

СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

Construction and industrial safety
Scientific and Technical Journal on Construction and Architecture

№ 39(91) – 2025

Основан в 1996 году.
Выходит 4 раза в год (ежеквартально)

Учредитель:

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» (ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»), 295007, Республика Крым, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовым коммуникациям (Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-61830 от 18 мая 2015 г.

Включен в утверждённый ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации Перечень рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание учёных степеней кандидата наук, доктора наук

Главный редактор
Федоркин Сергей Иванович, советник РААСН, д.т.н., проф.
(КФУ им.В.И. Вернадского)

Заместители главного редактора:
Любомирский Николай Владимирович, советник РААСН,
д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского)
Николенко Илья Викторович, советник РААСН,
д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского)

Редакционная коллегия:
Абдулгасис У.А., д.т.н., проф. (КИПУ, Симферополь)
Аверкова О.А., д.т.н., проф. (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород);
Бакаева Н.В., д.т.н., проф. (ЮЗГУ, Курск);
Бекиров Э.А., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь);
Беспалов В.И., д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону)
Ветрова Н.М., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь) – руководитель раздела «Экологическая
безопасность»;
Гузнецков В.Н., д.пед.н., доц. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва);
Дворецкий А.Т., советник РААСН, д.т.н., проф. (КФУ им. В.И.
Вернадского, Симферополь);
Зайцев О.Н., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь) – руководитель раздела «Инженерное обеспечение»;
Маилян Д.Р., советник РААСН, д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-
Дону);
Нагаева З.С., член-корреспондент РААСН, д.арх., проф. –
руководитель раздела «Градостроительство»
Невзоров А.Л., советник РААСН, д.т.н., проф. (САФУ им. М.В.
Ломоносова, Архангельск);
Несветаев Г.В., советник РААСН, д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-
Дону);
Пищулина В.В., д.арх., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);
Самбурский Г.А., советник РААСН, д.т.н., проф. (РХТУ имени Д.
И. Менделеева, Москва)
Сергейчук О.В., д.т.н., проф. (КНУСА, Киев, Украина);
Скибин Г.М., д.т.н., проф. (ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова,
Новочеркасск);
Тер-Мартirosян А. З., д.т.н., проф. (НИУ МГСУ, Москва)
Толстой М.Ю., к.т.н., доц. (ИРНИТУ, Иркутск);
Федосов С.В., академик РААСН, д.т.н., проф. (МГСУ, Москва)
Федюк Р.С., советник РААСН, д.т.н., доцент (ДВФУ, Владивосток);
Цопа Н.В., советник РААСН, д.э.н., проф. (КФУ
им. В.И. Вернадского, Симферополь);
Чемодуров В.Т., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь);
Шаленный В.Т., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь) – руководитель раздела «Строительство»;
Шейна С.Г., советник РААСН, д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-
Дону);
Щербаков В.И., д.т.н., доц. (ВГТУ, Воронеж);
Югов А.М., д.т.н., проф. (ДонНАСА, Макеевка)

СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 39(91) – 2025
научно-технический журнал

Печатается по решению научно-технического
совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
(протокол № 12от 19.12.2025)

Координатор выпуска: *И.В. Николенко*
Верстка: *Г.Р. Биленко*

Редакция Института «Академия строительства и
архитектуры» ФГАОУ ВО «КФУ им.
В.И. Вернадского»

Адрес редакции: 295006, Республика Крым,
г. Симферополь, ул. Павленко, д. 3
e-mail: rio@napks.ru

Подписан в печать 22.12.2025.
Формат А4.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.
Гарнитура Times New Roman. Усл.-печ. л. 10,3.
Тираж 100 экз.
Дата выхода в свет 22.12.2025

Издатель: федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Крымский федеральный университет имени
В.И. Вернадского».

Издательство: ФГАОУ ВО «КФУ
им. В.И. Вернадского»
<http://cfuv.ru>, io_cfuv@mail.ru
(3652) 60-84-98,

295007, Республика Крым, г. Симферополь,
проспект Академика Вернадского, 4, каб. 400Б

Отпечатано в типографии ФГАОУ ВО «КФУ
им. В.И. Вернадского»
Адрес типографии 295000, Республика Крым,
г. Симферополь, бульвар Ленина, 5/7

Распространяется бесплатно.

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1. Градостроительство

<i>Маяцкая И.А.</i> ФРАКТАЛЬНОСТЬ В ФОРМООБРАЗОВАНИИ ОБЪЕКТОВ АРХИТЕКТУРЫ	5
<i>Сидорова В.В., Курунин И.К.</i> АГРОТУРИЗМ КАК ИНСТРУМЕНТ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ: МИРОВОЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ	13

Раздел 2. Строительство

<i>Шаленный В.Т., Замша О.Н., Таджиев А.Ш.</i> СУЩНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БЕЗМАЯЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ «МОКРОЙ» ШТУКАТУРКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ BIM ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА	21
<i>Савенко А.А., Пономарев А.Ю., Будюк Е.О.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	31

Раздел 3. Инженерное обеспечение

<i>Топорен С.С., Федюшко Ю.М.</i> НАУЧНО-ОБОСНОВАННЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ МИКРОКЛИМАТА В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ НА ОСНОВЕ МНОГОУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА ПОЛА С РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭНЕРГОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ	37
<i>Николенко И.В., Чемодуров В.Т., Бекирова З.Р.</i> АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ НАГРУЖЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА	45
<i>Дихтярь Т.В., Зайцев О.Н., Ангелюк И.П., Дихтярь М.С.</i> ВЛИЯНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ НА РЕЖИМ ДВИЖЕНИЯ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СМЕСИ	55
<i>Богущий Ю.Г., Калафатов Д.А., Белавский В.А., Родин С.В.</i> РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ФЕРМ ПОКРЫТИЯ НА ПК «ЛИРА-САПР» ПО РЕЗУЛЬТАМ ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОСЛЕ ПОЖАРА	61

Раздел 4. Экологическая безопасность

<i>Мовчан С.И.</i> ОСВЕТЛЕНИЕ СТОЧНЫХ ВОД В ЛОКАЛЬНОМ ВОДООЧИСТНОМ ОБОРУДОВАНИИ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ	69
<i>Крымов Р.С.</i> НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК В СИСТЕМЕ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА	79
<i>Список авторов</i>	89
<i>Руководство для авторов</i>	90

CONTENT

Section 1. Town planning

Mayatskaya I.A. FRACTALITY IN THE SHAPING OF ARCHITECTURAL OBJECTS	5
Kurunin I.K., Sidorova V.V. AGROTOURISM AS A TOOL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF TERRITORIES: GLOBAL AND DOMESTIC EXPERIENCE	13

Section 2. Construction

Shalenny V.T., Zamsha O.N., Tadzhiev A.S. ESSENCE, EFFECTIVENESS, AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF BIM- BASED WET STUCKEY TECHNOLOGY	21
Savenko A.A., Ponomarev A.Yu., Budyuk E.O. IMPROVING THE EFFICIENCY OF PROJECT MANAGEMENT IN CONSTRUCTION	31

Section 3. Engineering Support

Toporen S.S., Fedyushko Yu.M. SCIENTIFICALLY BASED ENGINEERING SOLUTIONS FOR OPTIMIZING THE MICROCLIMATE IN LIVESTOCK FACILITIES BASED ON A MULTI-LEVEL ELECTRIC FLOOR HEATING SYSTEM WITH CONTROLLED POWER DISTRIBUTION	37
Nikolenko I.V., Chemodurov V.T., Bekirova Z.R. THE ANALYSIS OF PIPELINE LOADING FEATURES OF WATER SUPPLY AND WASTEWATER DISTRIBUTION SYSTEMS IN THE COASTAL ZONE TO SUBSTANTIATE THEIR CALCULATION METHODS	45
Dikhtyar T.V., Zaitsev O.N., Angelyuk I.P., Dikhtyar M.S. INFLUENCE OF THERMODYNAMIC CRITERIA ON THE MOVEMENT REGIME OF A GAS-LIQUID MIXTURE	55
Bogutsky Y.G., Kalafatov D.A., Belavsky V.A., Rodin S.V. CALCULATION OF THE LOAD-BEARING CAPACITY FOR ROOF TRUSSES ON THE LIRA-SAPR PC BASED ON THE RESULTS OF A POST-FIRE INSPECTION	61

Section 4. Environmental safety

Movchan S.I. SEWAGE TREATMENT IN LOCAL WATER TREATMENT EQUIPMENT WATER RECYCLING SYSTEMS	69
Krymov R.S. NEURAL NETWORK MODEL FOR DETECTING LEAKS IN THE WATER SUPPLY AND DISTRIBUTION SYSTEM OF THE SOUTHERN COAST OF CRIMEA	79
List of authors	89
Authors Guide	90

Раздел 1. Градостроительство

УДК 721.01:51-74

ФРАКТАЛЬНОСТЬ В ФОРМООБРАЗОВАНИИ ОБЪЕКТОВ АРХИТЕКТУРЫ

Маяцкая И.А.

Донской государственной технической университет;
г.Ростов-на-Дону, Россия,
E-mail: irina.mayatskaya@mail.ru

Аннотация. В статье проведено исследование структуры сооружений с использованием фрактальной размерности. Это дает возможность понять возможности создания фрактальных элементов этих уникальных зданий. Показаны методики определения фрактальной размерности для объекта, как на плоскости, так и в пространстве.

Предмет исследования: фрактальные формы сооружений архитектуры для поиска вариантов архитектурных решений.

Материалы и методы: Использование методов фрактальной геометрии позволяет более эффективного применения цифровых технологий в процессе сохранения и восстановления объектов архитектурного наследия.

Результаты: В статье дается акцент на создание цифровых моделей известных объектов архитектуры и других уникальных сооружений Европы и России. В статье рассматриваются методы вычисления фрактальной размерности объектов с различной видами формообразования. Приведен пример сооружения готической архитектуры с высокой степенью фрактальности. В данном исследовании приведены примеры фрактальных структур. Приводятся основные методы фрактальной геометрии, рассмотрены взаимосвязи и закономерности фрактальности архитектурных элементов сооружений. Исследованы разные методы вычисления фрактальной размерности. Проведен поиск оптимального решения при определении дробной размерности математическими методами.

Выводы: Фрактальная геометрия и математические методы, основанные на цифровых технологиях, помогают находить уникальные формы при моделировании структуры искусственной среды, при создании архитектурных комплексов. Определен вектор развития фрактальности с использованием дробной размерности. Поиск фрактальных структур в архитектуре позволяет создавать уникальные формы. И теория фракталов помогает воплощать эти образы в работах архитекторов.

Ключевые слова: архитектура, формообразование, элемент, фрактал, фрактальная размерность, цифровые технологии.

ВВЕДЕНИЕ

Фрактальность – это понятие, которое позволило сделать революцию в математике, в понимании нашего реального мира. Сами понятия «фрактал» и «фрактальная размерность» были сформулированы Бенуа Мандельбротом в 1967 году [1]. И с тех пор начала свое развитие неклассическая математика, математика, которая старается объяснить самые неожиданные явления, будь то в физике, в прогнозировании климата, в биологии, в экономике и в других самых интересных областях познания реального мира [1-3].

Фрактальность присуща природным формам и объектам шедевров мировой архитектуры. Архитекторы использовали изломанность линий, ажурность архитектурных элементов, самоподобие внешнего и внутреннего пространств. Это было хорошо видно в сооружениях мировой архитектуры, в том числе и готической [4-7]. Сооружения с уникальной фрактальной структурой являются достоянием мировой архитектуры. Изучая фрактальность удивительных по форме зданий и организацию внешнего и внутреннего пространств сооружения, можно создавать современные здания со своим неповторимым стилем.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Целью данного исследования является изучение фрактальных форм сооружений архитектуры для

поиска удивительных вариантов архитектурных решений. Методы исследования включают следующие последовательности изучения проблемы: изучение фрактальных форм в архитектуре различных сооружений; анализ тех особенностей строения, которые можно использовать в проектировании прочной и устойчивой конструкции. Использование цифровых технологий при реставрации и реконструкции исторических зданий. Необходимо создание цифровых моделей шедевров мировой архитектуры, в том числе и уникальных современных сооружений. Это позволит оптимизировать процесс восстановления и сохранения исторических объектов. А изучение фрактальности и применение других математических методов в формообразовании позволит создавать уникальные здания.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Развитие фрактальной геометрии, математического моделирования и современных программных комплексов привело к пониманию о влиянии фрактальных методов при проектировании архитектурных объектов. В развитии фрактальной архитектуры можно выделить два этапа: интуитивный и осознанный.

Архитекторы прошлых веков часто применяли такое свойство фракталов, как самоподобие. Ведь основное определение фрактала связано с созданием самоподобных структур с дробной

размерностью как с увеличением, так и с уменьшением объекта. Примером сооружений с самоподобными элементами служат храмы в Индии: храмы Кайласанатха в Эллоре, Акшардхани в Дели, Хойсалешвара в Халебиду и храмовые комплексы в Махабаликуруме (разрушен цунами 2004 года, позже восстановлен), Махабет Макбара в Джунагадже, Кхаджурахо. Многие сооружения в мире имеют высокий уровень фрактальности, особенно это присуще объектам готической и неоготической архитектуры [4-7].

Принципы фракталоподобного формообразования применялись многими архитекторами в мире. На основе опыта и интуиции были созданы архитектурные памятники. Ярким примерами такой архитектурой являются сооружения Антонио Гауди. Современные архитекторы также используют методы фрактальной геометрии, только с более сложной структурой.

Определение фрактальной размерности для архитектурных объектов возможно математическими методами. Необходимо создание программы по сохранению архитектурного облика городов России с базой виртуальных объектов. Пока не ясно, как будет использоваться данное понятие, скорее всего для классификации объектов. Но идет время, и некоторые объекты исторического архитектурного наследия могут быть утрачены. Примером объекта архитектурного наследия, который находится в очень плохом состоянии, является доходный дом наследников В.Р. Максимова на ул. Московская 72 (г. Ростов-на-Дону), дата постройки 1899 год, архитекторы Дорошенко Н.А., Дурбах Н.Н., он известен как дом с ангелами. Сооружение очень сильно разрушено и проводить реставрацию объекта будет очень сложно. Если специалисты смогут провести эти работы, то это будет символом реставрации и

реконструкции Старого Ростова-на-Дону. Фрактальная размерность может определять вектора развития компьютерной базы. Создание виртуальных моделей объектов архитектурного наследия поможет в работе реставраторов и архитекторов.

Метод для вычисления фрактальной размерности, который использовал Исмаил Х.Д. в своей работе по фрактальному анализу мечетей, предложил В. Лоренс и К. Бовилл [8-10]. Это метод определения размерности DB («box counting dimension method») представляет собой метод ячеистого вычисления размерности. Он позволяет определить размерности самоподобных форм и других фрактальных структур. Размерность DB отражает степень изломанности фрактальной структуры объекта сложной формы на плоскости. Если же нужно определить размерности в пространстве, то нужно найти DB в трех взаимноперпендикулярных плоскостях (в декартовых координатах).

