                                              | 50000                            |                                                      | 795                         |                   |                     |                  |

Примечание: все расчеты в ходе оценки максимальных прогибов днища выполнены применительно к стали 16Г2АФ

Анализ результатов, представленных в указанной таблице, наглядно демонстрирует их очень сильный разброс, обусловленный, вероятно, эмпирическим подходом к их определению, что очень часто приводит на практике к возникновению непрогнозируемых ситуаций.

С целью повышения достоверности определения допустимого прогиба рабочего днища РВС с учетом предельного напряженно-деформируемого состояния материала автором выполнены теоретические исследования, позволившие получить следующее аналитическое выражение:

$$f = \gamma_c^* \left( 1 + \frac{R}{E} \right) D_0 \frac{1}{k_n} \quad (2)$$

где R – расчетное сопротивление материала днища, МПа;

E – модуль упругости материала днища, МПа;

D<sub>0</sub> – начальный диаметр днища, м;

$k_n$  – коэффициент надежности материала днища, равный 2;

$\gamma_c^*$  – принятое сокращенное обозначение  $\left( \gamma_c^* = \frac{1}{2} \sqrt{1 - \left( \frac{1}{1 + R/E} \right)^2} \approx 0,02225 \right)$

Детальный анализ полученного выражения (2) позволил установить, что указанный допускаемый прогиб на 16 % ниже, чем регламентировано западно-германскими нормами и нормами корпорации «Шелл», но одновременно, значительно выше требований СНиП 2.09.03-85 [4], что свидетельствует о завышенном коэффициенте надежности, заложенном в действующих нормах, и обусловлено отсутствием на сегодняшний день надежных технологий устройства типовых оснований и фундаментов, а также совершенных методов оценки их деформационного поведения.

Обоснование расчетной схемы.

На практике для расчета грунтовых оснований под резервуары по деформациям используют расчетную схему в виде линейно-деформируемого полупространства с условным ограничением сжимаемой толщи [5], как показано на рис. 1.

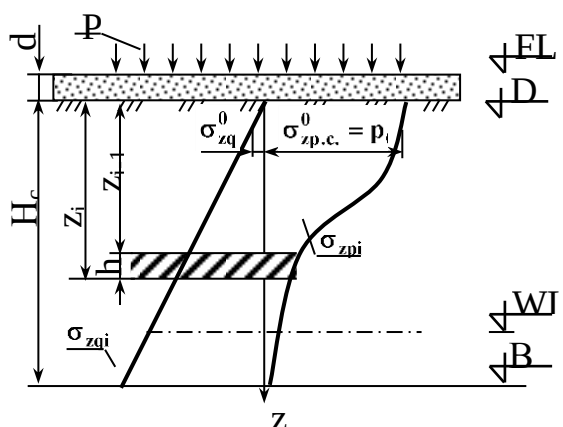


Рис. 1. Расчетная схема грунтового основания РВС по деформациям в виде линейно-деформируемого полупространства:

$FL$  – отметка днища резервуара;  $WL$  – уровень подземных; вод  $BC$  – нижняя граница

сжимаемой толщи;  $P$  – среднее давление под днищем резервуара;  $P_0$  –

дополнительное вертикальное давление на грунтовое основание;  $\sigma_{zq}$  – вертикальное

напряжение от собственного веса грунта;  $\sigma_{zq.c.}$  – дополнительное вертикальное давление от внешней нагрузки на глубине  $z$  от днища резервуара;

$H_{c.c.}$  – глубина сжимаемой толщи в центре резервуара

Осадка днища резервуара в центре  $S_c$  и в точках по его периметру  $S_p$  при использовании вышеприведенной расчетной схемы производится методом послойного суммирования по следующей формуле:

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zp,i} \cdot h_i}{E_i} \quad (3)$$

где  $\beta = 0,8$  – безразмерный поправочный коэффициент;

$\sigma_{zp,i}$  – среднее значение дополнительного вертикального напряжения в  $i$ -м слое грунта, равное полусумме вертикальных напряжений на верхней  $z_{i-1}$  и нижней  $z_i$  границах этого слоя, МПа;

$h_i$  – толщина рассматриваемого слоя (обычно принимается в пределах  $0,5 \div 1,0$  м);

$E_i$  – модуль деформации  $i$ -го слоя грунта, МПа;

$n$  – число слоев, на которые разделена сжимаемая толща рассматриваемого грунта.

Распределение дополнительных вертикальных напряжений по глубине основания резервуара определяют по формулам:

– под центром резервуара

$$\sigma_{zp,c} = \alpha \rho_0 \quad (4)$$

– под краем резервуара

$$\sigma_{zp,c} = \alpha_1 \rho_0, \quad (5)$$

$$\rho_0 = \rho + \sigma_g, \quad (6)$$

$$\sigma_g = \gamma_g \cdot d_g, \quad (7)$$

где  $\rho_0$  – дополнительное вертикальное давление на основание, МПа;

$\rho$  – среднее вертикальное давление под днищем резервуара, МПа;

$\gamma_g$  – удельный вес грунта, из которого изготовлена подушка, кН/м<sup>3</sup>;

$d_g$  – толщина грунтовой подушки, м;

$\alpha$  и  $\alpha_1$  – коэффициенты, зависящие от радиуса резервуара  $R$  и относительной глубины  $z/R$ .

Их значения приведены в табл. 2.

Таблица 2

| Z / R | $\alpha$ | $\alpha_1$ | Z / R | $\alpha$ | $\alpha_1$ |
|-------|----------|------------|-------|----------|------------|
| 0,0   | 1,000    | 0,500      | 1,2   | 0,547    | 0,300      |
| 0,2   | 0,993    | 0,468      | 1,5   | 0,424    | 0,256      |
| 0,4   | 0,949    | 0,434      | 2,0   | 0,285    | 0,196      |
| 0,6   | 0,864    | 0,400      | 2,5   | 0,200    | 0,151      |
| 0,8   | 0,756    | 0,366      | 3,0   | 0,146    | 0,118      |
| 1,0   | 0,647    | 0,323      |       |          |            |

Нижняя глубина сжимаемой толщи основания ограничивается:

- глубиной  $z = H_{с,с}$  – для вертикали, проходящей через центр резервуара;
- глубиной  $z = H_{с,р}$  – для вертикали, проходящей через точку на периметре резервуара.

При этом в обоих случаях на этой границе должно выполняться условие:

$$\sigma_{\pi} = 0,2 \cdot \sigma_{\pi\pi}, \quad (8)$$

Напряжения от собственного веса грунта  $\sigma_{\pi\pi}$  должны вычисляться с учетом взвешивающего действия воды.

Анализ вышеприведенной расчетной схемы грунтового основания РВС в виде линейно-деформированного полупространства свидетельствует о полном отсутствии в ней учета сложного напряженного состояния загружаемого грунтового основания и соответственно уровня горизонтальных напряжений в исследуемой среде, что не соответствует результатам экспериментальных и теоретических исследований, полученных в ходе выполнения настоящей работы. В частности, при отсутствии армирования грунта (рис. 2) установлено, что в верхней зоне, составляющей треть от всей активной зоны деформирования грунта, формируется более 74 % от максимально усредненной осадки гибкого штампа диаметром 60 см., что в свою очередь свидетельствует о значительных горизонтальных перемещениях загружаемого грунта в верхней зоне и необходимости активного армирования грунта именно в указанной области.

Активное кольцевое армирование грунта в пределах верхней трети его активной зоны (рис. 3) позволило выявить очень высокую эффективность предложенного армирования грунта, выразившуюся в десятикратном уменьшении усредненной осадки гибкого штампа, в частности с 39,3 до 3,8 мм. Одновременно в ходе анализа полученного материала установлено, что основная часть суммарной осадки гибкого

штампа формируется в армированном грунтовом основании, как показано на рис. 3, практически за счет деформирования неармированной зоны.

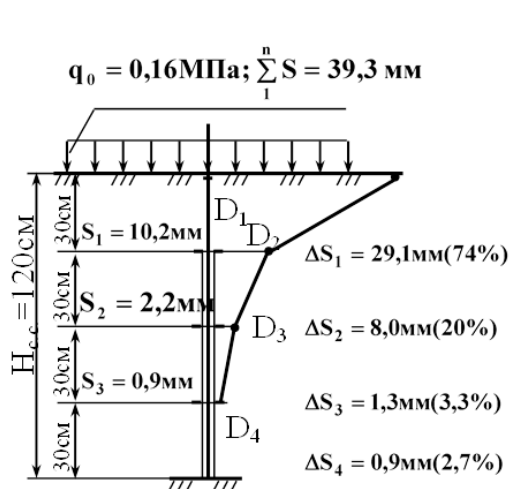


Рис. 2. Схема послойного деформирования грунта без его активного армирования: D1 D2 D3 D4 – тензометрические датчики измерения послойных перемещений исследуемого грунта

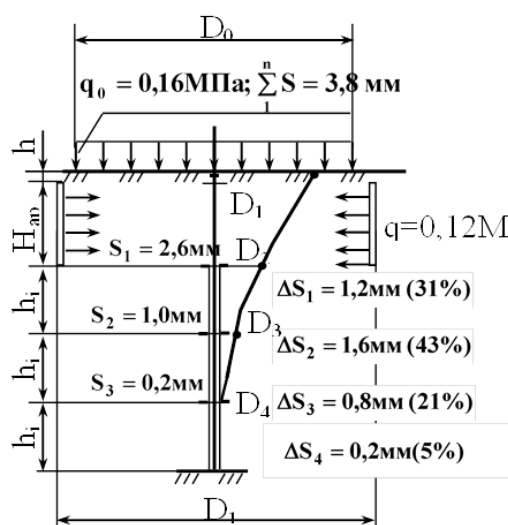


Рис. 3. Схема послойного деформирования грунта с активным кольцевым армированием: D0 и D1 – соответственно диаметр гибкого штампа и кольцевой системы армирования; Нарм. – высота активного армирования;  $h_i$  – удаление кольцевого армирования от дневной поверхности

Разработанная расчетная схема позволяет на практике полно и очень эффективно учесть все особенности кольцевого армирования грунта с его активным преднапряжением за счет разделения грунта по высоте на две характерные зоны, позволяющие использовать на практике метод суперпозиции и доработанный метод послойного суммирования, учитывающий воздействие на исследуемое грунтовое основание всех трех главных напряжений.

В целом весь вышеприведенный экспериментальный материал позволил автору разработать новую и более совершенную расчетную схему армированного грунтового основания, представленную на рис. 4.

Аналитический метод расчета армированного грунтового основания под РВС большого объема.

Практическое использование вышеприведенной расчетной схемы для оценки деформационного поведения армированного грунтового основания позволило автору разработать аналитический метод расчета грунта по деформациям с использованием следующего алгоритма расчета.

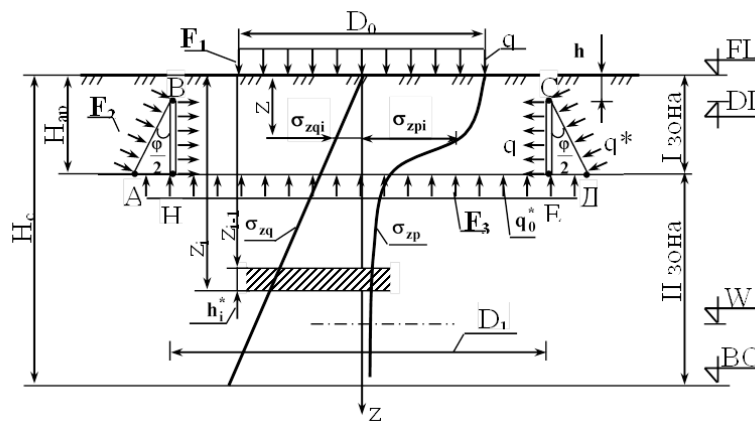


Рис. 4. Расчетная схема грунтового основания РВС, армированного кольцевой системой с активным преднапряжением грунта:  
 АВСД – зона активного армирования грунта;  $q_0$  – вертикальное давление от днища РВС;  $q$  – давление от горизонтального преднапряжения грунта;  $q^*$  – трансформированное вертикальное давление от внешней нагрузки, соответственно на площадь F3;  $q^*$  – трансформированное давление горизонтального преднапряжения, соответственно на площадь F2; F1 – площадь рабочего днища РВС; F2 – боковая площадь сопряжения кольцевой системы армирования с окружающим грунтом; F3 – увеличенная площадь передачи внешней нагрузки от РВС на II зону неармированного грунта; D0 – рабочий диаметр гибкого днища РВС; D1 – диаметр системы кольцевого армирования грунта; Hс. – активная глубина сжимаемой толщи грунта; Hам – глубина кольцевого армирования грунта

На первом этапе, исходя из граничных условий и генеральных размеров проектируемого РВС, определяется весь спектр внешних нагрузок, включая и вертикальную равномерно распределенную нагрузку интенсивностью  $q_0$ , а также физико-механические характеристики грунта в естественном состоянии, в частности:  $\rho$ ;  $\omega$ ;  $e$ ;  $\varphi$ ;  $c$ ;  $E_0$ ;  $\nu_0$ .

На втором этапе определяются основные размеры кольцевого армирования грунта, в частности – высота активного армирования  $H_{ам} = 1/3D_0$ , где  $D_0$  – рабочий диаметр днища РВС, а также удаление кольцевой системы армирования грунта от дневной поверхности  $h = 0,01D_0$ .

На третьем этапе определяются три характерные рабочие площади, оказывающие активное влияние на деформационное поведение рассматриваемого основания, F1 – площадь гибкого днища резервуара, F2 – боковая площадь сопряжения кольцевой системы армирования с окружающим грунтом, F3 – увеличенная площадь передачи внешней нагрузки от РВС на нижележащей неармированный слой грунта.

На четвертом этапе, зная характерные площади  $F_1, F_2, F_3$ , можно определить соответствующие значения нагрузок, передаваемых через указанные площади на окружающий грунт, в частности  $N_1$  – суммарную нагрузку, передаваемую от рабочего днища на грунтовое основание, определяемую по формуле  $N_1 = q_0 F_1$ ;  $N_2$  – суммарное усилие, уменьшающее вертикальную нагрузку на грунтовое основание в плоскости АНВД за счет трения боковой поверхности кольцевой системы армирования грунта об окружающий грунт с преднапряжением интенсивностью  $(q)$

$$N_2 = \frac{1}{2} q \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \left( \frac{\varphi}{2} \right) \cdot F_2,$$

МПа;  $N_3$  – суммарную нагрузку, передаваемую от резервуара на нижележащие слои грунта в плоскости АНВД, определяемую по формуле  $N_3 = N_1 - N_2$ .

На пятом этапе, зная площадь  $F_3$  и значение нагрузки  $N_3$ , можно определить интенсивность равномерно-распределенного давления в плоскости АНВД соответственно по формуле  $q_0^* = N_3 / F_3$ , которое будет в несколько раз меньше внешнего давления, приложенного к дневной поверхности грунта.

На шестом этапе в лабораторных условиях, в приборе трехосного сжатия или стабилометре, определяются увеличенные деформационные характеристики  $E_0^*$  и  $\nu_0^*$  за счет активного армирования грунта и с учетом  $\sigma_z; \sigma_y; \sigma_x$ .

На седьмом этапе методом послойного суммирования определяется суммарная осадка грунта в зоне армирования с использованием сложного напряженного состояния и изменившихся деформационных характеристик по следующей формуле:

$$S_I = \sum_1^n \left[ \frac{\sigma_{z_{pl}}^{cp}}{E_0^*} - \frac{\nu_0^*}{E_0^*} \left( \sigma_{x_q}^{cp} + \sigma_{y_q}^{cp} \right) \right] H_{арм} \quad (8)$$

где:  $\sigma_{z_{pl}}^{cp} = \frac{q_0 + q_0^*}{2}$  – среднее вертикальное напряжение от внешней нагрузки в пределах I-ой зоны армированного грунта, МПа;

$\sigma_{x_q}^{cp} + \sigma_{y_q}^{cp} = 2q$  – суммарное горизонтальное напряжение в грунте от системы активного, кольцевого армирования грунтового основания, МПа;

$E_0^*$  и  $\nu_0^*$  – увеличенный модуль общей деформации и коэффициент Пуассона в зоне армированного грунта;

$H_{арм}$  – глубина армированной зоны грунта.



На восьмом этапе также методом послойного суммирования определяется суммарная осадка грунта в нижележащей неармированной зоне по следующей формуле:

$$S_{II} = \sum_1^n \left[ \frac{\sigma_{z_{pII}}^{cp}}{E_0} - \frac{\nu_0}{E_0} \left( \frac{\nu_0}{1 - \nu_0} 2\sigma_{z_{pII}}^{cp} \right) \right] H_{II} \quad (9)$$

где:  $\sigma_{z_{pII}}^{cp}$  – среднее вертикальное напряжение от внешней нагрузки в неармированной зоне грунтового основания, МПа;

$\frac{\nu_0}{1 - \nu_0} 2\sigma_{z_{pII}}^{cp}$  – суммарное горизонтальное напряжение от внешней нагрузки в неармированной зоне грунта, МПа;

$E_0$  и  $\nu_0$  – исходные деформационные характеристики грунта II-ой зоны;

$H_{II}$  – глубина неармированной зоны грунтового основания, равная  $H_{II} = H_c$  - Нарм.