Размерность DB определяется по формуле

$$DB_{(1-2)} = \frac{\log N_2 - \log N_1}{\log S_2 - \log S_1}$$

или

$$DB_{(1-2)} = \frac{\log(N_2 / N_1)}{\log(S_2 / S_1)} ; 1 < DB < 2 ,$$

где параметры равны: S – размер сетки; S_1 – размер малой сетки; S_2 – размер большой сетки; N – количество ячеек, покрывающих изображение; N_1 – количество ячеек малой сетки, покрывающих изображение; N_2 – количество ячеек большой сетки, покрывающих изображение (рис. 1).

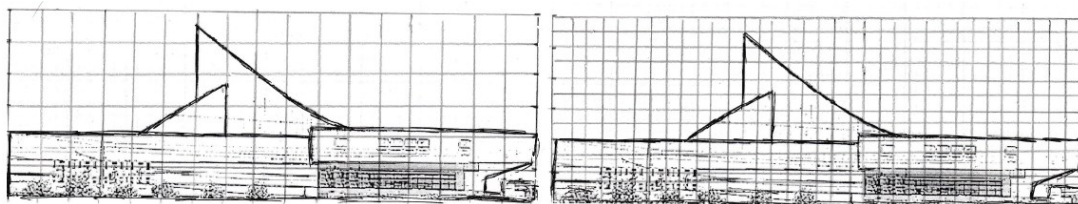


Рис. 1. К определению фрактальной размерности методом ячеистого вычисления для сооружения «Ростовский государственный музыкальный театр в Ростове-на-Дону».

Fig. 1. To determine the fractal dimension by the cellular calculation method for a structure “Rostov State Musical Theatre in Rostov-on-Don”.

Размерность DB можно определить и таким образом:

$$DB_{(1-2)} = \frac{\ln N_2 - \ln N_1}{\ln S_2 - \ln S_1} \text{ или}$$

$$DB_{(1-2)} = \frac{\ln(N_2 / N_1)}{\ln(S_2 / S_1)} .$$

Для определения размерности DB для контура архитектурного объекта используются сооружения готической архитектуры, так как они обладают ярко выраженной фрактальностью архитектурных элементов и самого сооружения в целом. Высокая степень фрактальности в объекте характеризуется общей фрактальной размерностью в пределах $1 < DB < 2$. Так, соборы готической архитектуры имеют высокую степень фрактальности.

Сравним фасады сооружений с самым разнообразным контуром, используя методы фрактальной геометрии. Рассмотрены четыре типа сооружений: 1 – Международный аэропорт «Платов» в Ростове-на-Дону (вид главного входа и вид со стороны взлетной полосы), 2 – Ростовский государственный музыкальный театр в Ростове-на-Дону, 3 – Сиднейский оперный театр в Сиднее, Австралия, 4 – Дворец спорта «Большой» в Сочи (рис. 2). Если рассмотрим метод ячеистого вычисления размерности этих контуров для четырех объектов, то получим следующие данные.

Сетки имеют следующий размер для каждого типа:

- 1 (а) тип – $S_1 = 72; S_2 = 288$ (квадратные ячеистые сетки 18×4 и 36×8);
- 1 (б) тип – $S_1 = 48; S_2 = 192$ (квадратные ячеистые сетки 16×3 и 32×6);
- 2 тип – $S_1 = 102; S_2 = 408$ (прямоугольные ячеистые сетки 17×6 и 34×12);
- 3 тип – $S_1 = 126; S_2 = 504$ (прямоугольные ячеистые сетки 18×7 и 36×14);
- 4 тип – $S_1 = 85; S_2 = 340$ (прямоугольные ячеистые сетки 17×5 и 34×10).

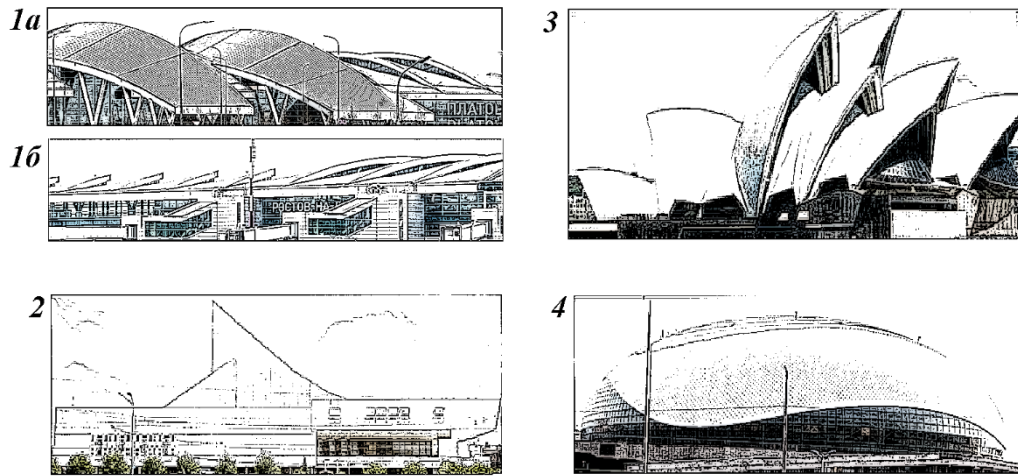


Рис. 2. Типы сооружений с различной фрактальностью.
Fig. 2. Types of structures with different fractality.

Фрактальная размерность для каждого типа сооружений равна:

- 1 (а) тип – $N_1 = 61; N_2 = 231$ и $DB_{(1-2)} = 0,961$;
- 1 (б) тип – $N_1 = 37; N_2 = 143$ и $DB_{(1-2)} = 0,975$;
- 2 тип – $N_1 = 40; S_2 = 164$ и $DB_{(1-2)} = 1,018$;
- 3 тип – $N_1 = 65; N_2 = 263$ и $DB_{(1-2)} = 1,008$;
- 4 тип – $N_1 = 65; N_2 = 285$ и $DB_{(1-2)} = 1,066$.

Как видно из анализа данных, что не достаточно будет провести двухступенчатый анализ фрактальности объекта. Фрактальную размерность можно уточнить, если провести многоступенчатый фрактальный анализ, увеличивая количество ячеек в сетке. Получая размерности $DB_{(1-2)}$, $DB_{(2-3)}$, $DB_{(3-4)}$, $DB_{(4-5)}$, можно более точно определить значение. Количество ячеек в каждом процессе вычисления увеличивается в несколько раз согласно ряду: $2^0, 2^2, 2^4, \dots, 2^i$, где $i = 0, 2, 4, \dots, n + 2$. Значение 2^0 соответствующую объекту без сеток. Следует отметить, что многоступенчатый фрактальный анализ объектов архитектуры приводит к результатам, которые помогут лучше понять особенности сооружения.

Предлагается также оценивать фрактальность объекта через характер изменения производной к контуру фасада с применением линейной аппроксимации функции контура. Проведем разбивку контура фасада на отрезки и найдем приращение по высоте для каждого отрезка (рис. 3).

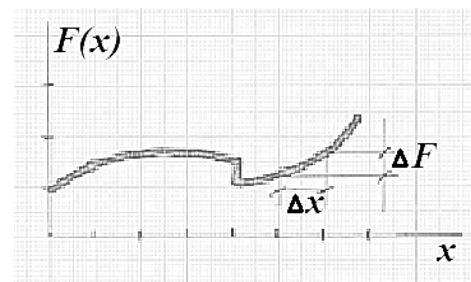


Рис. 3. К определению производной к контуру фасада здания.

Fig. 3. To determine the derivative to the contour of the building facade.

В результате получим функцию, вид которой определяется контуров фасада. Если есть один сильно выраженный фрактальный элемент, то функция производной будет иметь один излом. Если контур имеет несколько таких элементов, то это также отразится на этой функции. Если имеется

некоторая волнистая поверхность, то получается периодическая функция (рис. 4).

Распознавание архитектурного объекта с фрактальной поверхностью происходит по наличию

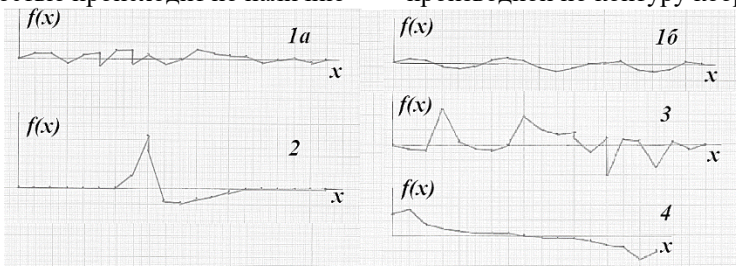


Рис. 4. Графики производной к контуру фасада здания производной к контуру фасада здания.

Fig. 4. Graphs of the derivative to the contour of the building facade of the derivative to the contour of the building facade.

Изменение фрактальности в пространстве характеризуется функцией $\Phi(x, y, z) = 0$ или $z = \varphi(x, y)$, а в плоскости изменение контура характеризуется функцией $F(x) = 0$. Форма объекта изучается при изменении контура объекта с использованием функции первой производной от координаты контура: $f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$ или $f(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta F(x)}{\Delta x}$ или $f(x) = \frac{\Delta F(x)}{\Delta x}$ при линейной аппроксимации.

Если на контуре есть один объект фрактальности, то функция $f(x)$ будет иметь один излом. Для фрактального объекта же монотонность может быть нарушена не только в одной точке, а в нескольких точках. В этом случае количественная оценка характеристики может быть оценена как скачок первой производной. Если же контур объекта имеет монотонную и симметричную функцию, то и функция $f(x)$ также имеет такие характеристики. Показано, что в качестве объекта распознавания фрактальности объектов можно использовать схему изменения первой производной функции по координатам, которые могут идентифицировать фрактальную поверхность объекта (рис. 3). Фрактальность природы проявляется не только в растительных объектах. Такие объекты иногда очень сложно описать математическими методами, и поэтому нужно уделять больше внимания изучению фрактальной геометрии и методам нелинейной механики.

Размерность DB в пространстве определяется по формуле

$$DBV_{(1-2)} = \frac{\log N_{V_2} - \log N_{V_1}}{\log V_1 - \log V_2},$$

где V_i – размеры объемной кубической сетки; N_{V_i} – количество объемных кубических ячеек, покрывающих объем сооружения; $i = 1, 2, 3, \dots$

В процессе вычисления размерности в пространстве определяются $DBV_{(2-3)}$ и $DBV_{(3-4)}$. Можно также в каждой ячейке на плане сооружения

изломов его контура, нарушение его монотонности. В качестве признака распознавания фрактальности можно использовать изменение первой производной по контуру координат.

определять среднее значение высоты сооружения в этой точке и также провести анализ. И в пространстве этот объект будет обладать более высокой фрактальностью, чем на плоскости. Топология в 3D-моделировании — это расположение полигонов, создающее определенный путь по поверхности полигональной сетки или из каких именно блоков состоит плоская фигура и объемный объект. Имеено в этом разделе математики и может фигурировать такое понятие, как фрактальная размерность при исследовании объектов сложной формы.

Математическое определение фрактальной размерности имеет вид

$$D = \lim_{\rho \rightarrow 0} \frac{\ln c - n \ln \rho}{\ln \left(\frac{1}{\rho} \right)},$$

где n – число покрытия шарами; c – неопределенный множитель, который можно опустить; ρ – радиус заполнения; N – число масштабов; $N = c\rho^{-n}$.

А также рассмотрим фрактальную размерность на основе таких фракталов, как ковер Серпинского и губка Менгера (рис. 4).

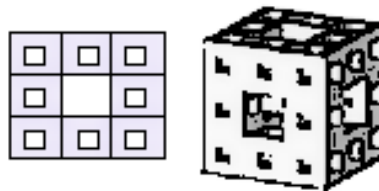


Рис. 4. Геометрические фракталы: ковер Серпинского и губка Менгера.

Fig. 4. Geometric fractals: Serpinsky's carpet and Menger's sponge.

Для построения ковра Серпинского квадрат делится на 9 частей, затем удаляется один элемент. В результате получается $N = 9 - 1 = 8$. Размер каждой грани уменьшается в 3 раза: $\rho = \frac{1}{3}$.

Фрактальная размерность равна $D_T = \frac{\ln 8}{\ln 3} = 1,89$.

Так как $1 < DB < 2$, то площадь стремится к нулю при увеличении числа итераций. Если рассмотреть губку Менгера, то в начальном кубе будет 27 малых кубов с размерностью в 3 раза меньше при первой итерации. Из куба в центре вырезаем куб. Далее процесс продолжается для n итераций. В результате $N = 20$ и $\rho = \frac{1}{3}$ для первой итерации.

Фрактальная размерность равна $D_T = \frac{\ln 20}{\ln 3} = 2,727$. Так как $2 < DB < 3$, то объем

фигуры стремится к нулю при увеличении числа итераций.

Можно также определить фрактальную размерность кривой линии, заполнив вдоль шарами или кубами с одинаковыми или разными размерами. Именно коэффициент C учитывает разницу в геометрических параметров блоков. Число сегментов на кривой равно $N(\delta) = \delta^{-D}$, где D – число; δ – длина звена, $\delta \rightarrow 0$; n – число итераций, $n \rightarrow \infty$. Криволинейный элемент аппроксимируется прямой, затем кривая делится на

3 прямых отрезка. Как видно на рис. 5 уже на третьей итерации кривая хорошо заменяется ломанной линией.

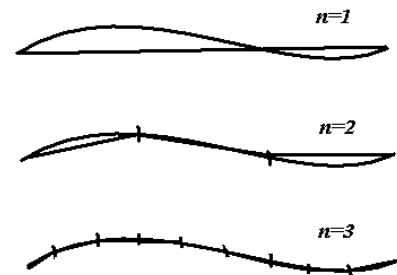


Рис. 5. Определение фрактальности кривой линии.
Fig. 5. Determining the fractality of a curved line.

В силу сложной формы большинства архитектурных объектов автоматический перенос программ по моделированию и по вычислению размерности нельзя сделать. И есть еще одна проблема: очень много определений фрактальной размерности для самых разных областей исследований. Рассмотрим заполнение блоками в виде объемных элементов разной формы для сооружения полусферической оболочки (рис. 6,7).

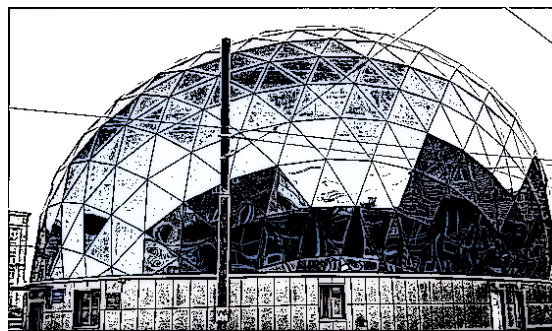


Рис. 6. Здание «Гормост-Север», г. Москва.

Fig. 6. The Gormost-Sever building, Moscow.

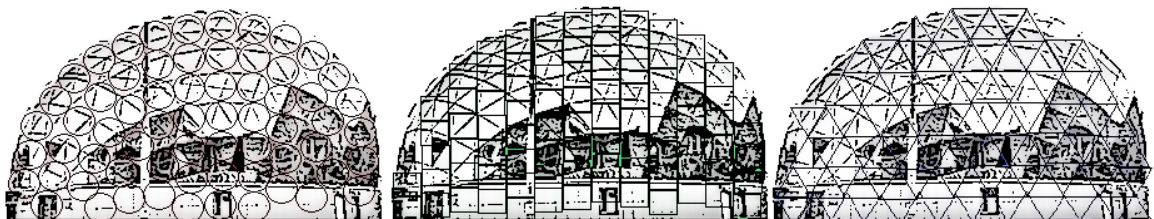


Рис. 7. К определению фрактальной размерности объекта сложной формы.

Fig. 7. To determine the fractal dimension of an object of complex shape.

Рассмотрим эквивалентные по объему элементарные блоки: шар, куб и треугольную пирамиду (тетраэдрон). Тетраэдрон – это многогранник с четырьмя гранями, шестью ребрами и четырьмя вершинами. Все грани являются равносторонними треугольниками. Также можно

использовать выпуклые правильные многогранники (платоновы тела), например, октаэдр. Фрактальная размерность – это коэффициент, описывающий фрактальные структуры на основе количественной оценки их сложности. Он показывает, насколько объект заполняет пространство. Обычно

применяется размерность Хаусдорфа, где покрытие происходит шарами или кубами, причем они могут иметь разные размеры. При заполнении объема одинаковыми блоками более плотно помещаются элементы в виде тетраэдрона, а менее плотно – шарами. Если же рассматривается объект простой формы, например, сооружения в виде прямоугольников или объекты кубической архитектуры, то лучше выбрать в качестве элементарных блоков кубы.

В данном исследовании идет исследование фрактальности различных объектов и поиск методов определения фрактальной размерности. Цифровые технологии и инновации могут помочь в сохранении и восстановлении архитектурных комплексов. Необходимо создание библиотеки 3D моделей мирового архитектурного наследия. Лазерное сканирование позволяет создать 3D-модель объекта в деталях. Это дает возможность хранить в электронном виде подробную информацию об архитектурном сооружении с учетом всех элементов. При этом полученная информация может быть в дальнейшем использована в различных компьютерных программах для планирования реконструкций, ремонтных и строительных работ. При лазерном сканировании сложных архитектурных форм возникают определенные трудности с автоматическим переносом данных в программы компьютерного моделирования. Это связано с тем, что большинство подобных приложений описывают здания лишь самыми простыми геометрическими формами. Развитие математических методов, в том числе методов фрактальной геометрии, позволят преодолеть эти сложности [11-14]. И создание цифровых моделей шедевров мировой архитектуры, в том числе и современных объектов реконструкции, позволит эффективнее проводить реставрационные работы.

ВЫВОДЫ

Создание уникальной архитектурно-пространственной среды современных городов – цель, которую ставят архитекторы при реализации своих проектов [15,16]. Исследование фрактальности сооружений современной архитектуры, а также готической и неоготической архитектуры, позволяет найти методы проектирования каркасных сооружений и применить их в современных сооружениях с уникальными формами. Это позволяет архитекторам использовать свой творческий потенциал. Именно развитие фрактальности архитектуры позволило создать уникальный стиль в готической архитектуре. Но свойства фрактальности дают возможности и современным архитекторам развивать современную архитектуру. Архитектура создает материальную и духовную среду, в которой человек себя частью целого мира. Уничтожение архитектурного наследия приводит к стиранию национального самосознания.

Необходимо сохранять национальное достояние, создавая цифровые технологии и базы виртуальных моделей. Нужно активнее применять математические методы. Необходимо создавать цифровые инструменты для проведения реставрационных работ и в случае необходимости создания хотя бы виртуальной модели архитектурного объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. Москва: Изд-во Институт компьютерных исследований, 2002. 656 с.
2. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. Москва: Изд-во Техносфера, 2006. 488 с.
3. Мандельброт Б. Фракталы и хаос. Множество Мандельброта и другие чудеса. Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2009. 392 с.
4. Дженкинс С. 100 величайших соборов Европы. Москва: Изд-во КоЛибри, Азбука-Аттикус, 2023. 352 с.
5. Шуази, О. История архитектуры. От доисторической эпохи до XVIII века. Москва: Изд-во АСТ, 2024. 656 с.
6. Гнедич, П. П. Мировая архитектура. Москва: Изд-во Эксмо-Пресс, 2012. 240 с.
7. Трубе Г. Путеводитель по архитектурным формам. Москва: Изд-во Архитектура – С, 2014. 216 с.
8. Шишин М. Ю., Исмаил Х. Д. А. Обоснование фрактального метода анализа памятников архитектуры //Вестник Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова. 2011. №. 1-2. С. 27-30.
9. Исмаил Х. Д. А., Шишин М. Ю. А. Итоги и перспективы исследования фрактальности исламской архитектуры и искусстве //Вестник алтайской наукой. 2011. №. 1. С. 5
10. Исмаил Х. Д. Фрактальный анализ шедевров исламской архитектуры–мечети Ахмад Шаха и Тадж-Махала: обоснование метода и опыт применения //Architecture and Modern Information Technologies. 2012. №. 4 (21). С. 11
11. Batty M., Longley P. Fractal Cities: A Geometry of Form and Function. San Diego: Publishing Academic Press, 1994. 394 p.
12. Mayatskaya I.A., Yazyev B.M., Kashina I., Gerlein N. Fractal geometry and design of modern structure // E3S Web of Conference. 2021. Vol. 281. p. 02018. DOI: 10.1051/e3sconf/202128102018
13. Mayatskaya I.A., Yazyev B.M., Yazyeva S.B. Fractality and urban environment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1083. p. 012028. DOI: 10.1088/1757-899X/1083/1/012028
14. Mayatskaya, I., Yazyeva, S., Gatiev, M., Kuznetsov, V., Klyuev, S., & Sabitov, L. Application of Fractal Methods in the Design of Modern Structures. // ISICC: International Scientific Conference Industrial and Civil Construction. Cham: Springer Nature

Switzerland. 2022. Vol. 436. pp. 414-422. DOI: 10.1007/978-3-031-44432-6_49

15. Dymchenko M.E., Dakoro M.F., Dadiyan D.G. The problem of form in modern architecture // E3S Web of Conference. 2021. Vol. 281. p. 02026. DOI: 10.1051/e3sconf/202128102026

16. Yazyeva S.B., Mayatskaya I.A., Kashina I.V., Nesterova A.N. The manifestation of fractality in the architecture of buildings and structures // Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698. Issue 3. p. 033046. DOI: 10.1088/1757-899X/698/3/033046

REFERENCES

1. Mandelbrot B. Fraktalnaya geometriya prirody [Fractal geometry of nature]. Moscow: Institute of Computer Science. 2002, 656 p. (in Russian)

2. Kronover R.M. Fraktaly i khaos v dinamicheskikh sistemakh [Fractals and chaos in dynamic systems]. Moscow: Technosphere. 2006, 488 p. (in Russian)

3. Mandelbrot B. Fraktaly i khaos. Mnozhestvo Mandelbrota i drugie chudesa [Fractals and chaos. Mandelbrot set and other wonders]. Izhevsk: Regular and chaotic dynamics Publishing House. 2009, 392 p. (in Russian)

4. Jenkins S. 100 100 velichayshikh soborov Yevropy [Greatest cathedrals of Europe]. Moscow: KoLibri, Azbuka-Attikus Publishing House, 2023. 352 p. (in Russian)

5. Choisy, O. Istoriya arkhitektury. Ot doistoricheskoy epokhi do XVIII veka [History of architecture. From prehistoric times to the 18th century]. Moscow: AST Publishing House, 2024. 656 p. (in Russian)

6. Gnedich, P. P. Mirovaya arhitektura [World architecture]. Moscow: Publishing house Eksmo-Press. 2012, 240 p. (in Russian)

7. Trube G. Putevoditel po arkhitekturnym formam [Guide to architectural forms]. Moscow: Architecture – C, 2014. 216 p. (in Russian)

8. Shishin M. Yu., Ismail H. D. A. Obosnovaniye fraktal'nogo metoda analiza pamyatnikov arkhitektury [Justification of the fractal method of analysis of

architectural monuments] // Bulletin of the Altai State Technical University named after I. I. Polzunov. 2011. N 1-2. Pp. 27-30. (in Russian)

9. Ismail H. D. A., Shishin M. Yu. Itogi i perspektivy issledovaniya fraktal'nosti islamskoy arkhitektury i iskusstva [Results and Prospects of Research on Fractality in Islamic Architecture and Art] // Bulletin of Altai Science. 2011. N 1. p. 5. (in Russian)

10. Ismail H. D. A. Fraktal'nyy analiz shedevrov islamskoy arkhitektury–mecheti Akhmad Shakha i Tadzhi-Makhala: obosnovaniye metoda i opyt primeneniya [Fractal Analysis of Islamic Architectural Masterpieces – Ahmad Shah Mosque and Taj Mahal: Method Justification and Application Experience] // Architecture and Modern Information Technologies. 2012. N 4 (21). p. 11. (in Russian)

11. Batty M., Longley P. Fractal Cities: a geometry of form and function. San Diego: Publishing Academic Press, 1994. 394 p.

12. Mayatskaya I.A., Yazyev B.M., Kashina I., Gerlein N. Fractal geometry and design of modern structures // E3S Web of Conference. 2021. Vol. 281. p. 02018. DOI: 10.1051/e3sconf/202128102018

13. Mayatskaya I.A., Yazyev B.M., Yazyeva S.B. Fractality and urban environment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1083. p. 012028. DOI: 10.1088/1757-899X/1083/1/012028

14. Mayatskaya I., Yazyeva S., Gatiev M., Kuznetsov S., Klyuev S., Sabitov L. Application of fractal methods in design of modern structure // Industrial and Civil Construction. 2022. ISCICC 2022. Lecture Notes in Civil Engineering. Vol. 436. p.p. 414-422. Springer. Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-44432-6_49

15. Dymchenko M.E., Dakoro M.F., Dadiyan D.G. The problem of form in modern architecture // E3S Web of Conference. 2021. Vol. 281. p. 02026. DOI: 10.1051/e3sconf/202128102026

16. Yazyeva S.B., Mayatskaya I.A., Kashina I.V., Nesterova A.N. The manifestation of fractality in the architecture of buildings and structures // Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698. N 3. p. 033046. DOI: 10.1088/1757-899X/698/3/033046

FRACTALITY IN THE SHAPING OF ARCHITECTURAL OBJECTS

Mayatskaya I.A.

Don State Technical University;
Rostov-on-Don, Russia,
E-mail: irina.mayatskaya@mail.ru

Abstract. The article examines the structure of structures using the fractal dimension. This makes it possible to understand the possibilities of creating fractal elements of these unique buildings. The methods of determining the fractal dimension for an object, both on a plane and in space, are shown.

Subject: The fractal shapes of architectural structures for finding architectural solutions.

Materials and methods: The application of fractal geometry methods allows for more efficient using of digital technologies in the process of preservation and restoration of architectural heritage sites.

Results: The article focuses on the creation of digital models of famous architectural objects and other unique structures in Europe and Russia. The article discusses methods for calculating the fractal dimension of objects with different types of shaping. An example of a Gothic architecture structure with a high degree of fractality is given. This study provides examples of fractal structures. The main methods of fractal geometry are given, the interrelationships and patterns of fractality of architectural elements of structures are considered. Various methods of calculating the fractal dimension have been investigated. The search for the optimal solution was carried out when determining the fractional dimension by mathematical methods.

Conclusions: Fractal geometry and mathematical methods based on digital technologies help to find unique shapes when modeling the structure of an artificial environment, when creating architectural complexes. The vector of fractality development using fractional dimension is determined. The search for fractal structures in architecture allows you to create unique shapes. And the theory of fractals helps to embody these images in the works of architects.

Key words: architecture, shaping, element, fractal, fractal dimension, digital technologies.

УДК 711.14:338.48-44

АГРОТУРИЗМ КАК ИНСТРУМЕНТ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ: МИРОВОЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ

Сидорова¹ В.В., Курунин² И.К.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,
Институт «Академия строительства и архитектуры»,
295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181
E-mail: ¹nucikBBC@yandex.r¹,²i.kurunin2011@yandex.r2

Аннотация. В статье исследуются градостроительные принципы, обеспечивающие устойчивое развитие агротуризма. Данный вид туризма рассматривается как инструмент рационального использования сельских территорий, сочетающий сохранение культурного наследия, природного ландшафта и развитие туристической инфраструктуры. В работе проанализированы мировой и отечественный опыт, затронута нормативно-правовая база, касающаяся агротуризма. Исследование выявило основные проблемы, такие как нехватка инфраструктуры и отсутствие четких стандартов. Сделан вывод о значимости агротуризма для повышения его туристической привлекательности, стимулирования экономики и развитию инфраструктуры.

Предмет исследования: механизмы устойчивого развития сельских территорий посредством агротуризма.

Материалы и методы: применены методы комплексного анализа, дедукции, теоретического анализа и синтеза, метод аналогии, сравнительный анализ.

Результаты: анализ мирового опыта показал, что успешное развитие агротуризма связано с государственной поддержкой, стандартизацией услуг и интеграцией традиционного уклада жизни в туристическую индустрию. В Европе агротуризм способствует сохранению сельских территорий и созданию рабочих мест. Российский опыт показывает перспективы развития агротуризма в регионах с природными и культурными ресурсами, однако возникают проблемы со слабой инфраструктурой и малой нормативно-правовой базой.

Выводы: в настоящее время в мировой практике накоплен значительный опыт и научные знания по развитию агротуризма. Это эффективный инструмент для устойчивого развития территорий, поддерживающим локальную экономику, развивающим инфраструктуру и сохраняющим культурное наследие.

Ключевые слова: агротуризм, градостроительство, устойчивое развитие территории.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то, что агротуризм является относительно новым направлением, его интенсивное развитие как вида туризма началось в 1960–1970-х годах в Западной Европе. Это явление было сосредоточено преимущественно в сельскохозяйственных регионах таких стран, как Франция, Италия и Германия [1].

Туристическая отрасль опирается на использование рекреационных ресурсов, которые обеспечивают финансовые поступления для регионов и государств. По данным Всемирной туристической организации (UNWTO, 2023), вклад туризма в мировую экономику составляет порядка 10% ВВП, а на его долю приходится около 25–30% мирового экспорта услуг [2]. Результаты опроса, проведенного в 2023 году Всероссийским центром изучения общественного мнения (ВЦИОМ), показали, что примерно 40% россиян за последние пять лет не выезжали за пределы места, где они проживают, для проведения отдыха [3].

Сарафанова А.Г., Шабалина Н.В., Сарафанов А.А. в своей работе приводят пример определения агротуризма: «агротуризм – древнейшая форма устойчивого туризма и представляет собой сельскохозяйственные предприятия, которые развивают на своих территориях туризм. Он включает организацию досуга на сельскохозяйственных территориях с целью

знакомства туристов с аграрной культурой, традициями и производством» [4].

Развитие агротуризма актуально сегодня в разных странах и представляет собой эффективный инструмент для повышения экономической устойчивости территорий, позволяя сельскохозяйственным регионам не только привлекать туристов, но и сохранять природный и культурный ландшафт. С градостроительной точки зрения — это способ рационального использования территорий, обеспечивающий гармоничное взаимодействие сельского хозяйства, туризма и инфраструктуры.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В работе Даитовой В.В. [5] исследуется международный опыт агротуризма и его применимость к российским условиям. Автор анализирует успешные практики различных стран, выделяя ключевые факторы, способствующие развитию агротуризма, такие как поддержка местных сообществ, сохранение культурного наследия и устойчивое использование природных ресурсов. Рекомендации автора направлены на адаптацию этих практик для российских сельских регионов.