На девятом этапе определяется суммарная осадка двух характерных зон, выделенных в пределах активной толщи рассматриваемого грунтового основания, как показано на рис. 4, с последующим сравнением полученных результатов с предельно допускаемой осадкой:

$$S_I + S_{II} \leq S_u \quad (10)$$

В случае выполнения условия 10 расчет заканчивается, в противном случае можно увеличить интенсивность кольцевого преднапряжения либо увеличить высоту или рабочий диаметр кольцевого армирования с последующим пересчетом поставленной задачи и достижением выполнения указанного условия.

Выводы.

1. В работе предложено аналитическое выражение для определения фактических предельно-допустимых прогибов днища РВС с учетом его напряженного состояния, характеризующее повышенной степенью достоверности и возможностью эффективного учета всех доминирующих факторов, оказывающих наибольшее влияние на исследуемую величину.

2. Экспериментально установлено, что ожидаемая усредненная осадка гибкого штампа при активном кольцевом армировании слабого грунта может быть уменьшена более чем в десять раз при минимальных затратах труда, материалов и стоимости при создании и практическом использовании рассмотренной системы активного кольцевого армирования грунта.

3. По результатам выполненных экспериментальных исследований разработана расчетная схема и аналитический метод расчета деформационного поведения грунтового основания, усиленного предложенной и апробированной системой кольцевого армирования слабого грунта, которая позволила максимально полно учесть все особенности указанной системы, включая и активное преднапряжение грунта.

4. Доказано, что практическое использование предложенного аналитического метода расчета по деформациям грунта, армированного кольцевым преднапряженным элементом, характеризуется высокой степенью достоверности и необходимой разрешающей способностью, что позволяет учесть все положительные эффекты, получаемые за счет активного кольцевого армирования слабого грунта.

#### Литература

1. Овчинников, И. Г. Эксплуатационная надежность и оценка состояния резервуарных конструкций / И. Г. Овчинников, Н. Б. Кудайбергенов, А. А. Шеин. – Саратов: Сарат. гос. ун-т, 1999. – 316 с.

2. Malik, Z. Ovalization of cylindrical tank as result of foundation settlement of strain analysis / Z. Malik, C. Morton // Journal of Strain Analysis. – 1977. – V. 12. – No. 4. – Pp. 339-348.

3. Marr, W. A. Criteria for settlement division / W. A. Marr, J. A. Ramos, T. W. Lambe // Journal of Geotechnical Engineering. – 1982. – V. 108. – No. GT8. – Pp. 1017-1038.

4. СНиП 2.09.03-85 Сооружение промышленных предприятий / Госстрой СССР. – М.: Государственный комитет СССР по делам строительства, 1986. – 56 с.

5. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. – М.: Стандартинформ, 2017. – 40 с.

6. Землянский, А. А. Новое поколение свайных и анкерных фундаментов с управляемой несущей способностью / А. А. Землянский // Нелинейная динамика механических и биологических систем. – Саратов: СГТУ им. Гагарина Ю. А., 2004.

**Основные виды фундаментов, применяемых при строительстве  
зданий и сооружений АЭС**

Магеррамова Инна Александровна, старший преподаватель кафедры

«Промышленное и гражданское строительство»;

Козлов Евгений Сергеевич, студент специальности

«Строительство уникальных зданий и сооружений»;

Белоусов Денис Александрович, 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

*В статье описываются основные виды фундаментов, применяемых при строительстве зданий и сооружений АЭС, а также классификация фундаментов по применяемым материалам и типу конструкций.*

Атомная электростанция (АЭС) – ядерная установка для производства энергии в заданных режимах и условиях применения, располагающаяся в пределах определённой проектом территории, на которой для осуществления этой цели используется ядерный реактор (реакторы) и комплекс необходимых систем, устройств, оборудования и сооружений с необходимыми работниками (персоналом) (НП-001). АЭС работает по принципу теплового двигателя, использующего пароводяной цикл Ренкина (обычно на насыщенном паре, то есть начальная точка адиабаты турбины на T-S-диаграмме находится под колоколом кривой насыщения, только реакторы с ЖМТ-теплоносителем (БН-800, БН-1200) и газоохлаждаемые (AGR) реакторы, применяемые в атомной энергетике, на данный момент производят перегретый пар) [1].

Первая в мире АЭС была создана в Советском Союзе в рамках программы развития мирного атома, инициированной в 1948 году по инициативе академика Игоря Васильевича Курчатова.

России также принадлежит приоритет в разработке реакторов на быстрых нейтронах, которые позволят избавить человечество от отработавшего ядерного топлива и оружейного плутония, полностью использовав его энергетический потенциал в мирных целях (рис. 1-3).



*Рис. 1. Общий вид АЭС*

Положение реакторного отделения АЭС.

В настоящее время при проектировании АЭС применяются различные варианты расположения реакторного отделения (РО) относительно земной поверхности:

- 1) реактор на уровне поверхности земли или несколько выше;
- 2) реактор ниже земной поверхности, однако при этом служебные помещения находятся выше поверхности земли;
- 3) реактор вместе с техническими и служебными помещениями размещается ниже земной поверхности в подземных камерах, сообщающихся с поверхностью через шахты и штольни (так называемые подземные АЭС).

Преимущество наземного размещения состоит в осуществлении более простой конструкции, достижении меньшей стоимости и меньшем сроке строительства РО, чем в случае подземного варианта. При наземном размещении проще производить осмотр и ремонт, проще разместить вспомогательное оборудование вокруг реактора. Отпадает также необходимость в сложной и дорогой гидроизоляции стен установки при наличии подземных вод. Однако при всех указанных преимуществах наземного расположения РО авария наземного реактора будет, безусловно, более опасной и трудноликвидируемой, чем авария заглубленного. Подземное расположение АЭС или только реакторного отделения дает существенные преимущества перед наземным вариантом не только с точки зрения аварийных ситуаций (авария реактора, падение самолета, ураганы, смерчи и т. п.), но и за счет возможного значительного сокращения коммуникаций, особенно в случае строительства атомных станций теплоснабжения (АСТ). В то же время подземное размещение АЭС по современным зарубежным оценкам может увеличить стоимость до 25 % и удлинить срок строительства на 1,5 - 2 года.

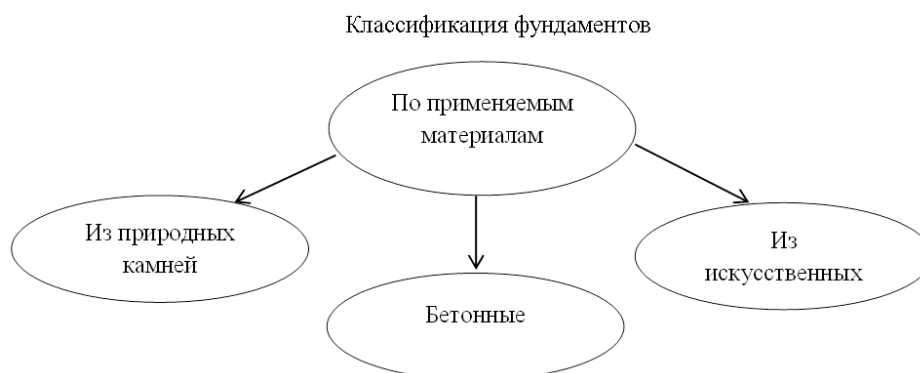


Рис. 2. Классификация фундаментов по материалам



Рис. 3. Классификация по типу конструкций

Плитные фундаменты мелкого заложения.

Основным вариантом для наземного РО являются плитные фундаменты неглубокого заложения (рис. 4). Много реже применяются свайные фундаменты, ростверк которых выполняется также в виде сплошной плиты. Его преимуществами помимо сниженных затрат на изготовление являются сокращение сроков возведения и возможность устройства на сложных грунтах – песчаных, пучинистых, мерзлых и т. п.



Рис. 4. Фундамент мелкого заложения

Фундамент реактора в наиболее распространенных конструкциях составляет вместе со стенами боковой защиты одну целую армированную конструкцию. При этом реактор как бы заключается в замкнутый бетонный футляр – шахту реактора. В

крупных реакторных установках, как правило, устраиваются общие фундаменты-плиты под шахту реактора и окружающие его пристройки. При этом диаметр круглой плиты достигает 80 м (АЭС Хурагуа, Куба), а ширина квадратной плиты – 70 м (Калининская АЭС) и более. Заглубление подошвы плиты РО принимается в зависимости от грунтовых условий, и в некоторых наземных АЭС оно было значительным, например, на Игналинской АЭС составило 9 м.

В настоящее время для реакторных отделений в основном применяются плитные фундаменты коробчатого типа, при этом нижняя опорная (фундаментная) плита имеет толщину 2 - 3 м. Шахта реактора опирается на верхнюю железобетонную плиту, которая поддерживается системой колонн и стен, опирающихся на нижнюю опорную плиту. Образованные между верхней и нижней плитами помещения используются для размещения коммуникаций, вентиляционных камер и другого оборудования, непосредственно обслуживающего реактор [2].

Сейсмостойкие фундаменты.

Высокая ответственность сооружений АЭС и особенно их реакторных отделений диктует жесткие требования к сейсмостойкости строительных конструкций и оборудования. Достоинства: повышенная сейсмостойкость; недостатки: наличие отдельно установленных опор уменьшает полезную площадь сейсмостойкого фундамента, что ограничивает вес сооружаемого на нём объекта; отдельно установленные опоры усложняют конструкцию сейсмостойкого фундамента, что приводит к увеличению срока его изготовления и повышает затраты на его изготовление.

Помимо применения свай или мероприятий, направленных на преобразование свойств грунтов, весьма эффективным способом удовлетворения этих требований является применение специальных сейсмозащитных фундаментов. В настоящее время на ряде зарубежных АЭС использованы такие фундаменты. Как правило, в них массивный фундамент разделен на верхнюю и нижнюю плиты, между которыми размещены упругие и демпфирующие элементы. Наиболее известным предложением по сейсмоизоляции РО является сейсмоизолирующий фундамент, предложенный фирмами Франции. Фундамент состоит из двух плит и фрикционных опор между ними. Антисейсмическая фрикционная опора состоит из бетонной стойки, опирающейся на нижнюю фундаментную плиту, армированной прокладки из эластомера (неопрена) и фрикционных плит. При относительно слабых воздействиях система работает в линейной области; при увеличении нагрузки сила трения (в фрикционных плитах) преодолевается и «происходит проскальзывание» верхней плиты фундамента

относительно нижней. При этом удастся в несколько раз снизить нагрузки на оборудование и здание АЭС. К настоящему времени с применением описанных сейсмоизолирующих опор построены АЭС в г. Круа (Франция) и в г. Кольберг (ЮАР) – всего 6 блоков на 900 МВт. Принятое решение позволило использовать унифицированный (не сейсмостойкий) проект АЭС и снизить затраты на ~ 50 % [3].

Подробный анализ сейсмоизолирующих фундаментов РО, осуществленных за рубежом, дан советскими специалистами. Как показано, основным недостатком сейсмоизолирующего фундамента французских фирм является совмещение в одном конструктивном элементе функций поддержки РО в вертикальной плоскости, обеспечения подвижки в горизонтальной плоскости и рассеяния энергии за счет трения фрикционных плит (демпфер). При таком решении трение в системе оказывается труднорегулируемым, а фундаментные верхняя и нижняя плиты могут иметь взаимное остаточное смещение, требующее проведения ремонтных работ (рис. 5, 6).

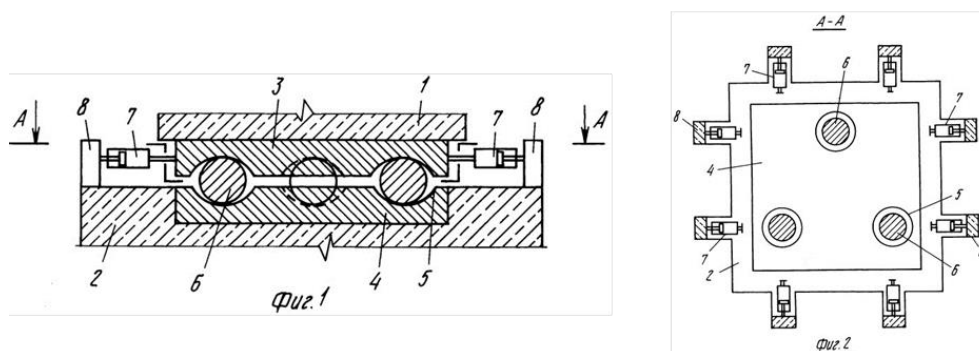


Рис. 5. Сейсмостойкие фундаменты:

1 – верхняя фундаментная плита, 2 – нижняя фундаментная плита, 3 – верхняя опорная часть, 4 – нижняя опорная часть, 5 – полусферические выемки, 6 – подвижные элементы, 7 – гидравлические демпферы, 8 – упоры

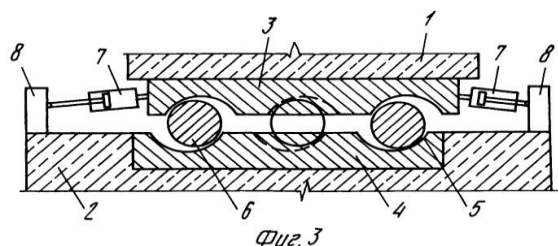


Рис. 6. Сейсмостойкие фундаменты (под нагрузкой):

1 – верхняя фундаментная плита, 2 – нижняя фундаментная плита, 3 – верхняя опорная часть, 4 – нижняя опорная часть, 5 – полусферические выемки, 6 – подвижные элементы, 7 – гидравлические демпферы, 8 – упоры

### Свайные фундаменты.

При залегании с поверхности слабых грунтов, подстилаемых прочными, предпочтительным вариантом фундамента РО может оказаться свайный, иногда он может иметь существенно лучшие технико-экономические показатели, чем плитный фундамент.

Плюс свайного фундамента по сравнению с ленточным или плитным: он подходит для любых грунтов, включая заболоченные и торфяные. Он позволяет добраться до полноценных прочных слоев, у него высокая надежность, относительно быстрая скорость возведения, а работать можно в любое время года.

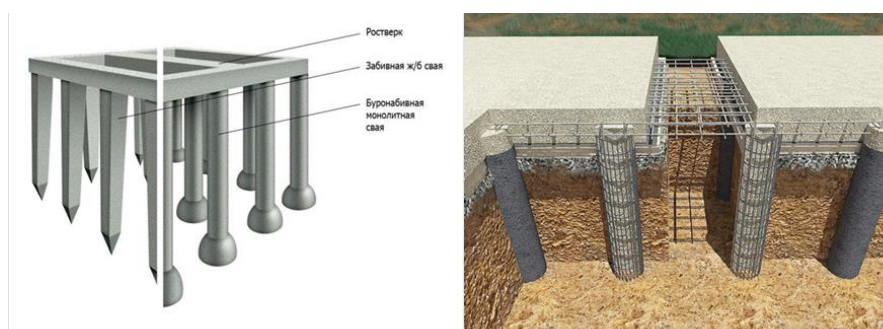
К минусам свайного фундамента можно отнести то, что монтаж некоторых из видов требует специальной тяжелой техники и квалификации строителей. Это в конечном счете сказывается на стоимости. В частности, свайный фундамент применен под РО Калининской АЭС. Применены забивные железобетонные сваи сечением 35X35 см длиной 10 м. Шаг свай в продольном и поперечном направлениях составлял 120 см. Под плитой реактора размером 70X70 м было забито 3470 свай.

При проектировании свайных фундаментов РО выбор вида свай и конструкции фундамента производят исходя из конкретных условий строительной площадки. Для РО рекомендуется применять сваи забивные, буроопускные и набивные. В случае РО к сваям-стойкам допускается относить сваи, опирающиеся нижним концом на скальный грунт; в остальных случаях сваи рассматриваются как висячие. Основным способом определения несущей способности свай фундамента РО сейчас признается использование результатов испытаний статической нагрузкой, на стадии предварительного проектирования допускается определять несущую способность по формулам с использованием таблиц расчетных сопротивлений грунта. Последнее применяется и при учебном проектировании свайных фундаментов РО.

При определении осадки или крена большеразмерный фундамент РО из висячих свай представляется условным фундаментом, размеры которого определяются: снизу – плоскостью, проходящей через нижние концы свай, в плане – вертикальными плоскостями по периметру ростверка. При определении давления по подошве условного фундамента учитывают нагрузки выше подошвы ростверка и не включают в расчет вес свай и грунта в объеме условного фундамента. При этом в случае определения осадки природное давление из расчетной величины давления по подошве условного фундамента не вычитается. В остальном определение осадки или крена, а также оценка несущей способности основания и устойчивости свайного фундамента РО как условного фундамента осуществляются аналогично расчету фундаментов



неглубокого заложения РО с использованием приведенных выше рекомендаций (рис. 7).



*Рис. 7. Свайные фундаменты*

Основным вариантом для наземного РО являются плитные фундаменты неглубокого заложения, что обуславливается сниженными затратами на изготовление, сокращенными сроками возведения и возможностью их устройства на сложных грунтах. Намного реже применяются свайные фундаменты, ростверк которых выполняется также в виде сплошной плиты.

#### 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: 16.04.2023). – Текст: электронный.
2. Виды фундаментов (дополнительная информация): [сайт]. – URL: <https://realty.rbc.ru/news/623cec829a79472088fa2521> (дата обращения: 16.04.2023). – Текст: электронный.
3. Фундаменты, используемые при строительстве АЭС (основная информация): [сайт]. – URL: <https://studfile.net/preview/16726425> (дата обращения: 16.04.2023). – Текст: электронный.

## Бетоны для строительства АЭС

Магеррамова Инна Александровна, старший преподаватель кафедры

«Промышленное и гражданское строительство»;

Магеррамов Рауф Алигусейнович, доцент,

и.о. заведующего кафедрой «Атомная энергетика»

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

*В статье описываются бетоны, применяемые для строительства АЭС. Основные характеристики бетона. Применяемые специальные бетоны, обладающие определенными свойствами, а также требования, предъявляемые к бетону для строительства атомных станций.*

В настоящее время в России планируется к 2045 г. построить более 10 энергоблоков АЭС. Атомные электростанции относятся к объектам повышенной ответственности. Основная задача строителей – возведение конструкций, которые не допустят утечку радиации и прослужат максимально долго. Для этого 90 % конструктивных элементов делают монолитным способом, при котором отсутствуют швы и соединения. Для заливки используются специальные высоко-функциональные бетонные смеси, отвечающие всем требованиям при возведении АЭС.

Применение бетона в строительстве АЭС.

Для монолитной заливки и укрупнения конструктивных элементов атомных станций используют тяжелые бетоны с показателем плотности от 2200 до 2800 кг/м<sup>3</sup>, а также особо тяжелые бетоны плотностью от 3300 до 3500 кг/м<sup>3</sup>. Класс этих бетонов по прочности должен быть – В25...В60.

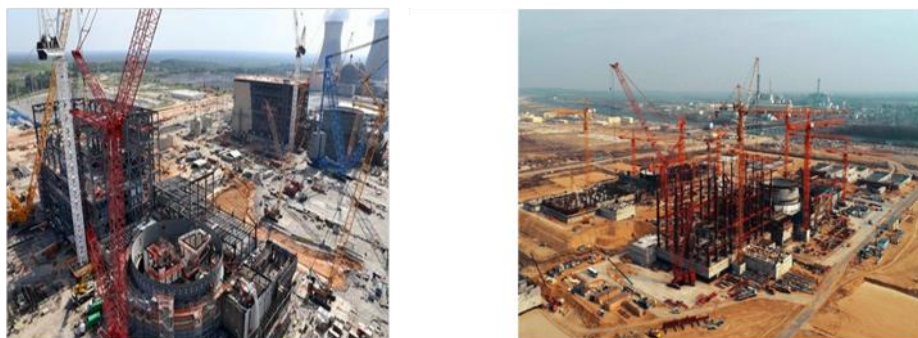
Проекты современных АЭС требуют использования разных по составу и техническим характеристикам бетонных смесей. Потребность в материале с преобладанием основных характеристик разделяется следующим образом на рис. 1.



*Рис. 1. Основные характеристики бетона*

Материал для монолитной заливки частей АЭС должен обладать радиационно-защитными свойствами [1]. Обычные тяжелые бетоны, приготовленные по классической рецептуре, не обеспечивают требуемым уровнем защиты, поэтому применяются специальные виды бетона:

1. Серпентинитовый. Характеризуется высоким содержанием кристаллизационной воды. Длительное время выдерживает температуру + 500 °С.
2. Лимонитовый. Содержит до 15 % химически связанной воды, эффективно ослабляет нейтроны.
3. Гематитовый. Имеет минимальное температурное расширение и устойчивость к температурам до + 800 °С.
4. Магнетитовый. Обладает стабильной структурой, высокой плотностью. Имеют отличную теплопроводность, устойчивость к высокотемпературному воздействию.
5. Баритовый. Наличие в составе бария позволяет эффективно ослаблять  $\gamma$ -излучение.
6. Металлобетон. Отличается высокой прочностью, теплопроводностью. Поглощает вторичные радиоактивные излучения.
7. Глетглицериновый. Имеет высочайшую плотность до 9580 кг/м<sup>3</sup>. Защищает от ионизирующего излучения большой мощности.



*Рис. 2. Строительство АЭС*

Выбор бетонной смеси производится отдельно для каждого конструктивного элемента АЭС в зависимости от его геометрии, несущей способности, условий эксплуатации [2].

Требования к бетону для строительства объектов атомной станции.

Бетонные смеси для АЭС должны соответствовать определенным требованиям (рис. 3):

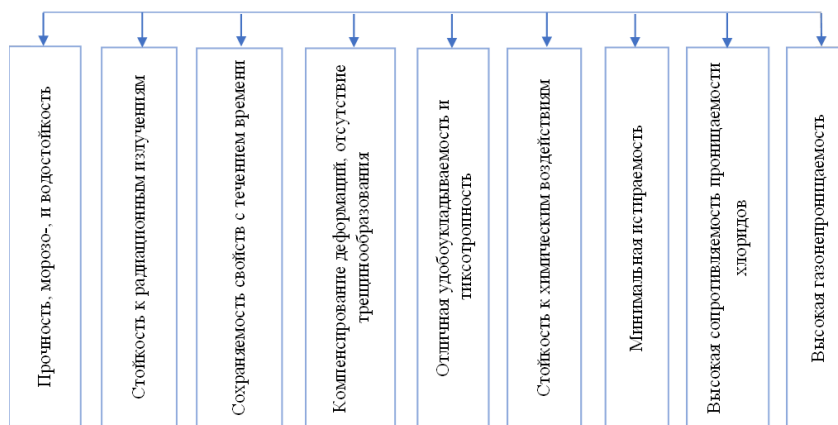


Рис. 3. Требования к бетонным смесям

Состав и приготовление бетонных смесей для АЭС.

Материалы для бетона, используемые для возведения атомных станций, должны отвечать требованиям ГОСТ 26633 [4], СТО СРО-С 60542960 000014-2014 [10] и локальным Техрегламентов, разработанных для конструктивных элементов.

Компоненты, входящие в состав высокофункционального бетона:

1. Вяжущие. Используется портландцемент по ГОСТ 31108 [8], ГОСТ 10178 [9]. Для изготовления частей АЭС, которые будут непосредственно подвергаться действию радиоактивного излучения, допускается использование глиноземистых или высокоглиноземистых цементов. В процессе твердения таких цементов образуется кристаллгидрат алюминия, эффективно поглощающий радиацию [3].

2. Заполнители. В качестве крупного заполнителя применяется щебень с размером фракции 5-45 мм из плотных пород марки 1200 и выше. Материал должен соответствовать ГОСТ 8267 [6], ГОСТ 26633 [4]. У мелкого заполнителя (кварцевый песок) крупность должна быть в пределах 2.0...2.5 соответствует ГОСТ 8736 [7].

3. Специальные добавки. Для снижения водорасхода, поддержания нужной подвижности, морозоустойчивости и других качеств в смесь вводятся суперпластификаторы, противоморозные добавки, гидравлически активные ПАВ. Добавки должны отвечать ГОСТ 24211 [5].

4. Радиационно-защитные добавки. Вводятся в бетонную смесь для защиты окружающей среды от ионизирующего излучения: лимонит, барий, железо, магнетит, жидкое стекло и пр.

5. Замешивание материала выполняется в автоматизированных смесителях. Особое внимание уделяется однородности бетонной смеси и контролю качества исходного сырья. Такой подход позволяет получить высокопрочный бетон для атомных станций, обладающий заданными параметрами.

Характеристики бетона для радиационной защиты.

Эффективность радиационно-защитных свойств бетона зависит от его состава. Основные технические характеристики (рис. 4) должны соответствовать ГОСТ 26633 [4].

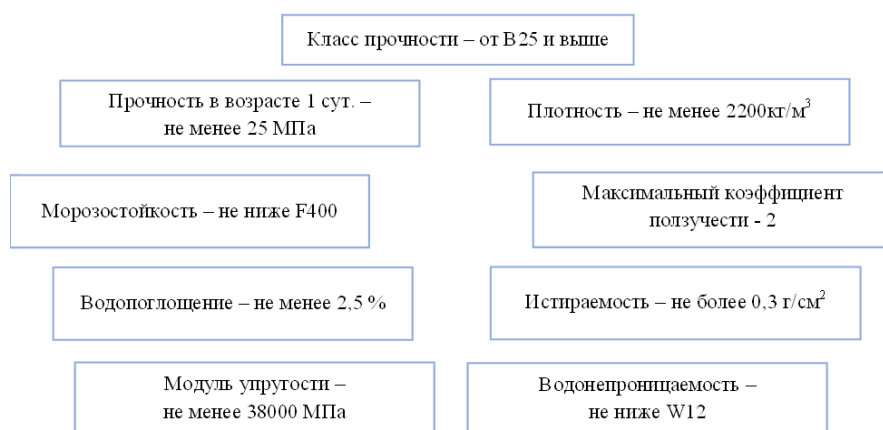


Рис. 4. Основные технические характеристики бетона

Требования по подвижности указываются в ТУ и проектной документации. Отклонение от требуемой подвижности не должна быть более  $\pm 2$  см по осадке конуса. В процессе набора прочности за монолитным бетоном необходим уход. Содержание и правила выполнения мероприятий по уходу разрабатываются отдельно для каждого вида бетона и конструктивного элемента.

Строительство таких объектов всегда требует особого внимания. Поэтому применение специальных бетонов с улучшенными свойствами требует тщательного контроля при строительстве таких сооружений.

#### Литература

1. Дубровский, В. Б. Строительство атомных электростанций: учебник для вузов / В. Б. Дубровский, П. А. Лавданский, И. А. Енговатов. – М.: Изд-во АСВ, 2010.
2. Применение бетона для строительства АЭС: [сайт]. – URL: <https://mosbetontorg.ru> (дата обращения: 28.03.2023). – Текст: электронный.

3. Работы со специальными защитными бетонами. Особо тяжелые бетоны: [сайт]. – URL: [https://ozlib.com/857826/tehnika/raboty\\_spetsialnymi\\_zaschitnymi\\_betonami](https://ozlib.com/857826/tehnika/raboty_spetsialnymi_zaschitnymi_betonami) (дата обращения: 28.03.2023). – Текст: электронный.
4. ГОСТ 26633-2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2019.
5. ГОСТ 24211-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. – М.: Стандартиформ, 2019.
6. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2018.
7. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2019.
8. ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2020.
9. ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2008.
10. СТО СРО-С 60542960 000014-2014. Стандарт организации. Объекты использования атомной энергетики. – Москва, 2014.

УДК 692.4

### **Конструктивные решения покрытий ТЭЦ**

Магеррамова Инна Александровна, старший преподаватель кафедры

«Промышленное и гражданское строительство»;

Магеррамов Рауф Алигусейнович, доцент,

и.о. заведующего кафедрой «Атомная энергетика»;

Гуливанский Дмитрий Николаевич, 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

*В статье описываются конструктивные решения кровель промышленных зданий и сооружений. Требования к эксплуатации. Описываются виды промышленной кровли и ее применение.*

Самым верхним элементом покрытия зданий является кровля, которая подвергается атмосферным воздействиям. Главной ее функцией является защита внутренних помещений от атмосферных осадков и воздействий. Главными требованиями к кровле являются легкость, долговечность, экономичность в изготовлении и эксплуатации.

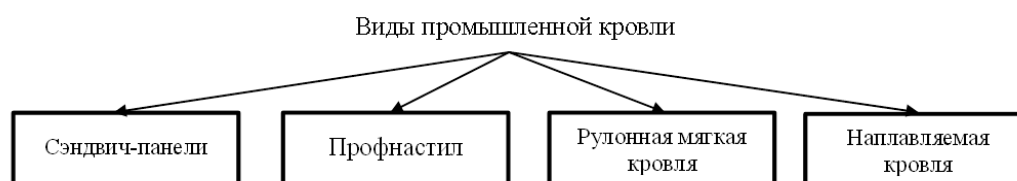
К кровлям объектов промышленного значения предъявляются серьёзные требования – более строгие, чем к конструкциям гражданского строительства. Дело в том, что многие современные производственные процессы завязаны на высокочувствительном оборудовании с тонкими настройками. Хотя бы один прибор, крайне требовательный к условиям эксплуатации, сейчас присутствует на каждом предприятии [1].

Чтобы техника на предприятиях служила долго и без сбоев, а также для предсказуемого результата производственных процессов необходимо создать стабильный микроклимат. Это означает, что в помещениях должна поддерживаться постоянная температура и уровень влажности: не допускаются даже небольшие перепады.

В промышленных помещениях не должно быть сквозняков и прямых солнечных лучей. Влияние любых факторов окружающей среды здесь сводится к минимуму. На подобных объектах искусственно создаётся и поддерживается особый микроклимат, параметры которого настраиваются под конкретные задачи и соответствуют определённым санитарным нормам.

Кровля заводов и фабрик играет в создании такого «настраиваемого» микроклимата значимую роль. Если она не в порядке, под вопросом безопасность на производстве. Под угрозой может в худшем случае оказаться персонал, в лучшем – дорогостоящая техника и уже готовая продукция [2].

При этом кровля не должна создавать существенную нагрузку на несущую конструкцию крыши, поскольку последняя и без того часто подвергается влиянию тяжёлого подвесного потолочного оборудования. Для лёгкой кровли нужны современные материалы: прочные и водонепроницаемые, но тонкие и обладающие небольшой массой (рис. 1).



*Рис. 1. Виды промышленной кровли*

Крыша из сэндвич-панелей.

Такая конструкция позволяет экономить не только на изготовлении, но и на установке. Затраты на доставку и подъем существенно сокращаются. Для укладки монтажникам не требуется особых навыков, к тому же возникает возможность непрерывного монтажа, подобно конвейеру. Благодаря этому укладка происходит в 2 раза быстрее, чем обычно (рис. 2).

Выделяют множество плюсов использования перед другими видами монтажа, и об этом заявляют сами производители. Ниже представлены основные плюсы:

- Быстрый монтаж, не требующий дополнительных изоляционных работ.
- Они достаточно легкие, что снижает затраты на их подъем, а также увеличивает объемы поставляемой продукции до нужного места; ремонт такого покрытия в случае повреждения прост.
- Готовые панели снижают издержки при монтаже, поскольку стоимость этого материала довольно небольшая. Это позволяет сохранить 30 % всех затрат. Для установки кровельных панелей потребуется лишь их наличие, а также сама рабочая сила. Не придется часто вести подсчеты, так как количество требуемого материала гораздо меньше, чем обычного утеплителя.

Эта сборка представляет собой многослойный «бутерброд» из двух металлических пластов, между которыми уложен слой теплоизоляционного материала.

Пласты этого типа состоят из стали, сам же слой утеплителя изготовлен преимущественно из полиуретана или минеральной ваты. Сами панели укладываются на крыше, закрепившись между собой торцевыми замками, что обеспечивает надежность крепления.



*Рис. 2. Покрытие сэндвич-панелями промышленного здания*



Профнастил.

К «Профнастилу» относятся такие кровельные материалы, как гофрированный лист и профлист (рис. 3). Эти листы производятся обычно прямоугольные и волнистые. Со всех сторон каждый лист имеет цинковое напыление. Сверху всегда есть полимерная плёнка (для защиты от коррозии и морозов).

Положительные свойства «Профнастила»: легко монтируется на любую поверхность, очень прочный, легко гнётся, большой срок службы, цена соответствует качеству, не боится перепадов температуры.

Небольшие минусы «Профнастила»: нужна обязательно звукоизоляция; очень большая слышимость (при осадках).



*Рис. 3. Покрытие профнастилом промышленного здания*

Рулонная мягкая кровля.

Покрытие в рулонах считается надёжным и прочным, потому что состоит из большого количества слоёв (рис. 4, 5).



*Рис. 4. Виды кровель*

Положительные свойства:

- Не боится химического воздействия.
- Большой срок эксплуатации.
- Хорошая герметичность.
- Лёгко монтируется.

- Не боится перепада температур.
- Низкая стоимость.



*Рис. 5. Покрытие мягкой кровлей промышленного здания*

#### Наплавляемая кровля.

Такая кровля является самым распространенным покрытием для плоских крыш (рис. 6). Легко монтируется, даже непрофессионал за короткое время может покрыть крышу своими руками.

Положительные свойства наплавляемого вида кровли:

- Высокая герметичность покрытия.
- Высокая теплоизоляция и шумоизоляция (во время ветра и дождя).
- Большой срок службы.
- Легко монтируется на любую поверхность.



*Рис. 6. Покрытие наплавляемой кровлей промышленного здания*

В процессе эксплуатации кровля, как и всякий другой элемент здания, кроме физического износа накапливает и моральный износ, характеризующий степень несоответствия ее основных параметров, определяющих эксплуатационные свойства кровли, современным требованиям [3]. Устранить такое несоответствие можно при реконструкции кровли, когда вместо старой кровли устраивают более надежную новую

кровлю, как правило, из более долговечных материалов с применением усовершенствованных конструктивных решений.