В статье Пантюхиной С. [6] предоставляется обзор стратегий и практик развития агротуризма в европейских странах. Особое внимание уделяется государственным программам поддержки,

маркетинговым стратегиям и роли местных сообществ в развитии сельского туризма. Автор подчеркивает значимость интеграции агротуризма в общую экономическую стратегию региона.

В учебном пособии «Нормативно-правовое регулирование сельского (аграрного) туризма» [7] рассматриваются вопросы нормативно-правового регулирования агротуризма в России. Авторы анализируют существующее законодательство, выявляют пробелы и предлагают рекомендации по его совершенствованию.

В статье Лашенко Н.С. [8] автор анализирует потенциал сельских территорий, выявляет проблемы и предлагает пути их решения. В работе рассматриваются вопросы создания инфраструктуры, обучения кадров и популяризации агротуризма.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В данной работе применены теоретические методы исследования, такие как литературный обзор и сравнительный анализ. Методология исследования базируется на междисциплинарном подходе, который сочетает градостроительный анализ, исследование территориального планирования и пространственного развития. Работа опирается на изучение теоретических основ агротуризма и его влияния на градостроительную организацию территорий.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Главной целью направления агротуризма в сельскохозяйственных районах стало сохранение сельских поселений за счет возрождения традиционных ремесел и стимулирования предпринимательской активности.

Сегодня сельский туризм признан одним из наиболее перспективных направлений, оказывающим положительное влияние на устойчивое развитие регионов и обеспечивающим экономическую выгоду. Например, во Франции каждый третий турист предпочитает отдых в сельской местности. В Великобритании 10% сельских предпринимателей предлагают услуги в сфере сельского туризма, а в Германии доля таких предпринимателей составляет 4% [9].

Европейские страны демонстрируют интересные примеры развития агротуризма, способного привлечь значительное число иностранцев. Лидирующую позицию в этой сфере долгое время занимала Ирландия. Здесь туризм стал ключевым инструментом в борьбе с сокращением численности населения в сельских регионах (рис. 1), благодаря внедрению программ по развитию туристической инфраструктуры в сельской местности. Здесь сельский туризм охватывает более 800 деревень, а ежегодное количество туристов в этих регионах превышает 2 миллиона человек. Особое внимание уделялось экскурсиям, организации мероприятий, созданию точек притяжения и улучшению туристической информационной системы. Для реализации данных мер активно использовались государственные средства, ресурсы Европейского Союза, а также частные инвестиции [10].

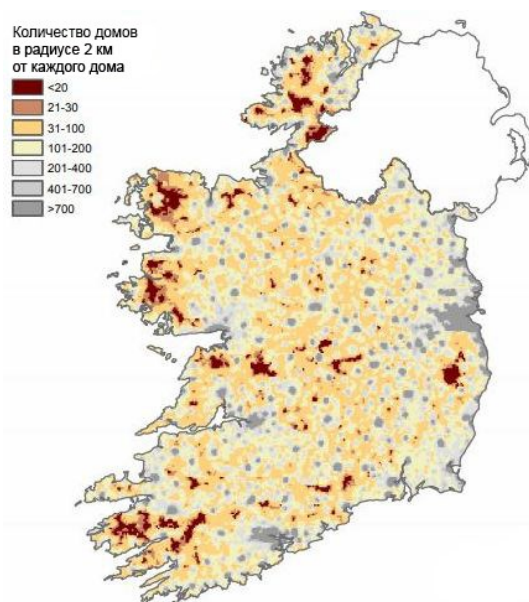


Рис. 1. Изолированность сельской местности в Ирландии

Источник: <https://www.agriland.ie/farming-news/map-how-isolated-is-your-home-or-farm/>

Fig. 1. Isolation of rural areas in Ireland

Source: <https://www.agriland.ie/farming-news/map-how-isolated-is-your-home-or-farm/>

В центральной части Венгрии, особенно в регионе Токай, агротуризм стал ключевым

элементом местной экономики. Природные богатства региона, включая плодородные почвы и

благоприятный климат, способствуют развитию виноградарства, а винодельческие угодья занимают значительную часть сельскохозяйственных земель и

эти территории были успешно задействованы для привлечения туристов (рис. 2).



Рис.2. Винодельческие угодья Венгрии

Источник: <https://jekatyerinburg.mfa.gov.hu/rus/page/vengerskoe-vino-5>

Fig.2. Wine-growing lands of Hungary

Source: <https://jekatyerinburg.mfa.gov.hu/rus/page/vengerskoe-vino-5>

Благодаря использованию земель сельскохозяйственного назначения не только по прямой функции, но и для рекреации, туристы могут посещать винные погреба и дегустационные залы, а также участвовать в сезонных работах на виноградниках, что является интересным досугом. В рамках агротуристических программ гостям предлагаются экскурсии по винодельням, мастер-классы по виноделию и дегустации местных сортов вин. Важным направлением развития агротуризма стало сохранение традиционной архитектуры винных усадеб, что создает аутентичную атмосферу для путешественников. Ежегодно в регионе проводится фестиваль «Токайские винные дни»,

собирающий тысячи любителей вина и способствующий популяризации местной культуры и традиций [11].

Великобритания, одна из самых зеленых стран мира, занимает лидирующие позиции в развитии агротуризма и экологического туризма. В стране стремительно растет количество отелей с зеленой аккредитацией, а туристический бизнес активно снижает свое воздействие на окружающую среду. Число организаций, участвующих в зеленых аккредитационных схемах (рис. 3), постоянно увеличивается. Около 75% граждан этой страны при выборе места для отдыха предпочитают объекты с экологическими сертификатами [12].



Рис. 3. Аккредитованные фермы Великобритании на карте

Источник: https://www.researchgate.net/figure/Distribution-of-UK-care-farms-registered-with-Care-Farming-UK-2017b-Map-data-C_fig1_320685163

Fig. 3. Accredited UK farms on the map

Source: https://www.researchgate.net/figure/Distribution-of-UK-care-farms-registered-with-Care-Farming-UK-2017b-Map-data-C_fig1_320685163

В настоящее время официальное туристическое агентство Великобритании под названием Visit

Britain активно продвигает агротуризм, сотрудничая с различными схемами аккредитации, такими как

Quality in Tourism и AA Hotel Services. Эти программы оценивают сельские места отдыха и проживания, которые предлагают уникальный опыт взаимодействия с сельской местностью. Участники программ, соответствующие установленным стандартам, получают различные уровни аккредитации в зависимости от их достижений. Оценка охватывает такие аспекты как качество обслуживания, комфорт проживания и аутентичность. Сертифицированные объекты включают фермерские дома и агротуристические комплексы. Эти инициативы способствуют поддержке местных сообществ и развитию сельской местности Великобритании [12].

Во Франции агротуризм начал активно развиваться в 1960-х годах, с тех пор он стал важной частью сельского туризма. Сельские территории

используют агротуризм как средство стимулирования экономического роста, сохранения культурного наследия и улучшения качества жизни в сельской местности. Французские фермеры и владельцы сельских домов начали открывать свои хозяйства для туристов, предлагая не только проживание, но и участие в сельскохозяйственных работах, экскурсии по виноградникам и дегустацию местных продуктов. Развитие агротуризма в стране активно поддерживается на уровне местных и региональных властей, которые создают специальные программы для популяризации сельского туризма (рис. 4). Страна разработала систему классификации для агротуристических объектов, что помогает повысить качество предлагаемых услуг и обеспечивает высокий уровень доверия у туристов [13].

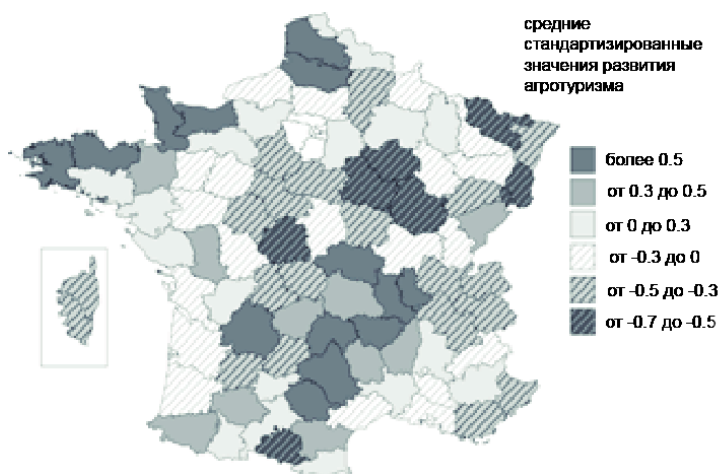


Рис. 4. Средние стандартизированные значения развития агротуризма во Франции

Источник: https://www.researchgate.net/figure/Average-standardised-values-of-agritourism-development-in-France-Source-Dorocki_fig7_260298358

Fig. 4. Average standardised values of agritourism development in France

Source: https://www.researchgate.net/figure/Average-standardised-values-of-agritourism-development-in-France-Source-Dorocki_fig7_260298358

Агротуризм в Австрии – это развитая отрасль, которая играет важную роль в экономике страны, особенно в сельских регионах. В Австрии действует около 20 000 хозяйств, предлагающих агротуристические услуги. Одной из ключевых организаций, координирующих развитие сельского туризма, является «Urlaub am Bauernhof» («Отдых на ферме»), объединяющая более 2300 сертифицированных хозяйств, которые предлагают проживание, экскурсии и мастер-классы [5].

В Италии агротуризм представляет собой важный сектор сельского туризма, способствующий экономическому развитию сельских регионов и сохранению культурного наследия. Многие фермерские хозяйства предлагают туристам возможность проживания, участия в сельскохозяйственных работах, дегустации местных продуктов и знакомство с традиционным образом жизни [14].

В Германии насчитывается около 10 000 агротуристических объектов, входящих в региональные и федеральные ассоциации сельского туризма. В 2023 году эта страна привлекла более 4

миллионов туристов в сельские регионы. Помимо классического отдыха, здесь предлагаются услуги, включая конные прогулки, рыбалку, велотуры, концерты, экскурсии, пикники и фольклорные мероприятия. Агротуризм в Германии активно поддерживается государством на всех уровнях, оно выделяет бюджет почти 30 миллионов евро в год на развитие агротуризма и это связано с экономическими интересами и задачами сохранения культурного наследия и развития сельских регионов. Сельский туризм здесь особенно популярен, включая проживание в фермерских домах и участие в сельскохозяйственной деятельности. Также агротуризм в Германии часто пересекается с событийным туризмом, включая народные праздники фестивали (например, такой неизвестный фестиваль как Октоберфест), и ярмарки, которые становятся значимой частью отдыха [15].

Тенденции в росте экологического сознания по всему миру привели к созданию международных программ агротуризма, таких как WWOOF (World Wide Opportunities on Organic Farms) [16]. Эти

программы позволяют сочетать путешествия с трудом на органических фермах, предлагая уникальную возможность для туристов не только познакомиться с культурой сельского хозяйства, но и принять участие в его процессе. Главной особенностью этих программ является обмен труда на жилье и питание, что дает возможность участникам в полной мере погрузиться в атмосферу жизни на ферме без необходимости платить за проживание.

Такая модель агротуризма способствует экологическому просвещению, помогает развивать органическое сельское хозяйство и создает платформу для обмена опытом между различными культурами. Программы WWOOF популярны в различных странах, включая Великобританию,

США, Австралию, Новую Зеландию и многие другие, где органическое земледелие активно поддерживается как устойчивый и экологически безопасный способ ведения сельского хозяйства.

В России агротуризмом занимается организация Росагротуризм. На данный момент большинство предложений включают аренду агроусадьб в разных уголках страны. Развитие агротуризма в России с поддержкой государства началось с середины 1990-х годов. В настоящее время предприятия агротуризма распространены по стране неравномерно (рис. 5). В структуре отечественного туристического рынка доля агротуризма составляет лишь 1,5–2%, а в мировом туристическом обороте она не достигает и 1%.

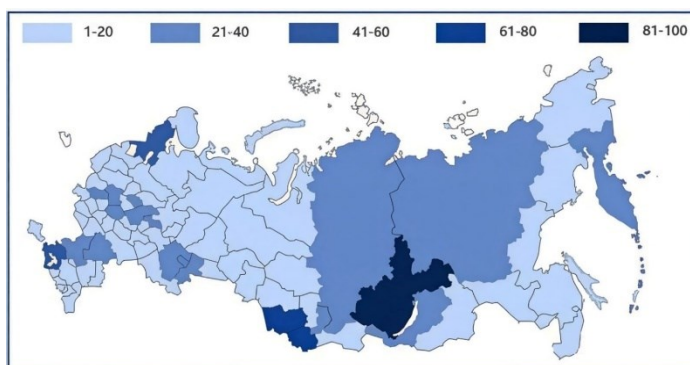


Рис.5. Количество гостевых домов, специализирующихся на агротуризме в России

Источник: <https://cyberleninka.ru/article/n/printsiipy-formirovaniya-agroturisticheskikh-kompleksov-na-primere-respubliki-kareliya>

Fig. 5. The number of guest houses specializing in agritourism in Russia

Source: <https://cyberleninka.ru/article/n/printsiipy-formirovaniya-agroturisticheskikh-kompleksov-na-primere-respubliki-kareliya>

Примечательно то, что Стратегия развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года даёт определение сельскому туризму, что является фактически синонимом агротуристической деятельности, рассматриваемой в данной работе. Согласно понятиям, используемым в документе, «сельский туризм — вид туризма, который предполагает временное размещение туристов в сельской местности с целью отдыха и (или) участия в сельскохозяйственных работах без извлечения туристом материальной выгоды» [17].

Россия обладает колоссальными природными ресурсами и занимает четвертое место в мире по их уникальности, предлагая возможности для активного отдыха практически в каждом регионе. Однако туристический потенциал страны используется лишь на 30%. Это связано с тем, что основные туристические потоки сосредоточены в нескольких ключевых направлениях: Москве, Санкт-Петербурге, городах Золотого Кольца, Краснодарском крае, Поволжье и Сибири. Такое неравномерное распределение объясняется историческими и экономическими факторами, влияющими на развитие туризма в разных частях страны (табл.). В нашей стране зарегистрировано более 12 000 особо охраняемых природных территорий, включая 41 национальный парк, что делает Россию одной из самых богатых стран по природным ресурсам [18].

Таблица 1. Регионы России, стремящиеся к развитию сельского туризма
Table 1. Regions of Russia seeking to develop rural tourism

Регион РФ	Алтайский край
	Краснодарский край
	Республика Татарстан
	Республика Тува
	Республика Карачаево-Черкесия
	Калининградская область
	Республика Крым

Федеральное агентство по управлению особыми экономическими зонами разработало концепцию

развития сельского туризма, а в Алтайском крае реализуется пилотный проект в рамках

Государственной программы развития сельского хозяйства. В регионе уже функционируют агроусадьбы и гостевые дома, и агротуризм, как организованный бизнес, только начинает развиваться. В целях поддержки начинающих предпринимателей была утверждена целевая программа «Развитие сельского туризма на 2009–2012 гг.», с общим объемом финансирования более 200 млн рублей, из которых более 10% предоставляется из краевого бюджета, но эту программу не продлевали, несмотря на то что она была успешной. Программа включала субсидирование затрат на строительство гостиничных домов и агрообъектов, а также рефинансирование кредитов. Программа создала 1 тыс. рабочих мест и увеличила количество туристов и мест проживания, что способствует росту спроса на сельскохозяйственную продукцию. Участники программы могли получить субсидии на строительство, реконструкцию объектов и участие в выставках. В рамках программы также осуществлялась подготовка кадров и создание Центра сельского туризма в регионе [19].