#### Литература

1. Лавыгин, В. М. Тепловые электрические станции / В. М. Лавыгин, А. С. Седлов, С. В. Цанев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007: [сайт]. – URL: <https://www.studmed.ru/lavygin-vm-sedlov-as-canev-sv-teplovye-elektricheskie-stanciil> (дата обращения 28.03.2023). – Текст: электронный.
2. Строительство тепловых электростанций. Проектные решения тепловых электростанций: учебник для вузов / И. К. Вишницкий, Ю. И. Кириллов, Б. Ф. Лейпунский [и др.]. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 376 с.: [сайт]. – URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930937312.html> (дата обращения 28.03.2023). – Текст: электронный.
3. Все типы крыш промышленных зданий. Виды кровли для промышленных зданий: [сайт]. – URL: <https://tehnolen.ru/vse-tipy-krysh-promyshlennyh-zdani-vidy-krovli-dlya-promyshlennyh-zdani/> (дата обращения 28.03.2023). – Текст: электронный.

УДК 692

#### **Конструктивные решения объемных армоблоков с фибробетонной опалубкой**

Меланич Владимир Михайлович, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство»;

Ласточкин Евгений Александрович, 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

*В статье рассматривается конструкция объемного армоблока с несъемной сталефибробетонной опалубкой.*

Использование армоблоков полной заводской готовности с несъемной сталефибробетонной опалубкой и автоматической сварки при их стыковке позволит существенно ускорить строительство АЭС. Армоблоки полной заводской готовности

могут включать армокаркасы, несъемную несущую сталефибробетонную опалубку, обрамления дверных проемов и люков, аппаратуру для мониторинга технического состояния строительных конструкций в процессе эксплуатации, элементы систем инженерных коммуникаций.

На стройбазе из армоблоков стен выполняется укрупнительная сборка жестких самонесущих фрагментов стен помещений. На объекте выполняется монтаж фрагментов помещений и укладка в армоблоки стен самоуплотняющегося бетона (СУБ) с последующей установкой крупногабаритного технологического оборудования. На забетонированные армоблоки стен устанавливаются армоблоки перекрытий, и формируются равнопрочные стыки. После чего в армоблоки перекрытий укладывается СУБ и бетонируются фундаменты под технологическое оборудование.

Важным элементом армоблоков являются листы несъемной сталефибробетонной опалубки толщиной 20 - 30 мм.

Сталефибробетон представляет собой цементнопесчаную матрицу, в состав которой при ее изготовлении вводят стальные волокна [1]. Основные требования к матрице состоят в том, что она должна иметь высокую прочность, обеспечивающую ее сцепление с волокнами фибры, а также подвижность фибробетонной смеси, позволяющую укладывать ее без применения виброуплотнения, и вязкость, предотвращающую сегрегацию волокон фибры по толщине укладываемого слоя. Эти свойства сталефибробетонной смеси достигаются за счет введения в нее современных пластифицирующих и высокодисперсных активных минеральных добавок.

Применяемые для изготовления сталефибробетонов стальные волокна имеют диаметр от 0,2 до 1,2 мм и длину от 15 до 40 мм.

Предел прочности при растяжении для разных видов фибры составляет от 390 до 2500 МПа. При выборе вида фибры в первую очередь ориентируются на достижение равновесия между прочностью волокон и прочностью их заделки в матрице. Также важным фактором является способность волокон не образовывать «ежей» при перемешивании и укладке сталефибробетонной смеси.

В зависимости от геометрических характеристик волокон стальной фибры в сталефибробетон можно ввести до шести процентов от его объема (предельный процент армирования железобетона – 3 %). При проценте армирования менее 0,5 введение фибры не сказывается на прочности сталефибробетона, но предотвращает появление усадочных микротрещин [1]. Наибольшее влияние рост процента армирования оказывает на прочность на растяжение при изгибе. Здесь прочность повышается в 2 - 3 раза. При этом сталефибробетон обладает так называемой

«остаточной прочностью при изгибе», то есть после образования единственной макротрещины разрушения с раскрытием от 0,5 до 2,5 мм он может воспринимать нагрузку соответственно от 80 % до 30 % от максимальной.

При трех процентах армирования прочностные и эксплуатационные характеристики сталефибробетона позволяют изготавливать листы несъемной опалубки толщиной 15 - 30 мм, которые воспринимают вес слоя бетона толщиной более двух метров при шаге их крепления один метр [2].

Сталефибробетонные листы можно изготавливать методом укладки (налива) самоуплотняющейся сталефибробетонной смеси как при обычном бетонировании. Также можно применять и метод торкретирования.

Соответствующий состав сталефибробетонной смеси позволяет производить распалубку тонкостенных элементов уже через сутки твердения в нормальных условиях. Для снятия листов с поддона при распалубливании, монтажа и транспортирования в листы сталефибробетонной опалубки при их формировании устанавливают закладные детали и петли (рис. 1).



*Рис. 1. Распалубка сталефибробетонного листа толщиной 30 мм*

Сталефибробетонные листы обладают хорошей адгезией к бетону и теплоизоляционным материалам, что позволяет изготавливать комбинированные конструкции и выполнять ремонтные работы. Повышение сцепления листов несъемной сталефибробетонной опалубки с бетоном можно достичь за счет или увеличения поверхности контакта, создавая рифленую поверхность методом накатки, или за счет установки при формировании листов закладных деталей. Проведенные расчеты показали, что сталефибробетонные листы опалубки с учетом их хорошей адгезии к бетону при фибровом армировании, равном трем процентам, могут заменять конструктивную

арматуру (хомуты), которую устанавливают с целью предотвращения потери устойчивости сжатых стержней рабочей арматуры на стадии, близкой к разрушению. В свою очередь, уменьшение поперечной арматуры не только уменьшает ее общий расход, но и обеспечивает лучшие условия для укладки бетона в свободное пространство внутри армоблоков.

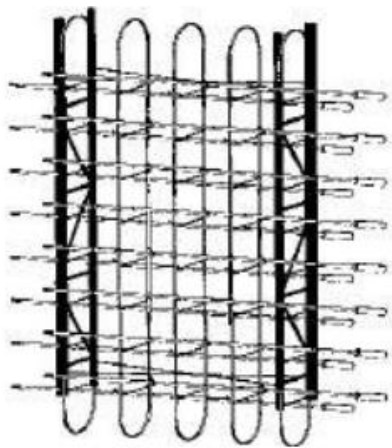
Высокая трещиностойкость сталефибробетона обеспечивает его высокую морозо- и пожаростойкость. Класс по морозостойкости сталефибробетона, как правило, не менее F 1000, пожаростойкость в 4 раза выше, чем у бетона. Все это позволяет отказаться от устройства защитного слоя бетона, уменьшив тем самым толщину конструкций. Кроме того, фибробетонная опалубка может быть использована как несущий элемент железобетонных конструкций, частично заменяя стальную арматуру.

Одним из важных достоинств несъемной сталефибробетонной опалубки является возможность использовать ультразвуковой метод для мониторинга качества укладки бетонной смеси в конструкцию и набора бетоном прочности при твердении.

Конструкции армоблоков стен с несъемной сталефибробетонной опалубкой различаются, главным образом, способами обеспечения их пространственной жесткости, передачи усилий от рабочих стержней армокаркаса одного армоблока к другому, а также креплением листов несъемной опалубки к армокаркасу.

Пространственную жесткость армокаркаса обеспечивают за счет включения в него поперечных ферм (рис. 2) либо продольных рам жесткости (рис. 3). К ним же крепят и листы несъемной сталефибробетонной опалубки.

Поперечные фермы предотвращают взаимное вертикальное смещение в плоскости армокаркаса его боковых плоскостей, а также изменение расстояния между ними. Однако поперечные рамы не могут предотвратить взаимное горизонтальное смещение боковых плоскостей, поскольку арматурные стержни армокаркаса соединены с поперечными рамами не жестко, допуская некоторое смещение. Прикрепленные к выпускам из ферм листы несъемной опалубки также не обеспечивают требуемой жесткости армоблока, поскольку посадочные отверстия в них прослаблены, чтобы облегчить их монтаж.



*Рис. 2. Армокаркас с поперечными фермами жесткости*



*Рис. 3. Армокаркас с продольными рамами жесткости*

Кроме того, объёмный армокаркас по своей конструкции не может быть разделен на два плоских, чтобы, например, упростить сборку или транспортирование.

Плоские рамы с прикрепленными к ним на болтах листами несъемной сталефибробетонной опалубки представляют плоские жесткие конструкции, а при объединении по вертикальным торцам на сварке с помощью стальных пластин или стержней создается жесткий объемный армоблок.

Выводы.

Сталефибробетонная несъемная опалубка за счет своих высоких по сравнению с бетоном физико-механических характеристик позволяет отказаться от устройства в железобетонных конструкциях защитного слоя бетона (она выполняет эту функцию), а также от установки конструктивной арматуры, предотвращающей потерю сжатыми стержнями арматуры устойчивости на стадии, близкой к разрушению.

Близкие к бетону акустические характеристики сталефибробетонной несъемной опалубки позволяют осуществлять ультразвуковой мониторинг качества укладки бетонной смеси в конструкцию и кинетики твердения бетона.

Себестоимость изготовления листов сталефибробетонной опалубки не превышает стоимости изготовления аналогичных конструкций из железобетона.

Армоблоки полной заводской готовности стен и перекрытий с несъемной сталефибробетонной опалубкой и плоскими рамами обладают необходимой пространственной жесткостью, позволяющей осуществлять их транспортировку и монтаж.

Соединяемые на сварке армоблоки стен и перекрытий с несъемной сталефибробетонной опалубкой и плоскими рамами полной заводской готовности

позволяют возводить здания и сооружения с минимальными затратами ручного труда и максимальным использованием автоматической сварки.

#### Литература

1. Ежемесячный журнал «Атомное строительство». Корпоративное издание саморегулируемых организаций атомной отрасли. Сентябрь 2013: [сайт]. – URL: [http://atomsro.ru/wp-content/uploads/fb\\_gallery/30/files/assets/downloads/publication.pdf](http://atomsro.ru/wp-content/uploads/fb_gallery/30/files/assets/downloads/publication.pdf) (дата обращения: 08.04.2023). – Текст: электронный.
2. Рабинович, Ф. Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции / Ф. Н. Рабинович. – М.: АСВ, 2014. – 560 с.

УДК 692

#### **Усиление железобетонных конструкций внешним армированием**

Меланич Владимир Михайлович, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство»;

Попенов Владислав Юрьевич, 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 приведены сведения о применении внешнего армирования; описаны достоинства технологии. Также приведены схемы внешнего армирования различных элементов.*

В последние 10 - 15 лет в России значительно увеличился объем работ по реконструкции зданий различного назначения с целью продления жизненного цикла существующих объектов.

Многочисленные факторы при эксплуатации зданий и сооружений (особенно промышленных зданий) приводят к сокращению срока службы конструкции. Это особенно актуально для железобетонных конструкций по причине их композитной основы. Из практического опыта ясно, что одной из основных причин износа железобетонных конструкций являются повреждения, вызванные коррозией. Эти повреждения вызваны производственными дефектами (уменьшение защитного слоя



бетона), потерей защитных свойств бетона от температуры в результате процесса карбонизации или в результате повреждения. Коррозионные повреждения приводят к снижению безопасности эксплуатации строительных объектов.

С появлением высокопрочного искусственного углеродного волокна (углеволокна) возникли современные методы и технологии восстановления и улучшения несущей способности конструкций.

Основные случаи, когда требуется усиление конструкций:

- Общее техническое состояние сооружения неудовлетворительное и требует немедленного восстановления для обеспечения дальнейшей безопасной эксплуатации.
- Общее техническое состояние объекта хорошее, конструкция сохраняет относительно высокую прочность, но требует усиления из-за более высоких фактических или перспективных нагрузок, чем те, которые предусмотрены проектом.
- Конструктивное усиление зданий, изменение функций их отдельных конструкций или элементов, а также в связи с изменением или модернизацией зданий.

Наиболее современным методом, находящим практическое применение в России и за рубежом, является применение внешнего обжатия с предварительным напряжением арматуры и приклеиванием композитных лент или композитных панелей. Этот пассивный метод композитного армирования является несомненным инновационным достижением в области строительных технологий.

Композитная система армирования показала отличные результаты как при реальной эксплуатации в нормальных условиях, так и в сейсмически активных районах. Преимуществами этого метода, отличающими его от других методов, являются его простота и малая трудоемкость.

С появлением высокопрочного искусственного углеродного волокна (углеволокна) появились современные методы и технологии, позволяющие восстанавливать и увеличивать несущую способность конструкций. С их помощью можно в короткие сроки и с минимальными трудозатратами (отсутствие необходимости привлечения тяжелой техники) значительно увеличить срок службы строительных конструкций зданий и сооружений.

Углеродное волокно — это высокопрочный и линейно упругий материал с абсолютной устойчивостью ко всем агрессивным средам. Он выпускается в виде композитных тканей (холст) и ламелей (лента). Армирование композитными материалами относится к категории внешнего армирования. Это связано с тем, что данные материалы крепятся непосредственно к поверхности конструкции с помощью

монтажного клея на эпоксидной основе. Монтажный клей и углеродные волокна сразу же включаются в работу и могут компенсировать недостаток сечения арматуры. Углеволокна также могут быть использованы в качестве дополнительной рабочей арматуры. Такая система эффективно обеспечивает требуемую несущую способность восстановленной конструкции и значительно продлевает срок ее службы.

Преимущества системы внешнего композитного армирования:

- высокая предельная прочность на разрыв углеродного волокна;
- не подвергается коррозии;
- высокий предел выносливости;
- малая нагрузка на восстанавливаемую конструкцию;
- монтаж арматурных элементов осуществляется быстро и легко;
- сохраняется эстетика усиливаемой конструкции.

Технически это также более эффективно, чем традиционные методы усиления (например, усиление за счет применения стальных обойм). Чтобы обеспечить совместную работу стальной обоймы и усиливаемой конструкции, необходимо задействовать в работу элементы обоймы. Это достигается путем создания усилий предварительного напряжения в обойме за счет нагрева хомутов или использования расширяющего раствора. Обоймы из углеволокна или ламелей включаются в работу через клеевой слой в период монтажа. Этот метод позволяет немедленно задействовать армирующие элементы без нарушения целостности конструкции, исключить проведение огневых работ и, кроме того, значительно повысить сопротивление конструкции динамическим и ударным воздействиям. Кроме того, углеродные волокна по сравнению со сталью в десять раз прочнее и в пять раз легче её.

Внешнее усиление изгибаемых балочных конструкций осуществляется путем приклеивания армирующих элементов к нижней стороне ребер так, чтобы направление волокон арматуры проходило вдоль оси конструкции, а также вертикальных или наклонных хомутов в опорной зоне, где направление волокон арматуры перпендикулярно или наклонно к продольной оси конструкции (рис. 1). В роли армирующих элементов на нижней поверхности ребра усиливаемой конструкции могут быть применены ламинаты и однонаправленные холсты, в роли хомутов – однонаправленные холсты [1].

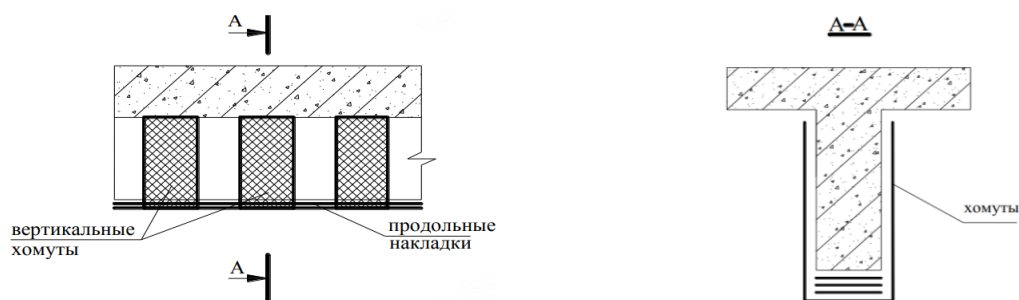


Рис. 1. Схема внешнего армирования балки

Внешнее усиление конструкций перекрытий достигается путем приклеивания элементов с армирующими волокнами вдоль оси конструкции к нижней стороне перекрытия и поверх них поперечных элементов с направлением волокон перпендикулярно продольной оси конструкции (рис. 2). Для создания внешних армирующих элементов можно использовать ламинат или однонаправленные ламинаты [1].

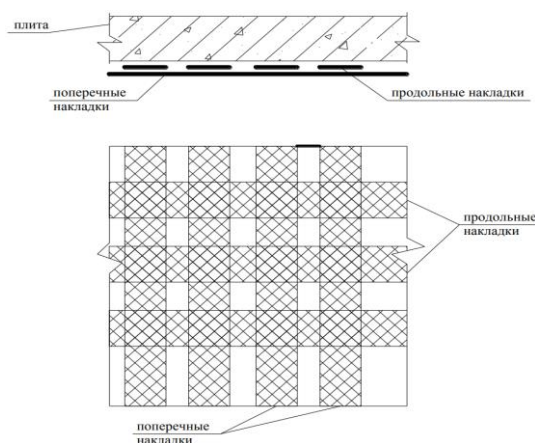


Рис. 2. Схема внешнего армирования плиты

Особое внимание следует уделить усилению и анкеровке неразрезных конструкций, где растягивающие усилия на опорах возникают на верхней грани балки (рис. 3). В этом случае конструкция усиления должна быть такой, как показано на рис. 3, где в опоре элемента вырезается паз, и в него вставляется полоса композитного материала [1].

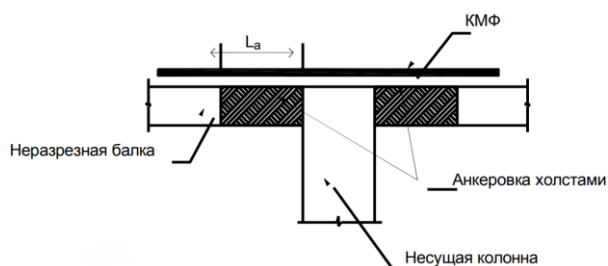


Рис. 3. Усиление и анкеровка неразрезных балок

Из вышеизложенного можно однозначно утверждать, что применение композитных материалов для восстановления срока службы строительных конструкций позволяет стабилизировать процесс коррозии и обеспечить необходимую несущую способность конструкции. Это создает новое направление в реконструкции железобетонных конструкций, которое может значительно снизить трудоемкость, продолжительность и эксплуатационные затраты при сохранении требуемого уровня безопасности зданий и сооружений.

#### Литература

1. Ремонт и усиление железобетонных конструкций: методическое пособие / А. А. Шилин, М. В. Зайцев, В. А. Пшеничный, Д. В. Картузов. – Москва, 2016.

УДК 69.059.4

#### **Экспериментальные исследования работы балочных конструкций, усиленных путём внешнего армирования материалами на основе углеродного волокна**

Муртазин Марат Расимович, кандидат технических наук, доцент кафедры

«Строительные материалы, конструкции и технологии»;

Муртазина Гульсем Расимовна, ассистент кафедры

«Строительные материалы, конструкции и технологии»;

Табояков М.В., магистрант

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

*В статье проведён анализ причин возникновения необходимости усиления конструкций исторических зданий. Указан наиболее актуальный путь решения проблемы увеличения несущей способности существующих конструкций. Описаны результаты экспериментальных исследований работы балочных конструкций, усиленных путём внешнего армирования материалами на основе углеродного волокна.*

Приспособление для современных целей объектов историко-культурного наследия задача сложная, но чрезвычайно актуальная для старинных городов Поволжья. Основная масса сохранившихся объектов культурного наследия в старинных городах Саратовского Поволжья по времени возведения относится к концу XIX и к началу XX веков. Причём большая их часть либо жилые здания (особняки),

либо общественные здания, находящиеся, в лучшем случае, в ограниченно работоспособном состоянии. Поэтому приспособление для современного использования подразумевает в большинстве случаев предварительное усиление основных строительных конструкций. В отличие от зданий и сооружений производственного назначения объекты культурного наследия гражданского назначения зачастую имеют в качестве объекта охраны интерьеры здания, либо богато украшенные фасады.

Но наиболее часто применяемые, или, если так можно выразиться, « типовые » методы усиления конструкций, в основном подразумевают увеличение поперечного сечения элементов усиливаемых конструкций или изменение конструктивной схемы путём подведения дополнительных опорных элементов для уменьшения величин пролётов горизонтальных балочных конструкций. Вследствие этого увеличивается нагрузка на нижележащие и соседние конструкции. Все эти манипуляции могут в конечном итоге привести к кардинальному изменению конструктивной схемы здания, а в ряде случаев и вовсе к эффекту, обратному изначальной цели. Кроме того, не надо забывать и об эстетической стороне дела. Применение указанных методов усиления может привести к изменению внешнего облика здания или его отдельных помещений.

Так, конструкции металло-бетонных или металло-кирпичных плоских или сводчатых перекрытий, то есть конструкций, в которых несущими элементами являются металлические балки различного профиля, органично дополняют каменные конструкции стен исторических зданий и при условии надлежащей эксплуатации могут служить продолжительный период времени. Но в процессе эксплуатации зачастую возникает необходимость в переустройстве или изменении узлов и частей конструкций, что нередко приводит к ухудшению их технического состояния. Подвальные перекрытия, в которых наиболее часто встречаются указанные виды конструктивных решений, особенно часто страдают от негативного воздействия влажной среды. Конструкции междуэтажных перекрытий зданий в процессе эксплуатации также подвергаются негативному воздействию влажной среды после переустройства систем отопления, вентиляции, водоснабжения и водоотведения. Все это приводит к перераспределению нагрузки на соседние конструкции, а в случаях повреждения нескольких соседних балок перекрытия негативно отражается на величине деформаций в виде прогибов этих балок.

Как было отмечено ранее, в большинстве своём объекты культурного наследия подвергаются приспособлению для современного использования, что в ряде случаев подразумевает изменение функционального назначения здания или его отдельных

частей, например, изменение функционального назначения с жилого на общественное. В свете сказанного возникает необходимость усиления конструкций, определяющаяся, как правило, двумя главными причинами – неудовлетворительным техническим состоянием конструкций и увеличением уровня эксплуатационных нагрузок. Исходя из ранее сказанного, можно констатировать, что в процессе проведения усиления несущих конструкций исторических зданий главенствует принцип «не навреди».

Сложив все описанные проблемы и добавив к ним, как правило, стеснённые условия проведения работ вкупе с ограниченным доступом (иногда односторонним, т. е. возможностью доступа только к одной поверхности конструкции), мы получим нетривиальную задачу со многими неизвестными и лимитированными пределами. Например, в упомянутых ранее конструкциях металло-бетонных или металло-кирпичных перекрытий несущие металлические балки имеют раскрепление от горизонтального смещения по всей длине, а в качестве усиливаемой поверхности может выступать только нижняя полка балки.

Таким образом, разработка методов усиления конструкций, находящихся под эксплуатационной нагрузкой, в стесненных условиях и подчас в действующих зданиях и сооружениях, является актуальнейшей проблемой в деле сохранения объектов культурного наследия.

В решении этих вопросов на помощь строителям пришли космические технологии. Наряду с совершенствованием способов «традиционного» усиления в нашей стране наблюдается развитие нанотехнологий в строительстве, в частности, широкое применение композитных материалов на основе углеродного волокна.

В нашей стране на текущий период времени усилением металлических конструкций углеволоконными материалами практически никто не занимается, имеются только скудные данные о намерениях отдельных специалистов заняться данной проблемой. А вот за рубежом, особенно в США и Германии [2, 3], данной проблеме уделяется больше внимания. Однако занимаются е в основном, специалисты-мостовики.

В лаборатории «Исследования разрушения элементов строительных конструкций» кафедры «Строительные материалы, конструкции и технологии» СГТУ имени Гагарина Ю.А. под руководством к.т.н. доцента Муртазина Марата Расимовича в рамках научных исследований были проведены эксперименты по изучению характера поведения под нагрузкой двутавровой балки, усиленной углеволоконными лентами [1].

Суть экспериментов сводилась к оценке возможности увеличения несущей способности металлических балочных конструкций при усилении отдельных их

участков путём так называемого «тейпирования», т. е. устройства внешнего локального армирования конструкций углеволокномными лентами.

Производство работ по усилению конструкций перекрытия путём устройства внешнего армирования композиционными материалами на основе углеродного волокна воспроизводилось на моделях, представляющих собой балки двутаврового поперечного сечения высотой 120 мм. Для имитации уменьшения сечения за счёт поверхностной коррозии металла плоскость одной из полок была сострогана. Уменьшение площади поперечного сечения полки составляло при этом от 5 до 10 %. Балка имела свободное опирание. Раскрепление балки в горизонтальной плоскости (имитация плитной части конструкции перекрытия) выполнялось посредством «скользящих» шарниров. Распределение нагрузки по поверхности балки имитировало уложенные с определённым шагом лаги конструкции пола. Таким образом, в качестве схемы загрузки была выбрана схема с шарнирно опёртой на две опоры балки и приложенной распределённой нагрузкой. Предварительно проводились испытания неусиленных балок. После этого были проведены испытания балок усиленных в растянутой зоне углеволокномными лентами. Результаты сравнения данных, полученных при испытаниях образцов, показали, что несущая способность двутавровой балки, подвергшейся коррозии и усиленной впоследствии углеволокномными лентами, увеличилась приблизительно на 10 % относительно неусиленной балки (фото 1-3).



*Фото 1. Образцы металлических балок: 1 - усиленная углеволокном; 2 - неусиленная*



*Фото 2. Испытательный стенд с металлической балкой, усиленной углеволокном*



*Фото 3. Испытательный стенд с испытанной балкой, усиленной углеволокном*

Разрушение образцов, усиленных углеволоконными лентами, произошло в результате потери устойчивости в верхней (нераскреплённой) части стенки балки.

#### Литература

1. К проблеме усиления металлических конструкций при реконструкции исторических зданий в г. Саратове / М. Р. Муртазин, Ф. С. Селиванов, К. Ф. Шагивалеев, Г. Р. Муртазина // Сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции «Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе». – Саратов: СГТУ, 2015. – Т. 2. – С. 75-77.
2. Kleben von CFK-Lamellen im Stahlbau / S. Bartholomé, H. Pasternak, F. Götz [usw.] // Große Schweißtechnische Tagung. – Nürnberg, 2015. – S. 927-932.
3. Systematische Untersuchung zur Verstärkung von Stahlkonstruktionen mit kohlefaserverstärkten Kunststoffen (CFK) / S. Bartholomé, H. Pasternak, F. Götz [usw.] // Conference: Gemeinsame Forschung in der Klebtechnik. – At Köln, 2016. – V. 16.



**Национально-романтические черты и традиции неорусского стиля  
в памятниках купеческой архитектуры периода модерна Балаково**

Попова Надежда Александровна, доктор архитектуры,  
почётный 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 национально-романтическим традициям или неорусской ветви модерн, выразившейся в особенностях местной купеческой архитектуры конца XIX – начала XX века «хлебной столицы» России - малого города Балаково Самарской губернии. Актуальность исследования архитектурного наследия объясняется малой изученностью и оценкой особенностей местной специфики её сложения в малых городах России, сохранивших истоки, яркий колорит и национальные традиции, являющиеся частью культурного достояния нашей страны периода модерна.*

Изучение и оценка местных особенностей архитектурного наследия приобретает значимую ценность в результате пополнения и приобретения новых исторических архитектурных знаний. Без оценки архитектуры прошлого и выявления его местных особенностей и специфики невозможно новаторство. Творчество модерна в России текло в неорусских и неоклассических стилизациях, проявившихся в начале XX века.

Национально-романтическая ветвь модерна, или неорусский стиль, в России сформированы на базе творчества Абрамцевского кружка [1]. Новое направление развивалось в русле соединения поиска архитектурных форм с ориентацией на образцы сложившихся древнерусских традиций с внедрением лучшего западноевропейского опыта использования промышленных конструкций. Выявлены композиционные предпочтения асимметрии, применения обобщенных форм, контрасты мощных стен и глубоких проемов, пластичность графических контуров и глубокие локальные цвета, применение естественных природных материалов – камень, дерево, подчёркивавших местный колорит [2].

Национально-романтическое направление, или неорусский стиль, творчества Ф.О. Шехтеля появились под воздействием эстетических поисков художников Абрамцевского кружка в области «неорусского стиля». К числу лучших творений Ф.О. Шехтеля неорусского стиля относятся: павильоны России для международной

выставки 1901 года в Глазго; Ярославский вокзал и Белокриницкая церковь Живоначальной Троицы в Балаково, (1910 г.) [3]. Зодчий изучил и переосмыслил наследие древнерусского зодчества в архитектурных образах храмов русского Севера совместно с сообществом мамонтовского кружка в Абрамцево.

Черты архитектуры модерн с неорусскими традициями Балакова связаны с влиянием на неё творчества Ф.О. Шехтеля, который с 1909 по 1915 год проектирует и строит по заказу «хлебных королей» – купцов-старообрядцев Мальцевых – Белокриницкую церковь Живоначальной Троицы, с колокольной и баптистерием (крещальной) и причтовым домом.

Архитектура храма относится к национально-романтической стилизации модерна в древнерусских традициях с использованием мотивов псковско-новгородского зодчества. Доминантой композиции является чрезвычайно мощное шатровое завершение [3] Главного объема. Творческим принципом автора являлось насыщение композиции духовным смыслом Небесной Троицы. Сам Ф.О. Шехтель в пояснительной записке пишет: «Проект храма прост и ясен. Шатровый бесстолпный храм из белого камня с тремя главами, символизирующими Живоначальную Троицу, с колокольной и баптистерием (крещальной). Монументальный объем четверика с 4 щипцами венчает восьмигранный барабан со щелевидными окнами, каждая грань которого завершена кокошником, переходящая в грандиозный шатер, вертикали главного объема» [4].

Своеобразие облика Балаково складывалось веками. Модерн равноправно, наряду с народной архитектурой, участвовал в создании своеобразного облика города, делал его непохожим на другие города.

Каждое здание в модерне Балаково обладает сугубо индивидуальным характером и запоминается спецификой его архитектурного облика, местного колорита.

В данной работе впервые внимание обращено к модерну в Балаково. Каждое здание периода модерна обладает сугубо индивидуальным характером и запоминается своим архитектурным обликом. Модерн воплотил в себе разные виды искусства. Архитектура, живопись и скульптура слились в лучших произведениях воедино. Синтез искусств – отличительная черта русского модерна.

Рассмотрим примеры самых ярких памятников архитектуры национально-романтической ветви модерна.



*Рис. 1. Храм Святой Троицы, ул. Ленина, 1 (1914г.), архитектор Ф.О. Шехтель. Выполнен в формах национально-романтической и неорусской ветви модерна; слева – современный вид храма; справа – аксонометрия из проекта автора*

Ярким примером служит торговый дом Шмидта и К°.



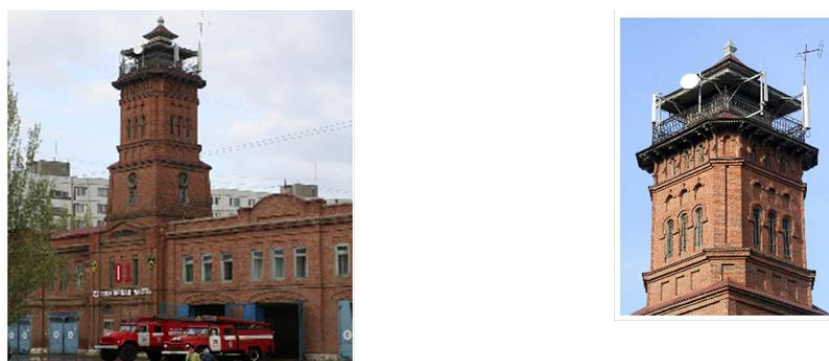
*Рис. 2. Торговый дом Шмидта и К°, ул. Чернышевского, 29, (1911 г.), арх. Ф.О. Шехтель Национально-романтические черты выражаются в смешении разных стилизаций художественных форм и скульптурной пластики. Слева – современный вид дома Шмидта и справа – фасад скоропечатни Ковригина в Москве арх. Шехтеля. Наблюдается подобие*



*Рис. 3. Городская усадьба купца Голованова, улица Коммунистическая, 100, (1911 г.) арх. Ф.О. Шехтель, (дом, каретная и ограда – готическая стилизация модерна). Национально-романтическая стилизация дома купца Голованова в Балаково (вверху) в сравнении с особняком Ф.О. Шехтеля в Ермолаевском переулке. Современные фото*



*Рис. 4. Каретная усадьбы купца Стройкова-Якимова, ул. Московская, 38, (1905 г.) (арх. Зеленк), национально-романтическая английская стилизация модерна*



*Рис. 5. Пожарная каланча, ул. 20 лет ВЛКСМ, 56 (1912 г.), башня выполнена в романтических чертах форм восточного стиля*



*Рис. 6. Национально-романтические черты неорусского стиля. Фасад главного дома усадьбы купца Ермилина, улица Московская 37, (1885 г.)*

#### Литература

1. Борисова, Е. А. Русский модерн / Е. А. Борисова, Г. Ю. Стернин. – М.: Галарт, 1994. – С. 16-50.
2. Нащекина, М. В. Московский модерн / М. В. Нащекина. – СПб.: Коло, 2011. – С. 63-87.
3. Попова, Н. А. Белокаменный феникс архитектора Шехтеля / Н. А. Попова. – Саратов: СГТУ, 2016.

4. Шехтель, Ф. О. Пояснительная записка «К расчету проектируемого храма в селе Балаково Самарской губернии А. М. Мальцева». – Строительный фонд Самарского архива, 1909.

УДК 72

### **Неоклассическая стилизация в памятниках купеческой архитектуры города Балаково**

Попова Надежда Александровна, доктор архитектуры,  
почётный 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 стилистическим особенностям неоклассицизма местной купеческой архитектуры конца XIX в., «хлебной столицы» России – малого города Балаково Самарской губернии, где сохранилось наследие стиля русского неоклассицизма.*

Неоклассицизм – стиль, опирающийся на образцы архитектуры Древней Греции и Древнего Рима, а также на наследие эпохи Возрождения и классицизма. Принципиальное отличие от классицизма – иная интерпретация античных мотивов. Неоклассицизм России последней трети XIX-начала XX веков проявил стремление возродить и удержать классическую гармонию в стремительно меняющемся мире – характерное явление «fin de siècle», «финала века» [1].

Стиль неоклассицизма в русской архитектуре содержит средневековые традиции, которые переплетаются с элементами модерна и классики. Особенности стиля в архитектуре – классические ордера, симметричная композиция, четкие силуэты, использование античных декоративных форм, стремление к созданию единых городских ансамблей (неоклассицизм в архитектуре – явление специфически петербургское: если неорусский стиль и модерн нашли особенно благоприятную почву в Москве, то неоклассицизм развивался преимущественно в Санкт-Петербурге), эстетизация прошлого – ретроспективизм.