В Тульской области ежегодно проходят десятки мероприятий, посвященных возрождению традиций сельского отдыха и усадеб, что привлекает туристов и способствует развитию региональной экономики. В Воронежской области популярны агротуры на ферме швейцарца Ханспитера Рикли, занимающегося сельским хозяйством. Русский Север, включая Карелию, Архангельскую и Мурманскую области, издавна привлекает интерес к своей архитектуре и культуре. Сегодня здесь развиваются мини-гостиницы, гостевые дома, проводятся фестивали и восстанавливаются народные традиции [20].

ВЫВОДЫ

Проведённое исследование подтвердило, что агротуризм является эффективным инструментом устойчивого развития сельских территорий. Он способствует созданию рабочих мест, улучшению инфраструктуры и формированию инвестиционной привлекательности. Развитие агротуризма повышает престиж проживания в сельской местности, способствует сохранению культурного наследия и природной среды, а также укрепляет идентичность территорий.

При этом отрасль сталкивается с рядом проблем: нехваткой квалифицированных кадров, отсутствием единой правовой базы, а также недостаточной оценкой потенциала природных и рекреационных ресурсов. Решение этих проблем позволит усилить вклад агротуризма в социально-экономическое развитие сельских районов.

С градостроительной точки зрения агротуризм открывает возможности для рационального использования сельских территорий, интеграции туристических функций в существующую пространственную структуру и сбалансированного

развития. При этом важно учитывать опыт других стран и регионов России.

Обобщая мировые и отечественные практики, можно выделить ключевые тенденции:

- интеграция агротуризма в пространственную структуру с учётом природных особенностей;
- создание условий для размещения туристов в аграрной среде;
- участие местных сообществ в управлении и формировании туристических маршрутов;
- институциональная поддержка на уровне регионального и муниципального планирования.

Обозначенные тенденции находят отражение в разнообразных ландшафтно-климатических условиях, экономических моделях и культурных контекстах. Их адаптация требует учёта региональных особенностей и потенциала каждой конкретной территории. Для Республики Крым, обладающей разнообразным рельефом, благоприятным климатом и развитой аграрной базой, актуальны следующие подходы:

- формирование агротуристических кластеров в предгорных, винодельческих, степных, приморских и горнолесных районах с учётом локальной сельскохозяйственной специализации;
- развитие программ устойчивого освоения территорий с учётом природных ограничений и преимуществ;
- учет агротуризма в территориальном планировании с сохранением региональной идентичности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Европейская ассоциация сельского туризма [Электронный ресурс]. URL: Режим доступа: <https://www.earf.org/>.
2. Всемирная туристская организация (ЮНВТО). Tourism Highlights, 2023 Edition [Электронный ресурс]. URL: <https://www.unwto.org>.
3. Всероссийский центр изучения общественного мнения (ВЦИОМ). Официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: <https://wciom.ru>.
4. Сарафанова А.Г., Шабалина Н.В., Сарафанов А.А. Сельский и агротуризм: подходы к определению // Современные проблемы сервиса и туризма. 2020. Т.14. №1. С. 100–108. DOI: 10.24411/1995-0411-2020-10110.
5. Даитов В. В. Мировой опыт организации агротуризма в контексте развития сельских регионов России // Материалы III Международной научно-практической конференции «Эко- и агротуризм: перспективы развития на локальных территориях». 18–19 мая 2011 г. Изд-во РИО БарГУ, 2011. С. 42–45.
6. Пантюхина С. Аналитический обзор стратегий и практического опыта некоторых Европейских стран в развитии сельского туризма / Проект АНО «АРСИ»: «Развитие профессионального сообщества НКО и их партнеров в сфере сельского туризма: от диалога к практике», 2019 г.

7. Ишбулатов Р. Ф. и Сафина А. Р. (2023). Нормативно-правовое регулирование сельского (аграрного) туризма. Учебное пособие. Издательство: [LitRes].
8. Лашенко Н.С. К вопросу о разработке концепции развития сельского туризма (агротуризма) в российской провинции: экономический, социальный и социокультурный аспекты [Электронный ресурс] URL: <https://docplayer.ru/25964619-K-voprosu-orazrabotke-koncepcii-razvitiya-selskogo-turizma-agroturizma-v-rossiyskoy-provincii-ekonomicheskii-socialnyy-i-sociokulturnyy-aspekty.html>.
9. Заричная А.А. Европейский опыт развития сельского туризма // Экономика Крыма. 2011. №4(37). С. 265–269.
10. Нуриева, Н. А. Развитие сельского туризма во Франции // Гуманитарные научные исследования. 2013. № 2 [Электронный ресурс]. URL: <https://human.snauka.ru/2013/02/2341>.
11. Péter, L. (2021). The possible development of the rural- agrotourism in Hungary. ResearchGate. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/355120605_The_possible_development_of_the_rural_-_agrotourism_in_Hungary.
12. Гутник А. В., Щедрин А. В. Организация и регулирование экологического туризма на Британских островах// Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. ISSN 1999–2645. — №4 (64). Номер статьи: 6408. Дата публикации: 27.10.2020. Режим доступа: <https://ee-region.ru/article/6408/>.
13. Нуриева Н. А. Развитие сельского туризма во Франции // Гуманитарные научные исследования. 2013. № 2 [Электронный ресурс]. URL: <https://human.snauka.ru/2013/02/2341>.
14. Рылова И. В. Современные тенденции развития агротуризма в Италии [Электронный ресурс] // Вестник Костромского государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Право. – 2013. – Т. 19, № 4. – С. 463–467.
15. Балабанова А. О. Основные особенности агротуризма в Германии/ Европейский исследователь. – 2011. – №1.– с. 57–59.
16. WWOOF International. (n.d.). World Wide Opportunities on Organic Farms. [Электронный ресурс]. URL: <https://wwof.net>.
17. Распоряжение Правительства РФ от 20.09.2019 N 2129-р (ред. от 07.02.2022) «Об утверждении Стратегии развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года».
18. Печерица Е.В., Шевченко М.И. Анализ состояния и перспективы развития агротуризма в России // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. 2012. № 4 (14). С. 229–235. Санкт-Петербургский государственный университет сервиса и экономики.
19. Кундиус В.А., Чермянина В.В. (2011). Проблемы и перспективы агротуризма в регионе. Известия Алтайского государственного университета, (2), С. 24–29.
20. Пономарева М.В., Чернобровкина А.О. Событийный агротуризм Тульской области // Российские регионы: взгляд в будущее. – 2018. – №2. – С. 58–80.

REFERENCES

1. European Association for Rural Tourism [Electronic resource]. URL: <https://www.earf.org/>.
2. World Tourism Organization (UNWTO). Tourism Highlights, 2023 Edition [Electronic resource]. URL: <https://www.unwto.org>.
3. Russian Public Opinion Research Center (VCIOM). Official website [Electronic resource]. URL: <https://wciom.ru>.
4. Sarafanova, A.G., Shabalina, N.V., & Sarafanov, A.A. Rural and Agritourism: Approaches to Definition. Modern Problems of Service and Tourism. 2020, Vol. 14, No. 1, pp. 100–108. DOI: 10.24411/1995-0411-2020-10110.
5. Daitov, V.V. Global Experience in the Organization of Agritourism in the Context of Rural Development in Russia. Materials of the III International Scientific and Practical Conference “Eco- and Agritourism: Prospects for Development on Local Territories.” May 18–19, 2011. BarSU Publishing, 2011, pp. 42–45.
6. Pantyukhina, S. Analytical Review of Strategies and Practical Experiences of Some European Countries in the Development of Rural Tourism. Project ANO "ARSI": "Development of the Professional Community of NGOs and Their Partners in the Sphere of Rural Tourism: From Dialogue to Practice," 2019.
7. Ishbulatov, R.F., & Safina, A.R. (2023). Legal Regulation of Rural (Agricultural) Tourism. Textbook. Publisher: [LitRes].
8. Lashchenko, N.S. On the Development of a Concept for Rural Tourism (Agritourism) in the Russian Province: Economic, Social, and Sociocultural Aspects [Electronic resource]. URL: <https://docplayer.ru/25964619-K-voprosu-orazrabotke-koncepcii-razvitiya-selskogo-turizma-agroturizma-v-rossiyskoy-provincii-ekonomicheskii-socialnyy-i-sociokulturnyy-aspekty.html>.
9. Zarichnaya, A.A. European Experience in the Development of Rural Tourism. Economy of Crimea. 2011, No. 4(37), pp. 265–269.
10. Nuriyeva, N.A. Development of Rural Tourism in France. Humanitarian Scientific Research. 2013, No. 2 [Electronic resource]. URL: <https://human.snauka.ru/2013/02/2341>.
11. Péter, L. (2021). The Possible Development of Rural Agritourism in Hungary. ResearchGate. [Electronic resource]. URL: https://www.researchgate.net/publication/355120605_The_possible_development_of_the_rural_-_agrotourism_in_Hungary.
12. Gutnik A.V., Shchedrin A.V. Organization and Regulation of Ecotourism in the British Isles. Regional Economy and Management: Electronic Scientific Journal. ISSN 1999-2645. No. 4 (64). Article No.: 6408.

Publication Date: October 27, 2020. Available at: <https://eee-region.ru/article/6408/>.

13. Nuriyeva, N.A. Development of Rural Tourism in France. Humanitarian Scientific Research. 2013, No. 2 [Electronic resource]. URL: <https://human.snauka.ru/2013/02/2341>.

14. Rylova, I.V. Modern Trends in Agritourism Development in Italy [Electronic resource]. Bulletin of the Kostroma State University. Series: Economics. Sociology. Law. 2013, Vol. 19, No. 4, pp. 463–467.

15. Balabanova, A.O. Main Features of Agritourism in Germany. European Researcher. 2011, No. 1, pp. 57–59.

16. WWOOF International. (n.d.). World Wide Opportunities on Organic Farms [Electronic resource]. URL: <https://wwof.net>.

17. Order of the Government of the Russian Federation No. 2129-r dated September 20, 2019 (as amended on February 7, 2022) "On the Approval of the Tourism Development Strategy in the Russian Federation for the Period up to 2035".

18. Pecheritsa, E.V., & Shevchenko, M.I. Analysis of the State and Prospects of Agritourism Development in Russia. Theory and Practice of Service: Economy, Social Sphere, Technologies. 2012, No. 4 (14), pp. 229–235. St. Petersburg State University of Service and Economics.

19. Kundius, V.A., & Chermianina, V.V. (2011). Problems and Prospects of Agritourism in the Region. Proceedings of Altai State University, (2), pp. 24–29.

20. Ponomareva, M.V., & Chernobrovkina, A.O. Event Agritourism in the Tula Region. Russian Regions: A Look into the Future. 2018, No. 2, pp. 58–80.

AGROTOURISM AS A TOOL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF TERRITORIES: GLOBAL AND DOMESTIC EXPERIENCE

Sidorova¹ V.V., Kurunin² I.K.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
"Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky,"
Institute "Academy of Construction and Architecture,"
295493, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya Street, 181
E-mail: i.kurunin2011@yandex.ru¹, nucikBBC@yandex.ru²

Abstract. The article explores urban planning principles that ensure the sustainable development of agritourism. This type of tourism is considered a tool for the rational use of rural areas, combining the preservation of cultural heritage and natural landscapes with the development of tourism infrastructure. The study analyzes global and national experiences and examines the legal framework related to agritourism. The research identifies key issues such as insufficient infrastructure and the lack of clear standards. It concludes that agritourism significantly enhances territorial attractiveness, stimulates the economy, and fosters infrastructure development.

Subject: mechanisms of sustainable development of rural areas through agritourism.

Materials and Methods: the study employed methods of comprehensive analysis, deduction, theoretical analysis and synthesis, analogy, comparative analysis.

Results: the analysis of global practices revealed that the successful development of agritourism depends on government support, service standardization, and the integration of traditional lifestyles into the tourism industry. In Europe, agritourism contributes to the preservation of rural areas and job creation. Russian experience demonstrates the potential for agritourism development in regions with natural and cultural resources; however, challenges include weak infrastructure and an insufficient legal framework.

Conclusions: currently, significant experience and scientific knowledge have been accumulated worldwide on agritourism development. Agritourism serves as an effective tool for sustainable territorial development, supporting local economies, improving infrastructure, and preserving cultural heritage.

Key words: agritourism, urban planning, sustainable territorial development

Раздел 2. Строительство

УДК 693.621:692.2:691.55

СУЩНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БЕЗМАЯЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ «МОКРОЙ» ШТУКАТУРКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ BIM ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА

Шаленный¹ В.Г., Замша² О.Н., Таджиев³ А.Ш.

¹ ФГАОУ ВО Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, институт «Академия строительства и архитектуры»
295943, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181,
E-mail: ¹v_shalennyj@mail.ru, ²belkhome@mail.ru, ³tadzhiev2009@mail.ru

Аннотация. Актуальность представленного исследования обусловлена целесообразностью рационализации технико-экономических показателей производства штукатурных работ путем внедрения инновационных технологий, снижающих трудоёмкость и стоимость этих процессов. В условиях активной цифровизации строительной отрасли особую значимость приобретает также комплексная интеграция традиционных методов проектирования и строительства с BIM-технологиями для развития системы оценки объектов недвижимости на всех этапах жизненного цикла. В статье представлены результаты производственных испытаний запатентованной технологии выполнения улучшенной и высококачественной штукатурки с применением инновационной рамочной оснастки. Проведён сравнительный анализ с традиционной технологией оштукатуривания по стальным оцинкованным маякам. Экспериментально подтверждено, что предлагаемый усовершенствованный способ производства работ позволяет достичь существенного снижения себестоимости работ на 23–30% при одновременном сокращении технологической трудоёмкости на 22%. Отдельное внимание уделено потенциалу интеграции технологий в BIM-моделирование для повышения точности калькуляции и сокращения затрат ресурсов для их рационализации в жизненном цикле строительных объектов. Доказана экономическая целесообразность и техническая эффективность предложенных решений для массового внедрения в современную строительную практику. Полученные результаты демонстрируют перспективность внедрения предложенных решений в современную строительную практику.

Предмет исследования: временные и экономические показатели предлагаемой технологии в сравнении с традиционным методом оштукатуривания по стальным оцинкованным маякам, а также их влияние на точность оценки и управления объектами недвижимости на различных этапах жизненного цикла с применением BIM-технологий.

Материалы и методы: анализ состояния вопроса, сравнительная эффективность и детализация сущности предложенной технологической оснастки, описание особенностей и последовательности испытания экспериментального образца, моделирование технико-экономических показателей по результатам производственных испытаний инновационной разработки.