Образ классического Петербурга вдохновил архитекторов купеческих строений Балаково, которые выразили черты неоклассицизма в лучших памятниках. Наиболее



ценными памятниками неоклассицизма являются строения усадебного комплекса купцов-старообрядцев Мальцевых – родовая усадьба Анисима Мальцева и усадьба Паисия Мальцева – конец XIX века.

Городская усадьба Паисия Мальцева (улица Коммунистическая, 75) – памятник федерального значения, образец русского городского усадебного зодчества конца XIX–начала XX века, с чертами архитектуры неоренессанса архитектора Ф.И. Шустера и многостилевое убранство интерьеров, выполнено мастером модерна Ф.О. Шехтелем [2].



*Рис. 1. Фото памятника федерального значения:  
вверху – фасад; внизу – общий вид главного дома городской усадьбы  
купца Паисия Мальцева*

Принадлежность архитектуры к неоклассике подтверждает наличие в архитектуре экстерьера и интерьера следующего: обилие лепных и декоративных элементов в классическом стиле; рустовка пилястр и верхнего поля ворот; баллюстрада с вазонами и другие формы и детали с чертами античности и Возрождения.

Ярким примером, характеризующим развитие кирпичного стиля в Балаково конца XIX–начала XX века является историческая архитектура усадьбы купцов-

старообрядцев Мальцевых, самая крупная из купеческих усадеб города. Усадьба занимает прямоугольный участок (85х85 метров) с замкнутой планировкой, включает в себя тринадцать строений, три внутренних двора и сад. Торжественные ворота, фасады главного дома Михаила Трофимовича Мальцева, дворовые фасады домов Екатерины Меркульевой и Анисима Мальцева, главные фасады каретного и гостиного корпусов, ажурная ограда липового сада образуют ансамбль торжественного двора (рис. 1), имеющего презентабельную функцию приема гостей.



*Рис. 2. Фрагменты архитектуры фасада с торжественными рустованными въездными воротами и величественным аттиком*

Домовладения богатых купцов Мальцевых, сложившиеся как целостные ансамбли [3] кирпичного стиля конца XIX века, как комплекс жилых и хозяйственных построек из красного кирпича (дома, флигели, брандмауэры, лавки, лабазы, подвалы, конюшни, каретные сараи, бани, погреба и прочие строения). Усадьбы имеют высокие кирпичные ограды, богато декорированные металлическими решетками с деревянными профилированными воротами (рис. 3). Высокие кирпичные глухие брандмауэры разделяют дворовые места друг от друга.

Конец XIX века ознаменован ростом производства кирпичных заводов до шести [2]. Происходит бум кирпичного купеческого строительства. Работают семь кирпичных заводов, которые выполняют выпуск кирпича по заказам под определенный объект по индивидуальным чертежам раскладки, с выполнением качественного облицовочного кирпича, не требующего штукатурки и фигурного кирпича сложных архитектурных форм для убранства фасадов. Кирпичный стиль – одно из рациональных течений [3]. В архитектуре России конца XIX века на смену недолговечной и непрочной штукатурки в строительную практику приходит новый способ отделки фасадов, простой и практичный.

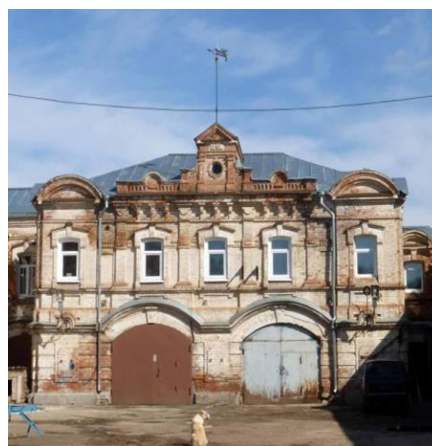


*Рис. 3. Ограда усадьбы Паусия Мальцева с улицы Ленина*

Каретный корпус (рис. 2) располагается в глубине главного двора и разгораживает пространство усадьбы с задним конюшенным двором. Нижний этаж для карет, верхний для служебных помещений. Здание расположено на оси въезда, и его строго симметричная классическая композиция построения фасада подчиняется ей. Центральная ось выделена на фасаде в композиции аттика. Все строения, сооружения и малые формы усадьбы выполнены из единого материала – облицовочного кирпича, в стиле историзма с чертами неоренессанса, что создает впечатление целостности и законченности. На фасаде выделена центральная часть и боковые плоскости. Боковые грани стены выявлены с помощью раскреповок, завершенных фронтонами характерной для ренессанса лучковой формы. Центральную часть завершает торжественный аттик с люкарной. Нижний этаж рустован и имеет два больших проема – ворота с лучковой формой завершения. Второй этаж имеет пять оконных проемов, украшенных санриками с замковым камнем, в простенках размещены стилизованные пилястры. Над люкарной – фриз с надписью «1891» и треугольный фронтон с флюгером. Восточный фасад каретной выходит в конюшенный двор [2].



*Рис. 4. Гостиный корпус. Конец XIX в.*



*Рис. 5. Каретный корпус. Конец XIX в.*

Гостиный корпус (рис. 4) – здание прямоугольной формы, вытянутое с востока на запад. Первый этаж ячейковой планировки с помещениями складского назначения,



каждая ячейка имела собственный вход. Проемы этого этажа чередуются последовательно: дверной, оконный. Нижний этаж рустован. Все формы отвечают неоклассическим традициям.

Так же как в каретном корпусе (рис. 5), в жилом доме Анисима Мальцева конца XIX века в архитектуре ярко проявляются черты неоклассики: парные раскреповки, аттиковые рельефные фронтоны лучковой формы.

В центре усадьбы располагается доминанта композиции усадебного комплекса – высокая четырехярусная башня-водокачка, которая обслуживала одну из немногих артезианских скважин Балаково с высококачественной питьевой водой:



*Рис. 6. Водонапорная башня.  
Конец XIX в.*



*Рис. 7. Хозяйственно-бытовой корпус.  
Конец XIX в.*

Водонапорная башня (рис. 6) состоит из двух объемов четырехэтажной прямоугольной в плане водонапорной башни и двухэтажного кубического объема хозяйственно-бытового назначения (мастерская, тепловой пункт, прачечная). Формы кирпичного стиля включают неоклассические черты.

Фасад двухэтажного объема хозяйственно-бытового корпуса (рис. 7), как и другие мальцевские строения, имеет архитектуру повторяющихся форм убранства с чертами Возрождения неоклассических традиций.



*Рис. 8. Брандмауэр. Конец XIX века*



*Рис. 9. Кронштейн фонаря*

Брандмауэр (рис. 8). Кладка брандмауэра выполнена с декоративными элементами в виде античных ложных полуциркульных арок, с замковым камнем в итальянском вкусе, где проявляются черты неоклассицизма. На брандмауэре имеются металлические декоративные кронштейны, предназначенные для размещения фонарей. Плоскость брандмауэра помимо своей основной противопожарной функции разграничивает территорию усадьбы на зоны.

#### Литература

1. Власов, В. Г. Стили в искусстве. Словарь. Архитектура, графика, декоративное искусство, живопись, скульптура / В. Г. Власов. – Санкт-Петербург, 1995. – С. 27.
2. Попова, Н. А. Балаково. Историко-архитектурное наследие / Н. А. Попова. – Саратов: Изд-во Саратовской епархии, 2008. – 140 с.
3. Ранинский, Ю. В. Историко-теоретические основы преемственности в развитии архитектурного ансамбля / Ю. В. Ранинский. – Москва, 1981.

**Особенности применения метода рулонирования  
при возведении вертикальных резервуаров**

Ращепкина Светлана Алексеевна, кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство»;

Бирюкова Екатерина Дмитриевна, студент специальности  
«Строительство уникальных зданий и сооружений»;

Габалова Дарья Вячеславовна, 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

*Рассмотрены различные способы возведения резервуаров, применяемые на различных промышленных объектах. Проанализированы основные их достоинства и недостатки. Дана краткая характеристика резервуаров, возводимых методом рулонирования, и показано их широкое применение в России.*

Современные промышленные организации по транспортировке различных веществ: нефти, газа, кислот, аммиака – объединяют сложные инженерные сооружения, которые связаны различными технологическими процессами, обеспечивающими надежное хранение, транспортировку и снабжение потребителей соответствующим продуктом. Одними из важнейших инженерных сооружений являются вертикальные цилиндрические стальные резервуары для нефти и других веществ.

На текущий момент резервуары для нефтепродуктов возводятся различными способами и имеют разнообразные конструктивные решения. Современные высокопроизводительные технологии позволяют определить и применить наиболее приемлемые варианты конструкций сооружений на разных этапах приема, переработки и транспортировки нефтепродуктов.

На практике применяются резервуары металлические, железобетонные. Наиболее распространены как у нас в стране, так и за рубежом стальные резервуары. Рынок по производству стальных вертикальных резервуаров (РВС) полностью занимает Россия (рис. 1).



*Рис. 1. Диаграмма производства РВС [1]*

РВС относятся к разряду массовых конструкций – это крупные цилиндрические емкости вертикального исполнения, с функциональными отверстиями и металлоизделиями для обслуживания. Их используют для приема, хранения, выдачи и учета больших объемов жидкостей: для хранения нефтепродуктов, химических жидкостей и других агрессивных и неагрессивных сред. РВС – одна из составных частей резервуарных парков, нефтеналивных терминалов на производствах по добыче, переработке и хранении нефти. Такие конструкции относятся к категории особо ответственных объектов. Объем резервуаров колеблется от  $100 \text{ м}^3$  до  $50000 \text{ м}^3$ .

Способы монтажа вертикальных резервуаров.

Первые вертикальные резервуары возводились полистовым способом, то есть путем сборки из отдельных листов. Затем полистовой метод стал применяться при строительстве резервуаров большой вместимости. Сущность этого метода заключается в том, что резервуар собирается на монтажной площадке. Листы стенки соединяются на болтах или сваркой (рис. 2). Все комплектующие изготавливаются в заводских условиях с использованием специальной термической обработки проката с цинковым покрытием всех стальных элементов. Элементы сборной конструкции упаковываются в небольшие ящики на европаллетах. Это упрощает доставку элементов на место монтажа.

В 1929 г. на специальных заводах начали сваривать и сворачивать в рулоны отдельные пояса стенки резервуаров с образованием цилиндрической емкости. Таким образом появился новый метод возведения РВС – метод рулонирования, который все больше совершенствовался в процессе возведения резервуаров различного назначения. Остановимся более подробно на методе рулонирования (рис. 2а).

Летом 1948 года на нефтебазе в г. Киеве впервые был сооружен вертикальный цилиндрический резервуар  $V = 240 \text{ м}^3$ , днище и стенка которого смонтированы из рулонных заготовок путем их принудительного разворачивания на монтажной площадке. Идея монтажа стенки и днища резервуаров из крупногабаритных рулонных заготовок, которые свариваются в заводских условиях из отдельных листов и

свернутых в габаритные рулоны, предложена в ИЭС им. Е.О. Патона д.н.т. Г.В. Раевским в 1944 году и впервые была реализована под его руководством в 1948 году. Метод рулонирования, так назвали предложенный способ монтажа резервуаров, вошел славной страницей в историю отечественного резервуаростроения для хранения нефти и нефтепродуктов. С 1948 г. по 1952 г. при содружестве специалистов ИЭС им. Е.О. Патона, «ВНИИмонтажспецстроя», ЦНИИПСК им. Н.П. Мельникова и ряда других монтажных организаций на заводах металлоконструкций была создана необходимая база для изготовления рулонных заготовок с двухсторонней автоматической сваркой под флюсом продольных и поперечных швов полотнищ.

Достоинства метода рулонирования:

- метод обеспечивает 3-4-кратное уменьшение времени изготовления резервуарной емкости ввиду сокращения (на 80 %) количества сварочных операций на рабочей площадке;
- в итоге – снижается стоимость конструкции (низкая себестоимость в сравнении с альтернативными технологиями монтажа);
- использованием промышленной двусторонней автоматической сварки обеспечивается стандартное качество швов;
- небольшой срок производства работ по контролю качества сварочных соединений на монтаже за счёт выполнения этого вида работ в заводских условиях;
- метод менее трудоемок и позволяет резко уменьшить объем сборочных и сварочных работ на строительной площадке и в среднем в 4 раза сокращает продолжительность монтажа.

Недостатки метода:

- рулонные заготовки для стенок большеобъемных (10 тыс. м<sup>3</sup> и более) резервуаров из-за требуемой толщины (свыше 18 мм) нижних поясов применять невозможно;
- стенки собираются из отдельных листов размером до 8х2,5 м с помощью механизированной и автоматической сварки на монтажной территории.



*а*



*б*

*Рис. 2. Пример возведения РВС:  
а – метод рулонирования; б – листовой метод [2]*

Сущность метода рулонирования.

Для изготовления полотна, для дальнейшего рулонирования, используют модули стального листа размером – 1500х6000 мм (количество полотнищ – одно, два или более – зависит от заказа, при этом масса рулона не должна превышать 65 т, а высота – 18 м), а также специальную установку – стенд рулонирования.

Изготовление рулона. Рулонирование осуществляется в 4 этапа:

- изготавливается технологический каркас;
- komponуются листы согласно чертежам;
- листы свариваются и рулонятся;
- рулоны подготавливаются к перевозке.

Технологический каркас изготавливается в заводских условиях, на стенде рулонирования, который представляет собой комплекс, состоящий из частей (рис. 3):

- кантовочный барабан;
- сворачивающее устройство;
- две сборочно-сварочные площадки (нижнего и верхнего ярусов).

На таких установках полотнище сворачивается в рулон по двум типам – верхнему и нижнему. Различия лишь в том, что при верхнем – толщина стенок не превышает 16 мм, а при нижнем – толщина стенок до 18 мм.

На рис. 3 обозначено: 1 – монорельс; 2 – холостой барабан; 3 – сварочные автоматы; 4, 8 – планшайбы; 5 – свернутая в рулон стенка резервуара; 6 – эстакада; 7 – шахтная лестница резервуара; 9 – лист (заготовка); 10 – электрическая таль.

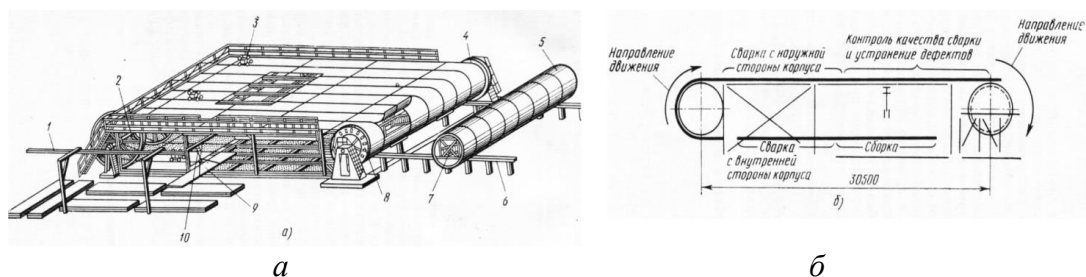


Рис. 3. Изготовление негабаритных резервуаров рулонированием:  
а – стенд; б – схема выполнения работ [3]

Монтаж рулона. После изготовления рулона на заводе – возведение резервуара методом рулонирования. На рис. 4а обозначено: 1 – рулон; 2 – шарнир; 3 – поддон; 4 – тяговый трактор; 5 – полиспаст; 6 – шевр; 7 – тяги; 8 – тормозной кран; 9 – тормозной трактор. Работы выполняются в следующей последовательности:

- доставка рулона на строительную площадку;
- трактором на специально подготовленной территории – песчаной подготовке – разворачивают свернутое в рулон днище;
- на днище накатывают и устанавливают в вертикальное положение рулон;
- до подъема рулона к продольной кромке полотнища приваривают мачту жесткости и далее к ней прикрепляют расчалки;
- трактором поднимают рулон при помощи «падающего» шевра (возможно крана) и поворотного устройства (рис. 4б).

На рис. 4б обозначено: 1 – трактор; 2 – тяговый канат; 3 – рулон; 4 – клиновой упор; 5 – скоба; 6 – расчалка; 7 – упоры; 8 – полуферма; 9 – кровля; 10 – мачта жесткости; 11 – временная опорная стойка; 12 – кран.

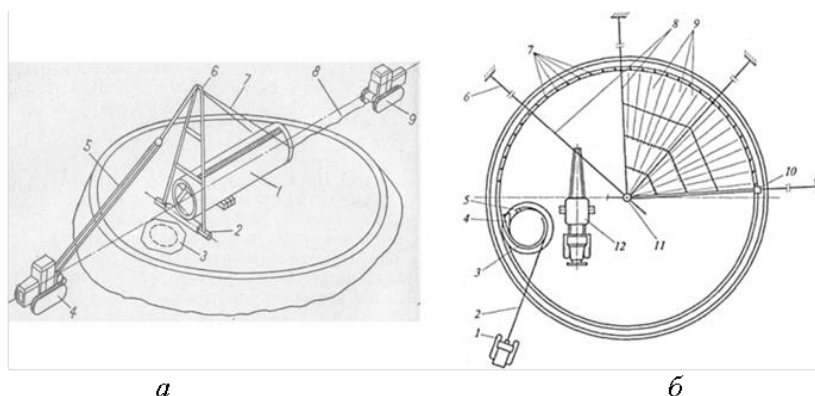


Рис. 4. Возведение РВС:  
а – поднятие рулона в вертикальное положение [4];  
б – процесс монтажа резервуара из рулонных заготовок [5]

Мачту расчаливают после подъема рулона, она и удерживает кромку рулона в вертикальном положении. Чтобы облегчить развертку рулона, его устанавливают на лист-поддон в виде круга с большим диаметром, чем рулон. Затем продолжают работы:

- на высоте 400...500 мм к рулону приваривают скобу, к которой прикрепляют тяговый канат от трактора;

- рулон разворачивают участками по 3...4 м, параллельно прихватывая сваркой стенку к днищу; возможное самопроизвольное сворачивание рулона устраняется клиновым предохранительным упором, его вставляют между развернутой частью стенки и рулоном;

- одновременно с разворачиванием полотнища устанавливают и приваривают к стенке резервуара опорные стойки кровли, монтируют стропила, прогоны и кровлю; работа выполняется находящимся на днище резервуара автомобильным краном;

- сварку вертикального шва выполняют с настила;

- сварочные швы днища, вертикальный монтажный шов и другие швы испытывают гидравлическим методом; сущность этого метода состоит в том, что сначала наполняют резервуар водой и выдерживают его в таком положении несколько дней, при этом смотрят за уровнем воды, состоянием конструкций и швов;

- кровлю испытывают нагнетанием сжатого воздуха, для этого при помощи компрессора в РВС создается требуемое давление воздуха, а все соединения на кровле промазываются мыльным раствором; дефекты выявляют по пузырям, которые появляются на кровле.

Строительство РВС методом рулонирования в России.

Рулонирование – надёжный метод изготовления многоцелевых вертикальных стальных резервуаров.

Вертикальные цилиндрические резервуары построены в большом количестве во многих регионах страны. В табл. 1 приведены достаточно распространенные типы РВС.



# Вертикальные цилиндрические резервуары, возведенные в России



*РВС-300 для горячей воды  
тепличном комплексе в г. Волжский [2]*



*Пожарные резервуары 2х750 м<sup>3</sup>.  
Самарская область, г. Чапаевск [7]*



*Резервуар для чистой питьевой воды  
объемом 1085 м<sup>3</sup>. Липецкая область,  
Грязинский район [8]*



*Резервуар объемом 1000 м<sup>3</sup>.  
Предприятие ГК в "Титан", г. Омск [6]*

В настоящее время этот метод возведения «работает» и используется во многих промышленных сферах:

- химической;
- пищевой;
- нефтяной;
- топливно-энергетической.

Основные характеристики РВС, возводимых методом рулонирования:

- объем – до 5000 м<sup>3</sup>;
- толщина стенки – до 18 мм;
- толщина днища в центральной части – до 6 мм;
- автоматическая сварка.

Выводы. На основе проведенного анализа было установлено следующее.

Возведение РВС методом рулонирования нашло широкое применение в различных регионах России и за рубежом.

С развитием науки и появлением новых технологических решений мир промышленности ожидает применение метода рулонирования для изготовления резервуаров со стенкой, превышающей толщину 18 мм.

Для изготовления резервуаров методом рулонирования будут более широко применяться новые современные материалы, повышающие надежность важного сооружения.

### Литература

1. ПКР-бизнес планы, инвестпроекты, маркетинговые исследования. Рынок РВС: [сайт]. – URL: <https://prcs.ru/analytics-article/rynok-rvs/> (дата обращения: 15.04.2023). – Текст: электронный.
2. Завод ООО «РезервуарСтройМаш»: [сайт]. – URL: <https://rsm-mash.ru/stroitelno-montazhnyie-raboty/p> (дата обращения: 15.04.2023). – Текст: электронный.
3. Сборка листовых негабаритных конструкций: [сайт]. – URL: <https://pereosnastka.ru/articles/sborka-listovykh-negabaritnykh-konstruktsii> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.
4. Технология монтажа РВС индустриальным методом: [сайт]. – URL: <https://studfile.net/preview/5333598/page:2/> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.
5. Строительство резервуаров рулонным методом. Find Out: [сайт]. – URL: <https://findout.su/7x5577.html> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.
6. Титан-груп: [сайт]. – URL: <https://titan-group.ru/press/news/v-emkostnoy-park-gk-titan-pribyl-novyy-rezervuar-tysyachnik/> (дата обращения: 23.04.2023). – Текст: электронный.
7. Системы промышленной очистки воды и водоподготовки: [сайт]. – URL: <https://www.flamax.ru/our-projects/pozharnye-rezervuary-dlya-industrialnogo-parka-pnk-park-chapaevsk/?ysclid=lhxzfrwhmp579296806> (дата обращения 23.04.2023). – Текст: электронный.
8. Сборные наземные резервуары: [сайт]. – URL: <https://www.flamax.ru/our-projects/rezervuar-dlya-chistoy-pitevoy-vody-dlya-zavoda-lvm-rus/?ysclid=lhxzczaa1747149315> (дата обращения 23.04.2023). – Текст: электронный.

**К усилению стальных конструкций при реконструкции вытяжной башни**

Ращепкина Светлана Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры

«Промышленное и гражданское строительство»;

Князькина Екатерина Владимировна, 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

*В настоящее время развитие промышленного производства неразрывно связано с реконструкцией, расширением и техническим перевооружением действующих предприятий. Это приводит к необходимости оценки технического состояния конструкций и при необходимости увеличения их несущей способности путем рационального усиления. В работе представлены возможные способы усиления башни в процессе ее реконструкции.*

Усиление строительной конструкции – это мероприятия, способствующие повышению ее несущей способности, жесткости. Необходимость усиления элементов вызывают следующие моменты:

- вследствие физического износа, агрессивности окружающей среды может произойти потеря эксплуатационных свойств конструкции и потеря ее устойчивости;
- изменение величины эксплуатационных нагрузок, которые возникают при установке нового оборудования, сопряженного с новой технологией;
- иногда ошибки проектировщиков могут заметно снизить прочность и устойчивость конструкции, что требует ее усиления;
- очень часто изменение расчетной схемы приводит к большим деформациям, особенно это чувствительно при осадках основания.

Существуют разные способы усиления конструкций, которые могут быть применены в реальном проектировании в действующих предприятиях. Основными способами усиления конструкций являются:

- создание и устройство распределительных устройств, которые изменяют работу усиливаемой конструкции;

- увеличение поперечного сечения элементов конструкции за счет устройства к ним новых деталей различной формы и материала;
- дополнительное создание жесткости разными элементами, которые уменьшают расчетные длины и повышают их устойчивость;
- изменение способов закрепления концов стержней, которые меняют работу стержневых элементов и в целом конструкции;
- эффективный способ усиления создается за счет введения затяжек из прутковой и уголкового стали.

Постановка задачи.

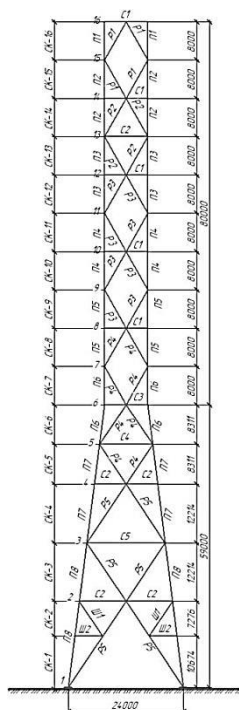


Рис. 1. Пространственный каркас башни

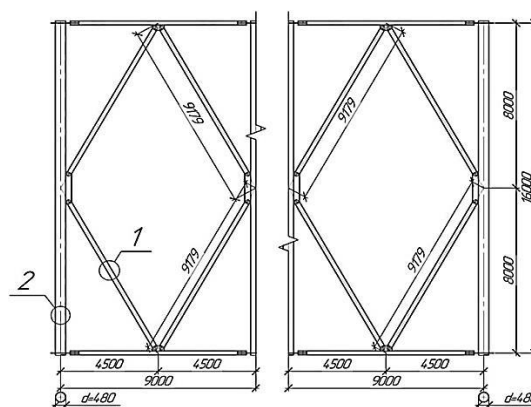


Рис. 2. Развертка секций СК-15 и СК-16:  
1, 2 – места дефектов

Рассмотрим вытяжную башню высотой 150 м, которая представляет собой стальную конструкцию, состоящую из несущего каркаса и одного газоотводящего ствола [1]. Башня выполнена в виде пространственного решетчатого каркаса, имеющего квадратную в плане конструкцию (рис. 1). Для передачи ветровых нагрузок с газоотводящего ствола на пространственную башню и обеспечения ее жесткости по высоте башни предусмотрены диафрагмы, а также кольцевые площадки.

Сооружение пространственной конструкции расположено в местности типа А во II ветровом и II снеговом районах. Усилия определялись с использованием ПК Лира [2]. Обследование каркаса и поверочный расчет элементов башни.

В ходе обследования стальной башни (рис. 1) объекта тепловой станции выяснилось, что нагрузка, действующая на колонны, увеличилась за счет установки нового оборудования. Кроме этого были обнаружены небольшие дефекты и погиби, корродирование некоторых элементов (рис. 2). Было принято решение усилить каркас башни стальными элементами – обоями. В таблице представлены различные варианты усиления элементов стальной решетки и рекомендованы приемлемые решения.

При обследовании [3] секций на верхних отметках были обнаружены общие искривления элементов, а в секции СК-16 искривления со стрелкой  $f'_{из} = 7,3$  см и коррозионный износ, равномерный по поперечному сечению с глубиной проникновения коррозии  $\Delta^* = 2$  мм (рис. 3).

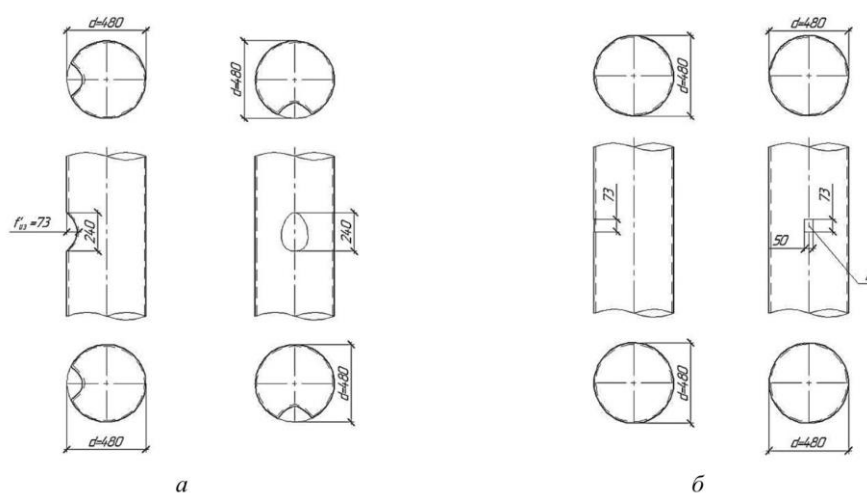


Рис. 3. Обнаруженные дефекты и повреждения пояса:  
а – искривления пояса: элемент № 2; б – коррозия пояса: элемент № 2

Пояс с дефектом выполнен из трубчатого сечения (тр. 480 × 9 мм) со следующими геометрическими характеристиками:  $A_0 = 132,61 \text{ см}^2$ ;  $W_0 = 1526,1 \text{ см}^3$ ;  $i_x = 16,58 \text{ см}$ . Расчетная длина элемента – 8000 мм. Материал конструкций сталь С345 ( $R_{y0} = 340 \text{ МПа}$ ). В связи с увеличением нагрузки на каркас (ветер, оборудование) усилие по обмерам составило  $N = 3006,406 \text{ кН}$ . В качестве примера выполним поверочный расчет дефектных частей пояса и нескольких способов усиления пояса башни.

Расчет элементов стального каркаса пространственной башни на необходимость их усиления велся по следующему алгоритму [4, 5]:

1) При коррозии, распределяемой равномерно по периметру конструкции, расчетная площадь поперечного сечения и расчетный момент сопротивления можно определить по формулам:

$$A_{ef} = (1 - k_{SA}\Delta^*)A_0, \quad \text{и} \quad W_{ef} = (1 - k_{sw}\Delta^*)W_0,$$

где  $A_0$  – площадь поперечного сечения элемента без учёта коррозионного износа;  $k$  – коэффициент слитности сечения, приближённо его можно принять по формуле замкнутого профиля  $1/t$ ,  $t$  – толщина стенки трубы (согласно рекомендациям [6]);  $W_0$  – момент сопротивления сечения без учёта коррозионных повреждений;  $k_{sw}$  – коэффициент изменения момента сопротивления вследствие коррозионного износа;  $\Delta^*$  – величина проникновения коррозии при односторонней коррозии.

2) Проверка напряжения в стержне в момент замера искривления стрелки  $f'_{из}$ :

$$\sigma' = N'_0/A_0 \leq \frac{\pi^2 E}{\lambda^2},$$

где  $i_{ef}$  и  $\bar{\lambda}$  приведенное значение радиуса инерции и условная гибкость элементов:

$$i_{ef} = \sqrt{\frac{W_{ef}h}{2A_{ef}}}, \quad \text{и} \quad \bar{\lambda} = \frac{H}{i_{ef}} \sqrt{\frac{R_{y0}}{E}}.$$

3) Стрелка искривления элемента в исходном ненагруженном состоянии будет равна:

$$f_0 = \psi_0 f'_{из}$$

где коэффициент  $\psi_0$ , определяемый по формуле:

$$\psi_0 = 1 - 0,1\bar{\lambda}^2 \cdot \frac{\sigma'}{R_{y0}},$$

где  $f'_{из}$  – величина искривления элемента (стрелки по замерам).

4) Коэффициент перехода от стрелки искривления к эквивалентному эксцентриситету определяют по формуле:

$$k = 0,82 + 0,1 \sqrt{\eta m_f^{\text{кор}}/\bar{\lambda}},$$

где  $m_f^{\text{кор}}$  – относительный эксцентриситет:

$$m_f^{\text{кор}} = \frac{f_0 A_{ef}}{W_{ef}},$$

$\eta$  – коэффициент влияния формы сечения по таблице Д2 СП [3]:

$$\eta = (1,35 - 0,05m_f) - 0,01(5 - m_f)\bar{\lambda}.$$

Тогда приведенный эксцентриситет будет:

$$m_{ef} = \eta \cdot k \cdot m_f^{\text{кор}}.$$

5) Дефектные элементы на необходимость их усиления можно проверить по условию:

$$\frac{N}{\varphi_e \cdot A_{ef}} \leq R_{y0} \gamma_c, \quad (a)$$

где  $\varphi_e$  коэффициент устойчивости, принимаемый по таблицам ДЗ СП [3].

Если условие (a) не выполняется, то элемент необходимо усилить и защитить специальными антикоррозийными покрытиями.

6) Расчетная величина продольной силы, воспринимаемая вертикальными элементами от действующей нагрузки,

$$N = \varphi_e \cdot R_{y0} \cdot A_{ef} \cdot \gamma_c.$$

Несущая способность поперечного сечения усиленного элемента будет обеспечена при выполнении условия:  $N_L > N_y$ , (6), где  $N_L$  – расчетная величина продольной силы, воспринимаемой уголками-ребрами или стальной обоймой;  $N_y$  – расчетное продольное усилие, передаваемое на конструкцию усиления.

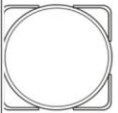
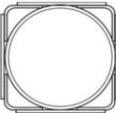
По данному алгоритму были выполнены расчеты пояса и возможные способы его усиления.

Обоснование оптимального варианта усиления пояса башни.

Ниже рассмотрено несколько вариантов усиления пояса металлической башни (табл. 1): усиление уголками-ребрами без планок и окаймленных дискретно расположенными планками, а также обоймой из гнутых и прокатных уголков.

Таблица 1

## Технико-экономические показатели элементов усиления [6]

| Вариант                | Эскиз                                                                                        | Сечение         | Усилие,<br>N <sub>L</sub> кН | Расход стали, кг/м |                       |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------|--------------------|-----------------------|
|                        |                                                                                              |                 |                              | на<br>уголки       | на уголки и<br>планки |
| 1<br>уголки-<br>ребра  |  без планок | 4 Гн 160х160х4  | 926                          | 9,76               | 13,36                 |
|                        |                                                                                              | 4 Гн 120х120х5  | 834                          | 11,1               | 14,71                 |
|                        |                                                                                              | 4 Гн 100х100х6  | 834                          | 8,79               | 12,39                 |
|                        |                                                                                              | с планками      |                              |                    |                       |
| 2<br>уголки-<br>ребра  |  с планками | 4 L100х100х6,5  | 955                          | 10,06              | 13,66                 |
|                        |                                                                                              | 4 L100х100х7    | 1024                         | 10,79              | 14,39                 |
|                        |                                                                                              | 4 L90х90х6      | 790                          | 8,33               | 11,93                 |
|                        |                                                                                              | 4 L90х90х7      | 915                          | 9,64               | 13,24                 |
| 3<br>уголки-<br>обойма |             | 4 Гн 250х250х16 | 5790                         | 61,01              | -                     |
|                        |                                                                                              | 4 Гн 250х250х4  | 1447                         | 15,25              |                       |
|                        |                                                                                              | 4 Гн 250х250х5  | 1809                         | 19,06              |                       |
|                        |                                                                                              | 4 Гн 250х250х6  | 2171                         | 22,87              |                       |
| 4<br>уголки-<br>обойма |            | 4 L250х250х16   | 5844                         | 61,55              | -                     |
|                        |                                                                                              | 4 L250х250х4    | 1461                         | 15,38              |                       |
|                        |                                                                                              | 4 L250х250х5    | 1826                         | 19,23              |                       |
|                        |                                                                                              | 4 L250х250х6    | 2191                         | 23,08              |                       |

Анализируя данные, полученные в таблице, можно сделать вывод, что усиление пояса башни стальными уголками-ребрами с дискретно расположенными планками наиболее целесообразно и выгодно при варианте 1. Однако металлическая обойма из прокатных уголков более надежная (вариант 2), чем при гнутых уголках. Выполнение обойм по вариантам 3 и 4 имеет большой запас, усиление наиболее надежное. Но расход стали заметно увеличивается, что повышает стоимость усиления сооружения.