Результаты: установлены показатели сравнительной технико-экономической эффективности экспериментального использования нового технологического оснащения для производства работ по улучшенной и высококачественной штукатурке по сравнению с традиционной штукатуркой по маркам и маякам. Предложены направления дальнейшего развития инновационной технологии, включая использование для этого технологий лазерного сканирования поверхностей стен и перегородок до и после их оштукатуривания.

Выводы: Разработанная технология с применением инновационной рамочной технологической оснастки продемонстрировала значительный ресурсосберегающий потенциал, обеспечивая ожидаемое снижение себестоимости штукатурных работ на 23-30% и сокращение трудоёмкости на 22% при использовании модернизированной конструкции штукатурной рамки шириной 2,0 м.

Теоретически и экспериментально подтверждена возможность интеграции параметров технологического процесса оштукатуривания в BIM-модели строительства и эксплуатации объектов недвижимости, что позволяет повысить точность калькуляции ресурсов на этапе проектирования на 23–25% по сравнению с традиционными сметными расчётами. Предложенная методика лазерного сканирования поверхностей с последующей цифровой обработкой данных создает основу для формирования прогнозных моделей эксплуатационных характеристик оштукатуренных поверхностей на всем протяжении жизненного цикла строительного объекта.

Ключевые слова: штукатурные работы; безмаячная технология; BIM-моделирование; снижение материалоемкости; жизненный цикл объекта; цифровизация строительства.

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции развития строительной отрасли демонстрируют возрастающую роль цифровых технологий в рационализации и даже оптимизации производственных процессов. Анализ мирового опыта [1-3] свидетельствует о необходимости внедрения инновационных решений в технологию штукатурных работ, которые

остаются одной из наиболее трудоёмких операций в строительстве. Так, несмотря на развитие средств механизации, доля ручного труда в штукатурных работах превышает 60% [4], что обуславливает актуальность продолжения исследований в данном направлении. С другой стороны интеграция BIM-технологий в процессы оценки строительной недвижимости позволяет создавать цифровые двойники объектов, обеспечивающие более точный расчёт ресурсов и контроль качества производства

на всех этапах их жизненного цикла [5-10]. В этом контексте разработка и внедрение эффективных технологий штукатурных работ, в том числе «мокрой штукатурки», приобретает особую значимость для совершенствования системы оценки строительных объектов. Эта важность не уменьшается, а наоборот, увеличивается в случае повсеместного внедрения аддитивных технологий строительства.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ. ФОРМИРОВАНИЕ ПУТЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ И ОРГАНИЗАЦИИ ШТУКАТУРНЫХ РАБОТ

Анализ выпоненных по данной тематике работ представлен в нашей ранее опубликованной статье [11]. Также изучены и другие публикации, которые следует учесть в дальнейшей работе. Современные тенденции в области производства штукатурных работ демонстрирует устойчивую тенденцию к интеграции традиционных методов с передовыми цифровыми технологиями. Согласно исследованиям, представленным в немецком справочнике [12], европейский опыт свидетельствует о активном внедрении автоматизированных систем контроля качества, совместимых с BIM-платформами. Это позволяет не только оптимизировать производственные процессы, но и создавать точные цифровые двойники объектов для последующего управления на всех этапах жизненного цикла.

В работе Андреевой Е.А. [2] подчеркивается, что современные требования к качеству отделочных работ напрямую связаны с необходимостью обеспечения точного соответствия исполнительной документации проектным значениям. Механизация процессов с использованием штукатурных станций Knauf PFT G4 [13, 14] демонстрирует не только повышение производительности, но и значительное улучшение качества работ, что является критически важным для интеграции с системами информационного моделирования.

Особый интерес представляет исследование Верстова В.В. [3], в котором детально анализируются процессы устройства монолитных штукатурных покрытий. Автор отмечает, что применение современных гипсовых смесей в сочетании с цифровыми методами контроля позволяет достичь отклонений не более 1-2 мм от проектных значений, что соответствует требованиям BIM-стандартов.

Перспективным направлением развития отрасли является внедрение роботизированных комплексов. Как показывают исследования Шарапова Р.Р. [4], современные роботы-штукатуры способны не только автоматически наносить смеси, но и интегрироваться с системами лазерного сканирования для непрерывного контроля качества. Однако, как справедливо отмечают Шихов Н.С. [15]

и Шарапов Р.Р. [16], большинство отечественных разработок в этой области пока находятся на стадии экспериментальных исследований и, что более важно, требуют значительных капиталовложений.

Важным аспектом современных исследований является разработка методик оценки экономической эффективности внедрения новых технологий. В работе Гумеровой Э.И. [13] предложена комплексная методика расчета приведенных затрат, учитывающая как прямые расходы на материалы и оборудование, так и косвенные эффекты от повышения точности работ и снижения сроков выполнения.

Особого внимания заслуживает исследование Смышляевой Е.Г. [6], посвященное применению BIM-технологий для оптимизации процессов отделочных работ. Автор демонстрирует, что использование информационного моделирования позволяет снизить объем непредвиденных работ на 15-20% за счет точного расчета необходимых материалов и выявления потенциальных конфликтов на ранних стадиях проектирования.

В контексте управления жизненным циклом строительных объектов значительный интерес представляет статья докторов технических наук, профессоров Федосова С.В., Е.А.Король и Баканова М.О. [8]. Здесь, при определении тенденций развития BIM – технологий, в контексте обеспечения безопасных условий труда в строительстве, авторами был произведен анализ применения данных технологий в следующих концептуальных направлениях: управление строительным производством и охраной труда; 4-D планирование работ и расписаний производственных задач; визуализация и/или имитационное моделирование; взаимодействие и коммуникации; определение вредных факторов производства. В ходе анализа были определены преимущества и недостатки использования информационного моделирования в контексте совершенствования организации охраны труда в строительстве по каждому из концептуальных направлений развития BIM - технологий. На основе анализа нормативных правовых актов и нормативно-технической документации представлена совокупность из 68 источников, показывающая динамику развития и внедрения информационного моделирования объектов капитального строительства в России.

Инновационным направлением является исследование Пименова С.И. [9], посвященное декомпозиции цифровых информационных моделей для задач организационно-технологического проектирования. Предложенный автором подход позволяет детализировать процессы штукатурных работ до уровня отдельных операций, что может значительно повысить точность калькуляции ресурсов и времени. Перспективы развития отрасли, как показано в работе Сокольников В.В. [10], связаны с созданием комплексных систем оперативного управления производственными процессами на основе данных цифрового

мониторинга. Такие системы позволяют в реальном времени отслеживать выполнение работ и вносить корректировки в технологические процессы.

Значительный потенциал представляет использование промышленных отходов в производстве сухих строительных смесей, как это описано в исследовании Чередниченко Т.Ф. [17]. Разработанные авторами составы не только снижают экологическую нагрузку, но и демонстрируют улучшенные эксплуатационные характеристики.

Особого внимания заслуживают работы по аддитивным технологиям в строительстве [18, 19], где рассматриваются перспективы 3D-печати строительных конструкций. Как показывают исследования Адамцевича Л.А., эти технологии открывают новые возможности для создания сложных геометрических форм, однако требуют разработки новых эффективных организационно-технологических решений для последующей отделки полученных таким образом вертикальных поверхностей строительных конструкций.

В контексте оценки ресурсоемкости объектов недвижимости важным является исследование профессора Кожемяки С.В. [20], где изложена методика более точного расчета расходования материалов с учетом качества поверхности основания. Эта методика позволяет повысить точность сметных расчетов и рационализировать планирование ресурсов.

Проведенный анализ научно-технической литературы и патентных источников, включая и наши предыдущие исследования и разработки [11], свидетельствует о формировании новых подходов к совершенствованию штукатурных технологий. Особенностью современного этапа является интеграция традиционных производственных процессов с цифровыми системами управления, что создает предпосылки для принципиального изменения методологии оценки ресурсоемкости объектов недвижимости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В отличие от традиционных методов, ориентированных преимущественно на стоимостные показатели, современные разработки в области изоляционно-отделочных работ все чаще включают элементы систем лазерного сканирования поверхностей; автоматизированный контроль толщины покрытий, а также цифровую фиксацию организационно-технологических параметров строительных процессов. Эти инновации позволяют формировать детализированные базы данных для последующей интеграции в BIM-модели объектов [21] с созданием цифровых двойников технологических процессов открывает новые возможности для:

- прогнозирования эксплуатационных характеристик отделочных покрытий;

- оптимизации сроков проведения ремонтных работ;

- более точного прогнозирования протекания жизненного цикла конструкций.

Особый интерес представляет разработка алгоритмов учета взаимосвязи между технологическими параметрами штукатурных работ и стоимостью объектов недвижимости. Проведенный анализ патентных источников показал также рост числа технических решений, направленных на:

- автоматизацию контроля качества отделочных работ;

- создание систем аппаратно-программных решений и новых технологий обработки и анализа данных;

- разработку цифровых паспортов отделочных покрытий

Перспективным направлением является создание комплексных систем управления, объединяющих данные о технологических параметрах штукатурных работ с финансовыми моделями оценки недвижимости. Это позволит перейти от традиционных методов сметного расчета к динамическим моделям оценки, учитывающим реальные показатели качества и долговечности отделочных покрытий.

Таким образом, современные исследования демонстрируют комплексный подход к совершенствованию, в том числе, и технологий отделочных работ, сочетающий традиционные методы с передовыми цифровыми решениями. Предлагаемая в данном исследовании технология с рамочной оснасткой представляет собой возможную, проверенную на практике, реализацию этого подхода, обеспечивая совместимость с BIM-системами и возможность интеграции в современные системы управления строительством.

Экспериментальные исследования работоспособности и эффективности инновационного технологического оснащения «мокрой» штукатурки проводились в летний период 2024 года на объекте индивидуального жилищного строительства в пригородной зоне г. Симферополя. Особенностью предварительно разработанной экспериментальной методики стало комплексное документирование процесса с применением цифровых технологий контроля качества. Все этапы работ, включая подготовительные операции и нанесение подстилающих и выравнивающих слоев, фиксировались с помощью системы многоракурсной видеосъемки с последующей компьютерной обработкой временных параметров наблюдаемых технологических процессов (Рис. 1).

Подготовительный этап включал возможность применения в будущем многоканального лазерного сканирующего оборудования для относительно быстрого создания цифровой модели поверхности ограждающей конструкции (Рис. 2). Ведь трехмерное сканирование позволяет идентифицировать зоны максимального отклонения плоскости стены и рационализировать таким

образом возможное расположение монтажных элементов. Для ускорения процесса, разметочные операции выполнялись с использованием временных шаблонов на основе элементов той же

инновационной штукатурной рамы, что обеспечило требуемую точность позиционирования временных анкерных креплений.



Рис. 1. Видеофиксация операций приготовления, нанесения и разравнивания раствора правилом под окончательную отделку оштукатуренная поверхность перегородки с использованием установленной и выверенной технологической оснастки – штукатурной рамки из алюминиевых уголков подобранного поперечного сечения.

Fig. 1. Video recording of the preparation, application, and leveling of the solution with a rule for the final finishing of the plastered surface of the partition using the installed and calibrated technological equipment – a plaster frame made of aluminum corners of the selected cross-section.

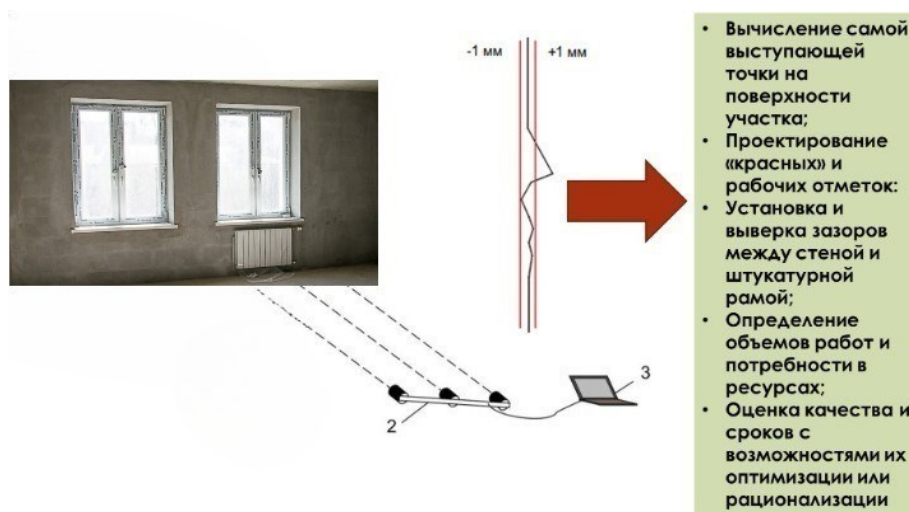


Рис. 2. Автоматизация подготовки оштукатуривания и контроль его качества по методике Астраханского ГАСАСУ [22, 23] для BIM-модели процесса и его рационализации: 1- поверхность стены, 2 – блок датчиков расстояний и углов; 3 – персональный компьютер.

Fig. 2. Automation of plastering preparation and quality control according to the Astrakhan GASASU [22, 23] method for the BIM model of the process and its rationalization: 1- wall surface, 2 – block of distance and angle sensors; 3 – personal computer.

Технологической особенностью монтажа стало применение регулировочных анкерных систем с торцевым шестигранным углублением, позволивших точно позиционировать несущую раму относительно базовой плоскости, подлежащей оштукатуриванию. Калибровка положения осуществлялась посредством высокоточной регулировки гаек, обеспечивающей соблюдение проектного расстояния для формирования слоёв штукатурного покрытия заданной толщины (Рис. 3).

Процесс приготовления раствора был оптимизирован за счет использования стандартизированных емкостей и электроинструмента с калиброванными насадками. Нанесение штукатурной смеси производилось с применением комбинированной схемы с последующим выравниванием специализированным алюминиевым правилом, адаптированным под геометрию рамы.

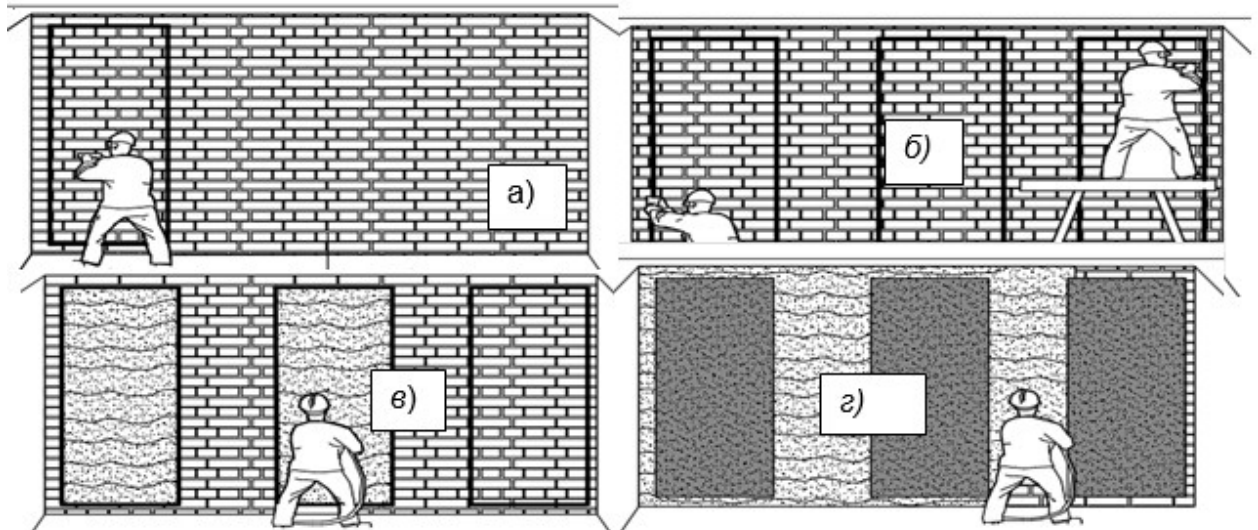


Рис. 3. Схема организации штукатурных работ на одной стене по предлагаемой технологии: а) – провешивание и разметка отверстий, б) – установка и выверка положения штукатурных рамок, в) заполнение и разравнивание поверхности раствора внутри рамки, г) – то же, в оставшихся полосах после демонтажа указанных приспособлений
Fig. 3. Scheme of organizing plastering work on one wall using the proposed technology: a) – checking and marking the holes, b) – installing and adjusting the position of the plaster frames, c) – filling and leveling the surface of the solution inside the frame, d) – the same in the remaining strips after removing the specified devices

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Результаты хронометражных наблюдений и измерения фактических затрат материалов уже представлены в статье Совершенствование технологии штукатурных работ с применением безмаячного метода в контексте цифровой трансформации строительства [24]. Сравнительный анализ с традиционной технологией оштукатуривания по стальным оцинкованным маякам показал, что при использовании опытного образца рамы шириной 1,25 м удельная трудоемкость составила 12,5 чел.-мин./м² против 11,1 чел.-мин./м² у традиционного метода. Однако моделирование аналогичного процесса для смодернизированной рамы шириной 2,0 м демонстрирует снижение трудозатрат до 8,7 чел.-

мин/м², что соответствует уменьшению трудоемкости процесса оштукатуривания на 21,6%.

Экономический анализ выявил также и значительное снижение материалоемкости: стоимость материалов предложенной технологии составила 160 руб./м² против 248,6 руб./м² у традиционного метода. При этом не учитывались затраты на сами стальные маяки одноразового использования. С учетом оцененной рационализации трудовых затрат, себестоимость квадратного метра покрытия, по прогнозу, снижается с 598,6 до 460 руб. в ценах середины 2024 года. Но для подтверждения выдвинутого предположения планируется проведение следующего цикла аналогичных производственных экспериментов, для чего уже произведена модернизация нашей инновационной штукатурной рамы с увеличением ее ширины до двух метров (Рис. 4).



Рис.4. Увеличение длины поперечины технологической оснастки до 2 м на заклепочном соединении уголков из алюминия

Fig.4. Increasing the length of the crossbar of the technological equipment to 2 m using riveted aluminum angles

Важным аспектом дальнейшего исследования стала разработка методики интеграции параметров технологии в BIM-модели. Лазерное сканирование поверхностей до и после оштукатуривания позволяет создать библиотеку отклонений для прогнозирования затрат материальных и трудовых ресурсов. Перспективным направлением развития

исследования представляется также приспособление нашей технологии для отделки поверхностей, полученных методом аддитивного строительства [17, 18], а также объединение с системами автоматизированного контроля качества на основе машинного зрения и искусственного интеллекта.

ВЫВОДЫ

Проведенное исследование позволяет сформулировать следующие научно-практические выводы:

1. Разработанная технология с применением инновационной рамочной технологической оснастки продемонстрировала значительный ресурсосберегающий потенциал, обеспечивая ожидаемое снижение себестоимости штукатурных работ на 23-30% и сокращение трудоемкости на 22% при использовании модернизированной конструкции штукатурной рамки шириной 2,0 м.

2. Теоретически и экспериментально подтверждена возможность интеграции параметров технологического процесса оштукатуривания в BIM-модели строительства и эксплуатации объектов недвижимости, что позволяет повысить точность калькуляции ресурсов на этапе проектирования на 23-25% по сравнению с традиционными сметными расчётами.

3. Предложенная методика лазерного сканирования поверхностей с последующей цифровой обработкой данных создает основу для формирования прогнозных моделей эксплуатационных характеристик оштукатуренных поверхностей на всем протяжении жизненного цикла строительного объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вахмистров А.И. Индустриальное домостроение. – СПб.: Славутич, 2019, 260с.
- Андреева Е.А. Анализ динамики производительности труда в строительной отрасли России /Е. А. Андреева //Вестник гражданских инженеров. – 2017, №4(63), С. 243-250.
- Верстов В.В. Исследование процесса устройства монолитного штукатурного покрытия стен при отделке помещений гипсовыми смесями /В.В. Верстов, Д.Д. Тишкин //Вестник гражданских инженеров. – 2010, №2(23), С. 109-114.
- Шарапов Р.Р., Кайтуков, Б.А., Степанов, М.А. Некоторые проблемы динамики и надежности строительной техники // Механизация строительства. 2017. Т.78. №7. С.5-8.
- Шарапов Р. Р. Описание динамики вибрационного оштукатуривания вертикальных стен / Р. Р. Шарапов, Н. С. Шихов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024, №3. С.666-671.
- Смышляева Е. Г. Актуальность использования BIM-технологий в строительной отрасли //Бюллетень науки и практики. 2022. Т. 8. №3. С. 279-282.
- Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры: Материалы VII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15–17 мая 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2024. – 381с.
- Федосов С. В. Систематизация цифровых решений по обеспечению безопасных условий труда на основе информационных моделей объектов строительства /С. В. Федосов, Е. А. Король, М. О. Баканов // Строительство и техногенная безопасность. – 2023. – №29(81). – С. 41-57.
- Пименов С. И. Уровни декомпозиции строительных цифровых информационных моделей (4D-моделей) для задач организационно-технологического моделирования строительного производства / С. И. Пименов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2023. – № 2(770). – С. 65-78.
- Сокольников В.В., Молодцов М.В. Информатизация организации строительного производства и оперативного управления //Вестник МГСУ. 2024; №19(6): С.1006-1015.
- Шаленный В. Т., Обоснование, разработка и изготовление экспериментального образца технологического оснащения улучшенной и высококачественной штукатурки стен и перегородок /В. Т. Шаленный, А. Ш. Таджикиев, А. Э. Халилов //Строительство и техногенная безопасность. – 2023, № 31(82), С.99-110.
- Росс Х., Шталь Ф. Штукатурка. Материалы, техника производства работ, предотвращение дефектов. Из-во РИА Квинтет, 2006. – 300с.
- Гумерова Э.И., Гамаюнова, О.С. Способы производства штукатурных работ //Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №7(46). С.7-16.
- Завражин Н.Н. Штукатурные работы высокой сложности: учеб. пособие для нач. проф. образования /Н. Н. Завражин. - 2-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2010. - 192с.
- Шихов Н. С. Обзор конструкций машин для штукатурки стен / Н. С. Шихов // Технологии бетонов. – 2022. – №4(183). – С. 75-77. – EDN KHMWUI.
- Шихов Н. С. Робот-штукатур, как средство механизации в строительстве / Н. С. Шихов, Р. Р. Шарапов // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования - 2023: Сборник докладов IV Национальной научной конференции, Москва, 15 декабря 2023 года. – Москва: Московский государственный строительный университет (национальный исследовательский университет), 2024, – С.898-904.
- Чередниченко Т. Ф., Мамиргов, М. У. Совершенствование современных технологий производства штукатурных работ //Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 4(81). С. 274—282.
- Топчий, Д. В. Интеграция информационного моделирования зданий и цифрового двойника в процессе строительства проекта / Д. В. Топчий, О. Д. Альоода // Вестник евразийской науки. – 2025. – Т. 17, № 1. – EDN JNEHEN.
- Адамцевич А. О., Аддитивное строительное производство: обзор мирового опыта / А. О. Адамцевич, Л. А. Адамцевич, А. П. Пустовгар //

Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 12. – С. 83-97. – DOI 10.33622/0869-7019.2023.12.83-97. – EDN GVFBHM.

20. Кожемяка С. В., Определение расхода сухой смеси производства компании "KNAUF" при устройстве монолитных стяжек с учетом качества поверхности основания /С. В. Кожемяка //Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2020. – №6(146). – С. 27-31. – EDN NXUUMQ.

21. Шеина С. Г., Устойчивое развитие. Энерго- и ресурсосбережение. BIM-технологии в строительной отрасли / С. Г. Шеина, И. Ю. Зильберова, А. А. Федоровская [и др.]. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2023. – 166 с.

22. Патент № 2559168 С1 Российская Федерация, МПК G01B 11/255. способ бесконтактного определения кривизны поверхности строительной конструкции: № 2014110171/28: заявл. 17.03.2014: опубл. 10.08.2015 / Н. А. Иванникова, О. А. Жолобова, А. Л. Жолобов [и др.]; заявитель Государственное автономное образовательное учреждение Астраханской области высшего профессионального образования "Астраханский инженерно-строительный институт" (ГАОУ АО ВПО "АИСИ"). – EDN DQAYWF.

23. Патент на полезную модель № 157690 U1 Российская Федерация, МПК G01B 11/00. прибор для бесконтактного контроля ровности поверхности строительных конструкций: № 2015121030/28: заявл. 02.06.2015: опубл. 10.12.2015 / Н. А. Иванникова, О. А. Жолобова, А. Л. Жолобов [и др.]; заявитель ГАОУ Астраханской области высшего профессионального образования "Астраханский инженерно-строительный институт" (ГАОУ АО ВПО "АИСИ"). – EDN KSGROO.

24. Шаленный В. Т., Олейник П. П., Пахомова Л. А., Замша О. Н., Таджиев А. Ш., Совершенствование технологии штукатурных работ с применением безмаячного метода в контексте цифровой трансформации строительства // Строительное производство. – 2025, № 3, С.112-120, DOI: 10.54950/26585340_2025_3_112.

REFERENCES

1. Vakhmistrov A.I. Industrial housing construction. – St. Petersburg: Slavutych, 2019. – 260p. (rus).

2. Andreeva E.A. Analysis of labor productivity dynamics in the construction industry of Russia /E. A. Andreeva //Bulletin of Civil Engineers. – 2017. – No 4(63). – Pp. 243-250. – doi.org/1999-5571-2017-14-4-243-250. (rus)

3. Verstov V.V. Investigation of the process of installing monolithic plaster coating of walls when finishing rooms with gypsum mixtures / V.V. Verstov, D.D. Tishkin //Bulletin of Civil Engineers. – 2010, No 2(23), Pp.109-114. (rus).

4. Sharapov R.R., Kaitukov, B.A., Stepanov, M.A. Some problems of dynamics and reliability of

construction machinery // Mechanization of construction. 2017. Vol.78. No. 7. pp.5-8.

5. Sharapov R. R. Description of the dynamics of vibration plastering of vertical walls / R. R. Sharapov, N. S. Shikhov // News of Tula State University. Technical Sciences. – 2024, No. 3. P.666-671. (rus).

6. Smyshlyaeva E. (2022). The Relevance of Using BIM Technologies in the Construction Industry. Bulletin of Science and Practice, 8(3), Pp.279-282. (rus).

7. Information modeling in construction and architecture problems: Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, May 15–17, 2024. – St. Petersburg: St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2024. – 381 p. (rus).

8. Fedosov S.V. Systematization of digital solutions to ensure safe working conditions based on information models of construction objects /S. V. Fedosov, E. A. Korol, M. O. Bakanov // Construction and technogenic safety. – 2023. – No. 29(81). – p. 41-57. (rus).

9. Pimenov S.I. Levels of decomposition of 4D models for the tasks of organizational and technological modeling of construction production. News of Higher Educational Institutions. Construction. 2023; (2): p.65–78. (rus).

10. Sokolnikov V.V., Molodtsov M.V. Informatization of construction production organization and operational management. Vestnik MGSU. 2024;№19(6): Pp.1006-1015. (rus).

11. Shalenny V. T., Tadzhiyev A. Sh., Khalilov A. E. Substantiation, development and production of an experimental sample of technological equipment of improved and high-quality plaster walls and partitions. Construction and technogenic safety/ – 2023. – № 31(83). – Pp.99-110. (rus).

12. Ross H., Stahl F. Plaster. Materials, work technique, defect prevention. From RIA Quintet, 2006. – 300p. (rus).

13. Gumerova E.I., Gamayunova O.S. Methods of plastering works. Construction of Unique Buildings and Structures, 2016, 7 (46), Pp.7-16. (rus).

14. Zavrazhin N.N. Plastering works of high complexity: textbook. Guide for beginners prof. education /N. N. Zavrazhin. - 2nd ed., erased. - M.: Publishing center "Academy", 2010. - 192p.(rus).

15. Shikhov N. S. Overview of the structures of machines for plastering walls / N. S. Shikhov // Technology of concrete. – 2022. – №4(183). – Pp. 75-77. – EDN KHMWUI.

16. Shikhov N. S. Robot plasterer as a means of mechanization in construction / N. S. Shikhov, R. R. Sharapov // Current problems of the construction industry and education - 2023: Collection of reports of the IV National Scientific Conference, Moscow, December 15, 2023. – Moscow: Moscow State University of Civil Engineering (national research university), 2024, – P.898-904. (rus).

17. Cherednichenko T. F. Mamirgov, M. U. Improvement of modern technologies for the production of plastering works]. Vestnik Volgogradskogo

gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura. Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, pp. 274—282. (rus).

18. Topchiy D.V., Alyooda O.J. Integration of building information modeling and digital twin in project construction. The Eurasian Scientific Journal. 2025;17(1): 39SAVNI25.

19. Adamtsevich A. O. Additive construction production: a review of world experience / A. O. Adamtsevich, L. A. Adamtsevich, A. P. Pustovgar // Industrial and civil engineering. – 2023. – № 12. – pp. 83-97. – DOI 10.33622/0869-7019.2023.12.83-97. – EDN GVFBHM.

20. Kozhemyaka S. V., Determination of the consumption of a dry mixture produced by KNAUF when installing monolithic screeds, taking into account the surface quality of the base /S. V. Kozhemyaka //Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture. – 2020. – №6(146). – Pp. 27-31. – EDN NXUUMQ.

21. Sheina S. G., Sustainable development. Energy and resource saving. BIM technologies in the construction industry /S. G. Sheina, I. Yu. Zilberova, A. A. Fedorovskaya [etc.]. – Rostov-on-Don: Don State Technical University, 2023. – 166p. (rus).

22. Patent No. 2559168 C1, Russian Federation, IPC G01B 11/255. Method for Non-Contact Determination of the Curvature of the Surface of a Building Structure: No. 2014110171/28, filed on March 17, 2014, published on August 10, 2015 / N. A. Ivannikova, O. A. Zholobova, A. L. Zholobov [et al.]; applicant: Astrakhan State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education "Astrakhan Institute of Engineering and Construction" (GAOU AO VPO "AISI"). – EDN DQAYWF.