Выводы. В результате проведенного расчета усиления элементов вытяжной башни для газоотводящего ствола получено следующее:

- выявлены основные дефекты элементов решетки вытяжной башни;
- рассмотрены возможные варианты усиления при повышении нагрузки, коррозии и искривлении основных элементов.

Полученные расчеты и анализ способов усиления рекомендуется использовать при реконструкции действующих объектов – вытяжных башен под газоотводящие стволы на тепловых и атомных электростанциях.



## Литература

1. Попова, Ю. А. О проектировании башни для газоходов тепловой электростанции / Ю. А. Попова, Э. К. Акимов, С. А. Ращепкина // Вестник Евразийской науки. – 2020. – Т. 12. – № 6. – С. 167-162.
2. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2012 / Р. Ю. Водопьянов, Ю. В. Гензерский, В. П. Титок, А. Е. Артамонова: [сайт]. – URL: <https://www.liraland.ru> / (дата обращения: 30.03.2023). – Текст: электронный.
3. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений: [сайт]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4294816/4294816189.htm> (дата обращения: 12.04.2023). – Текст: электронный.
4. Свод правил СП 16.13330.2017. Стальные конструкции: [сайт]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293745/4293745484.htm> (дата обращения: 12.04.2023). – Текст: электронный.
5. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций: [сайт]. – URL: <https://dwg.ru/dnl/1427> (дата обращения: 12.04.2023). – Текст: электронный.
6. ГОСТЫ: сортовой и фасонный прокат: [сайт]. – URL: <https://gost.ruscable.ru/catalog/?c=0&f2=3&f1=II2003002002> (дата обращения: 12.04.2023). – Текст: электронный.

УДК 69.07

### **Напряженно-деформированное состояние несущих конструкций каркасно-монолитного здания при прогрессирующем обрушении**

Редков Валерий Иванович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры  
«Строительные материалы, конструкции и технологии»;

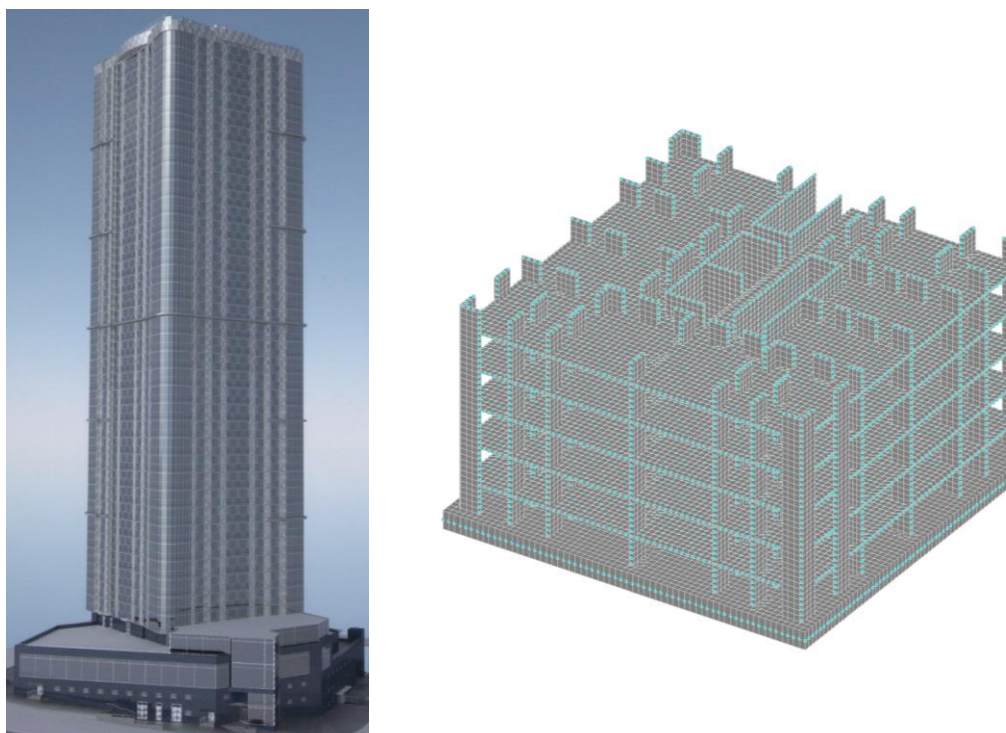
Яуров Валерий Владимирович, студент направления «Строительство»  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов

*Приводятся результаты расчетов высотного каркасно-монолитного здания на устойчивость против прогрессирующего обрушения. С использованием вычислительного комплекса SCAD Office выполнены расчеты конструктивной системы и определено напряженно-деформированное состояние элементов каркаса здания в нормальных условиях эксплуатации и при локальном разрушении отдельных конструкций.*

Одной из основных задач проектирования уникальных зданий и сооружений является обеспечение их устойчивости против прогрессирующего обрушения. В соответствии с действующими нормами [1] здания и сооружения нормального и повышенного уровня ответственности должны быть защищены от прогрессирующего обрушения при локальном разрушении конструкций. Для предупреждения прогрессирующего обрушения может быть предусмотрено общее упрочнение всего здания, местное усиление и взаимосвязь конструктивных элементов. Необходимость разработки и реализации дополнительных конструктивных мероприятий по повышению устойчивости здания против прогрессирующего обрушения значительно усложняет процесс проектирования, строительства и эксплуатации строительных объектов.

Прогрессирующее (лавинообразное) обрушение представляет собой последовательное (цепное) разрушение несущих строительных конструкций, приводящее к обрушению всего сооружения или его частей вследствие локального разрушения в результате аварийных воздействий [1]. Аварийные ситуации могут вызываться природными явлениями (землетрясения, ураганы, оползни, неравномерные деформации оснований), а также могут быть связаны с деятельностью человека (взрывы газа, теракты, пожары, наезды транспорта, дефекты проектирования, строительства, эксплуатации, реконструкции зданий и др.).

Для анализа напряженно-деформированного состояния несущих конструкций каркасно-монолитного здания при прогрессирующем обрушении рассмотрим 37-этажное здание с верхним техническим этажом, подземной парковкой и нежилыми помещениями на 1 этаже (рис. 1). Каркас здания – монолитный железобетонный из бетона класса В30 и арматуры класса А500С. Высота надземных этажей – 3 м, высота технического этажа – 2,5 м, высота подземной парковки – 3,1 м. В центре здания расположено ядро жесткости с лифтовыми шахтами и лестничной клеткой. Плиты перекрытия безригельные толщиной 200 мм. Шаг пилонов различный. Основные пилоны в подземной части имеют сечение 1600х400 мм.



*Рис. 1. Общий вид здания и фрагмент расчетной схемы*

Построение компьютерной модели и расчеты напряженно-деформированного состояния каркасно-монолитного высотного здания выполнены в вычислительном комплексе SCAD Office 21.1. Вычислительный комплекс реализован в виде интегрированной системы прочностного анализа и проектирования конструкций на основе метода конечных элементов и позволяет определить напряженно-деформированное состояние конструкций от статистических и динамических воздействий, а также выполнить ряд функций проектирования элементов конструкций зданий и сооружений сложной структуры [2]. ВК SCAD Office 21.1 позволяет выполнять моделирование поведения конструкции зданий и сооружений в случае аварийных воздействий, вызвавших локальные разрушения отдельных вертикальных несущих элементов.

На рис. 1 приведены общий вид и фрагмент расчетной схемы здания, построенной в ВК SCAD Office 21.1 для условий нормальной эксплуатации здания.

Расчет на прогрессирующее обрушение в комплексе SCAD Office 21.1 выполнялся в два этапа [2]. На первом этапе для первичной расчетной схемы здания с нормальными условиями эксплуатации здания выполнен МКЭ-расчет по первой группе предельных состояний, определено напряженно-деформированное состояние в элементах конструктивной системы, установлены наиболее нагруженные элементы схемы. В расчете учтены постоянные, временные длительные и кратковременные

нагрузки.

Рекомендуемое армирование плит перекрытия, установленное по результатам расчета первичной конструктивной системы здания:

- в пролете армирование стержневой арматурой диаметром 12 и 14 мм класса А500С с шагом 200 мм;

- в приопорной зоне армирование стержневой арматурой диаметром 14 и 18 мм класса А500С с шагом 200 мм;

Выбор наиболее нагруженных элементов конструктивной схемы здания производился исходя расчетных сочетаний усилий (РСУ).

На втором этапе расчета моделировалась аварийная ситуация с прогрессирующим обрушением конструкций в результате разрушения пилона подземной парковки в осях А-6 с наибольшими расчетными усилиями. При этом строилась вторичная расчетная схема здания, получаемая из первичной расчетной схемы путем исключения пилона, расположенного в зоне локального разрушения.

Для вторичной расчетной схемы выполнен расчет конструктивной системы с удаленным элементом и определено напряженно-деформированное состояние в элементах конструктивной системы, возникающее при локальном разрушении (выключении несущего элемента). При этом одной из основных задач проектирования является обеспечение прочности и устойчивости конструкций, попадающих в зону прогрессирующего обрушения.

В соответствии с рекомендациями [2] физическая нелинейность учитывается при назначении физически нелинейных конечных элементов и соответствующих параметров диаграмм нелинейного деформирования материалов. В состав библиотеки нелинейных конечных элементов входят также элементы, позволяющие производить одновременный учет физической и геометрической нелинейности.

На рис. 2. приводятся отдельные результаты расчета первичной схемы и вторичной схемы с аварийной ситуацией для пилона в осях А-6.

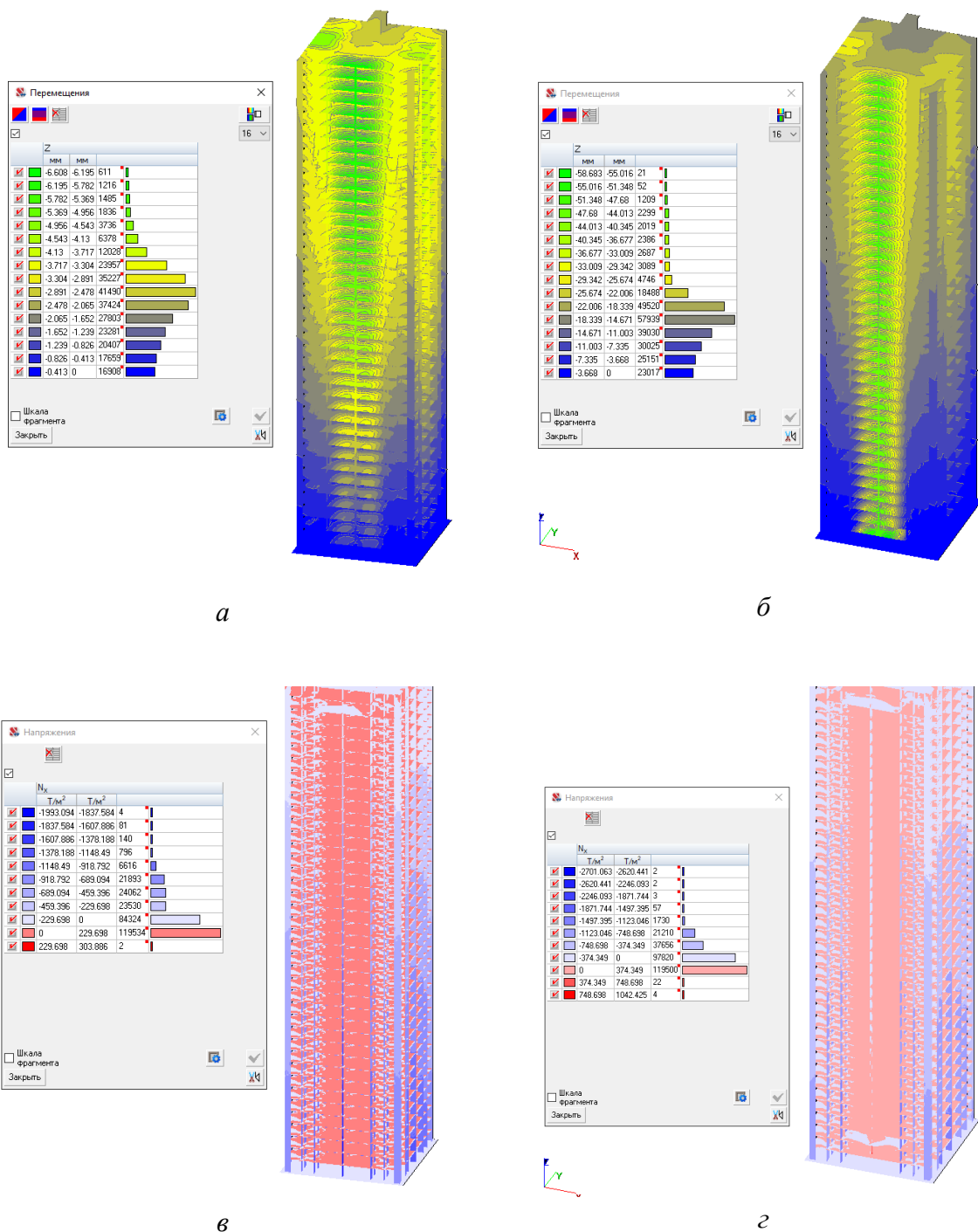
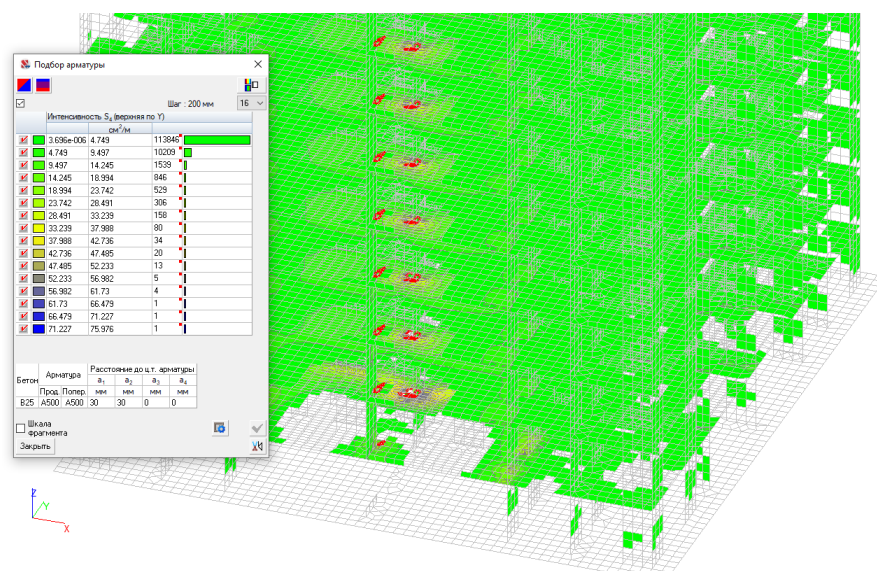


Рис. 2. Результаты расчетов в SCAD Office 21.1:

- а – изополя вертикальных перемещений для первичной расчетной схемы;  
 б – изополя вертикальных перемещений для вторичной расчетной схемы;  
 в – изополя продольных сил  $N$  для первичной расчетной схемы;  
 г – изополя продольных сил для вторичной расчетной схемы



*Рис. 3. Результаты расчета армирования перекрытий для вторичной расчетной схемы*

Расчетами конструктивной системы высотного здания на прогрессирующее обрушение с использованием BK SCAD Office 21.1. установлено, что вычислительный комплекс SCAD Office 21.1. позволяет выполнять статические и динамические расчеты для анализа напряженно-деформированного состояния конструкций каркасно-монолитного здания при прогрессирующем обрушении.

При разрушении пилона в осях А-6 на уровне подземной парковки поэтажно выходят из режима нормальной эксплуатации конструктивные элементы части здания высотой более 2 этажей и площадью в плане более 80 м<sup>2</sup>. Максимальные вертикальные перемещения конструкций изменяются с 6,6 мм до 58,7 мм (на 789,4 %). Максимальные растягивающие усилия увеличиваются с 229,69 т/м<sup>2</sup> до 748,69 т/м<sup>2</sup> (на 226,6 %).

### Литература

1. СП 385.1325800.2018. Свод правил. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения. – Москва, 2019. – 26 с.
2. SCAD Office. Версия 21. Вычислительный комплекс SCAD++ / В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. А. Маляренко [и др.]. – М.: Изд-во «СКАД СОФТ», 2015. – 848 с.