23. Utility model patent No. 157690 U1 Russian Federation, IPC G01B 11/00. device for contactless control of the surface evenness of building structures: No. 2015121030/28: application. 06/02/2015: publ. 12/10/2015 / N. A. Ivannikova, O. A. Zholobova, A. L. Zholobov [et al.]; applicant: Astrakhan Engineering and Construction Institute, State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education of the Astrakhan Region (GAOU AO VPO AISI). – EDN KSGROO.

24. Shalenny V. T., Oleinik P. P., Pakhomova L. A., Zamsha O. N., Tadzhiyev A. Sh., Improving the Technology of Plastering Works Using a Non-Lighthouse Method in the Context of the Digital Transformation of Construction// Construction Production. – 2025, No. 3, pp. 112-120, DOI: 10.54950/26585340_2025_3_112.

ESSENCE, EFFECTIVENESS, AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF BIM-BASED WET STUCKEY TECHNOLOGY

Shalenny¹ V.T., Zamsha² O.N., Tadzhiyev³ A.S.

¹ Vernadsky Crimean Federal University,
Institute of Academy of Construction and Architecture
295943, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya str., 181,
e-mail: ¹v_shalennyj@mail.ru, ²belkhome@mail.ru, ¹tadzhiyev2009@mail.ru

Abstract. The relevance of the presented research is due to the expediency of rationalizing the technical and economic indicators of plastering production by introducing innovative technologies that reduce the labor intensity and cost of these processes. In the context of active digitalization of the construction industry, the integrated integration of traditional design and construction methods with BIM technologies is also of particular importance for the development of a system for assessing real estate objects at all stages of the life cycle. The article presents the results of production tests of a patented technology for performing improved and high-quality plastering using innovative frame equipment. A comparative analysis has been conducted with the traditional technology of plastering using steel galvanized beacons. It has been experimentally confirmed that the proposed improved method of work production allows for a significant reduction in the cost of work by 23-30%, while simultaneously reducing.

Subject: The article examines the time and economic performance of the proposed technology in comparison with the traditional method of plastering using steel galvanized beacons, as well as its impact on the accuracy of real estate assessment and management at various stages of the life cycle using BIM technologies.

Materials and methods: Analysis of the state of the issue, comparative efficiency and detailing of the essence of the proposed technological equipment, description of the features and sequence of testing the experimental sample, and modeling of technical and economic indicators based on the results of production tests of the innovative development.

Results: The article establishes the indicators of comparative technical and economic efficiency of the experimental use of new technological equipment for the production of improved and high-quality plastering compared to traditional plastering using marks and beacons. The article also proposes directions for further development of innovative technology, including the use of laser scanning technologies for the surfaces of walls and partitions before and after plastering.

Conclusions: The conducted research allows us to formulate the following scientific and practical conclusions:

1. The developed technology using innovative frame technological equipment demonstrated significant resource-saving potential, providing an expected 23-30% reduction in the cost of plastering work and a 22% reduction in labor intensity when using a modernized 2.0 m wide plastering frame.
2. The possibility of integrating the parameters of the plastering process into BIM models of construction and operation of real estate objects has been theoretically and experimentally confirmed, which allows for a 23-25% increase in the accuracy of resource calculations during the design phase compared to traditional cost estimates.
3. The proposed method of laser scanning of surfaces, followed by digital data processing, provides a basis for creating predictive models of the performance characteristics of plastered surfaces throughout their entire life cycle.

Key words: plastering; beaconless technology; BIM modeling; reduction of material consumption; object lifecycle; digitalization of construction..

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Савенко А. А.¹, Пономарев А. Ю.², Будюк Е.О.³

Кубанский государственный технологический университет,
350072, Россия, Краснодарский край г. Краснодар, ул. Московская, д. 2,
e-mail: ¹9184986495@mail.ru, ²san.many@yandex.ru, ³elizavetta201420@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные вопросы совершенствования системы проектного управления в строительной отрасли. Основное внимание уделяется анализу существующих проблем в управлении строительными проектами и разработке практических рекомендаций по повышению их эффективности.

Авторы исследуют современные методы и инструменты проектного менеджмента, адаптированные под специфику строительного производства. Особое внимание уделяется вопросам оптимизации временных и материальных ресурсов, управления рисками и контроля качества на всех этапах строительства.

В работе представлены результаты анализа успешных практик проектного управления в отечественных и зарубежных строительных компаниях. На основе проведенного исследования предложены конкретные механизмы совершенствования организационной структуры управления, системы мотивации персонала и методов контроля за реализацией строительных проектов.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения предложенных рекомендаций для повышения эффективности управления строительными проектами различной сложности и масштаба. Материалы статьи могут быть полезны руководителям строительных компаний, проектным менеджерам и специалистам в области управления строительством.

Предмет исследования: предметом исследования является «Проектное управление» как отдельная дисциплина со своей методологией, понятиями и инструментами

Материалы и методы: исследование построено на комплексном анализе нормативной документации и публикаций научных статей. Применены методы: сравнительный анализ, дедукция, теоретический анализ и синтез, метод аналогии.

Результаты: Предложено разработать и оптимизировать под конкретную организацию внутренний стандарт организации, созданный на основе ГОСТ Р 57363—2016.

Выводы: Внедрение внутреннего стандарта организации, разработанного на основе ГОСТ Р 57363—2016, способствует повышению прозрачности и управляемости строительных проектов, снижению рисков и оптимизации затрат, что, в свою очередь, обеспечивает конкурентное преимущество организации на рынке строительных услуг. Такой подход позволяет не только формализовать процессы управления проектами, но и создать единую корпоративную культуру, ориентированную на достижение поставленных целей

Ключевые слова: проектное управление, строительство, эффективность, оптимизация ресурсов, управление рисками, контроль качества.

ВВЕДЕНИЕ

Проектное управление в строительстве сталкивается с множеством специфических проблем, которые приводят к печальным последствиям: срыву сроков, превышению бюджета и снижению качества.

Согласно ГОСТ Р 57363—2016 «Управление проектом в строительстве. Деятельность управляющего проектом (технического заказчика)»: «Управление проектом в строительстве — это деятельность, направленная на достижение целей и задач инвестиционно-строительного проекта, начиная с формирования инвестиционных намерений, выбора земельных участков или объектов, инженерных изысканий, предпроектной и проектной подготовки строительства и заканчивая строительством, реконструкцией или капитальным ремонтом объектов, последующей сдачей-приемкой их в эксплуатацию».

В контексте оценки эффективности проектов, особенно в соответствии с требованиями ГОСТ Р 57363—2023, ключевыми индикаторами выступают не только формальные аспекты завершения, но и

качественные характеристики реализации. Такими показателями являются:

- проект закончен в срок, в рамках бюджета;
- требуемое (проектное) качество объекта достигнуто;
- ресурсы проекта распределены максимально эффективно;
- проект соответствует бизнес-плану.

Этих показателей достаточно для определения эффективности на определенном уровне, но возможно и улучшение, уточнение этих показателей для более точного анализа. Углубленный анализ может включать оценку удовлетворенности заинтересованных сторон, долгосрочное влияние проекта на бизнес-показатели компании и степень инновационности внедренных решений.

Целью исследования является анализ нормативного подхода по определению эффективности управления строительным проектом.

В конечном итоге, повышение эффективности проектного управления в строительстве приводит к значительному сокращению сроков реализации проектов, снижению затрат, повышению качества строительства и, как следствие, увеличению

прибыльности бизнеса. Это позволяет строительным компаниям оставаться конкурентоспособными на рынке и успешно реализовывать проекты любой сложности.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В ходе исследования был проведен анализ публикаций по управлению проектами в строительстве [1-17]. Часть публикаций посвящена оценке эффективности управления проектом. [5, 10-12].

Анализ показал, что эффективность управления проектом часто оценивается на основе традиционных показателей, таких как соблюдение сроков, бюджета и соответствие требованиям качества. Однако, в современных условиях все больше внимания уделяется более широкому спектру факторов, включая разработанные нормативы организационной надежности, экологическую устойчивость и системы KPI [10-12].

Некоторые исследования сосредоточены на разработке и применении различных методологий управления проектами, таких как Agile, Lean Construction и BIM (Building Information Modeling) [2, 8]. Эти методологии направлены на повышение гибкости, эффективности и прозрачности процессов управления проектами в строительстве.

Другие публикации посвящены изучению рисков в строительных проектах и внедрению интернета [3]. Управление рисками является критически важным аспектом успешного управления проектом, поскольку строительные проекты часто подвержены различным неопределенностям и непредвиденным обстоятельствам.

Наконец, ряд исследований посвящен вопросу внедрения автоматизированных систем управления (АСУ) в строительных проектах [13, 15]. Кроме того, проводятся исследования, направленные на разработку методик оценки эффективности внедрения АСУ. Эти методики позволяют определить, насколько внедренная система соответствует поставленным целям и задачам, а также выявить области для улучшения.

В целом, анализ публикаций показывает, что управление проектами в строительстве является сложной и многогранной областью, требующей учета множества факторов и применения различных подходов и инструментов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При исследовании использовался анализ нормативной документации (ГОСТ Р 57363—2016) и публикаций, касающихся управления проектами в строительстве.

В частности, был проведен анализ структуры и содержания ГОСТ Р 57363—2016 "Управление проектами в строительстве. Деятельность управляющего проектом (технического заказчика)".

Этот стандарт устанавливает общие требования к управлению проектами в строительстве, включая определение целей проекта, планирование, организацию, контроль и завершение работ.

Анализ публикаций позволил выявить основные тенденции и проблемы в управлении проектами в строительстве. Были рассмотрены вопросы применения современных методов и технологий управления, таких как BIM (Building Information Modeling), Agile и Lean Construction. Особое внимание уделялось вопросам оптимизации процессов, снижения затрат и повышения эффективности управления проектами.

Кроме того, исследовались вопросы управления рисками в строительных проектах. Были рассмотрены методы идентификации, оценки и реагирования на риски, а также вопросы страхования строительных рисков. Анализ публикаций позволил выявить наиболее распространенные виды рисков в строительстве и разработать рекомендации по их управлению.

На основе проведенного анализа были сформулированы выводы о необходимости совершенствования системы управления проектами в строительстве. В частности, было отмечено, что необходимо более широкое применение современных методов и технологий управления, а также повышение квалификации специалистов в области управления проектами.

Результаты анализа нормативной документации и публикаций также указали на важность интеграции управления проектами в общую систему управления строительной организации. Это предполагает создание единой информационной среды, обеспечивающей обмен данными между различными участниками проекта, а также использование унифицированных процессов и процедур управления. Особое внимание уделялось необходимости разработки и внедрения системы ключевых показателей эффективности (KPI) для оценки результативности управления проектами.

В рамках исследования были проанализированы публикации, выявлены различные подходы к управлению проектами, применяемые в строительной отрасли. Были проанализированы преимущества и недостатки каждого подхода, а также возможности их адаптации к конкретным условиям строительных проектов. Особо выделялись вопросы выбора оптимальной стратегии управления проектом, учитывающей его специфику, сложность и риски.

Проведенный анализ позволил выявить ряд проблем, препятствующих эффективному управлению проектами в строительстве. Среди них – недостаточная квалификация специалистов, отсутствие единых стандартов и процедур управления, а также неэффективное использование информационных технологий. Для решения этих проблем были предложены конкретные рекомендации, направленные на повышение эффективности управления проектами в строительной отрасли.

В заключение, проведенное исследование подтвердило необходимость дальнейшего совершенствования системы управления проектами в строительстве.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

При исследовании автор рассматривал ГОСТ Р 57363—2016 «Управление проектом в строительстве. Деятельность управляющего проектом (технического заказчика)». В ходе сравнения управления реальным строительством с нормативным были найдены сходства и различия.

Автором предлагается на основе ГОСТ Р 57363—2016 и опыта строительства создать внутренний стандарт организации.

Предлагаемый внутренний стандарт призван стать практическим руководством для сотрудников компании, вовлеченных в управление строительными проектами. Он будет адаптирован к специфике деятельности организации, учитывая накопленный опыт и текущие процессы.

В основу стандарта будут положены основные принципы и положения ГОСТ Р 57363—2016, такие как: определение целей и задач проекта, планирование, организация исполнения, контроль и координация, завершение проекта. Однако, в отличие от нормативного документа, внутренний стандарт будет содержать более конкретные инструкции и примеры, применимые к реальным строительным проектам, реализуемым компанией.

Различия между нормативным документом и реальной практикой строительства будут учтены при разработке стандарта. В частности, будут рассмотрены типичные отклонения от плана, методы их выявления и способы корректировки, а также процедуры взаимодействия с подрядчиками и заказчиками.

Важным аспектом внутреннего стандарта станет определение ролей и ответственности участников проекта, а также механизмы принятия решений. Будут разработаны шаблоны документов и отчетности, обеспечивающие прозрачность и эффективность управления проектом.

Внедрение внутреннего стандарта позволит повысить качество управления строительными проектами, сократить сроки и издержки, а также минимизировать риски. Он станет основой для обучения новых сотрудников и повышения квалификации опытных специалистов.

При внедрении этого стандарта необходимо в первое время вносить корректировки, находить оптимальные варианты по факту, а не на бумаге. Это неизбежный этап адаптации, когда теория встречается с реальностью производственных процессов и человеческим фактором. Важно создать механизм обратной связи, позволяющий оперативно выявлять узкие места и проблемные зоны.

Первоочередной задачей становится формирование компетентной рабочей группы, способной анализировать полученные данные и предлагать обоснованные решения. В ее состав

должны входить как представители руководства, так и рядовые сотрудники, непосредственно работающие на местах. Только совместными усилиями можно добиться эффективной реализации стандарта.

Не менее важным аспектом является обучение персонала. Сотрудники должны не только понимать суть изменений, но и обладать необходимыми навыками для работы в новых условиях. Регулярные тренинги, семинары и мастер-классы помогут им адаптироваться к новым требованиям и успешно применять их на практике.

Параллельно с обучением необходимо разработать четкую систему мотивации и стимулирования, поощряющую сотрудников к активному участию в процессе внедрения стандарта. Премии, бонусы и другие формы материального вознаграждения могут стать дополнительным стимулом для достижения поставленных целей.

При внедрении внутреннего стандарта организации по управлению проектами в строительстве важно поддерживать коммуникацию в коллективе. Без эффективного обмена информацией и четкого понимания целей и задач проекта каждым участником, даже самый продуманный стандарт может оказаться неработоспособным.

Прежде всего, необходимо создать каналы коммуникации, удобные для всех членов команды. Это могут быть регулярные совещания, как личные, так и онлайн, использование специализированных платформ для управления проектами с встроенными функциями обмена сообщениями и документами, а также оперативные каналы связи, такие как мессенджеры, для решения срочных вопросов.

Важно помнить, что коммуникация должна быть двусторонней. Сотрудники должны иметь возможность не только получать информацию о ходе проекта и своих задачах, но и свободно высказывать свои предложения, замечания и опасения. Для этого необходимо создать атмосферу доверия и открытости, где каждый член команды чувствует себя услышанным и ценным.

Кроме того, следует обратить внимание на ясность и доступность информации. Стандарт организации по управлению проектами должен быть четко сформулирован и легко понятен всем участникам. Необходимо проводить обучение и консультации, чтобы убедиться, что каждый сотрудник правильно понимает положения стандарта и умеет их применять на практике.

Наконец, важно регулярно отслеживать эффективность коммуникации и корректировать ее в случае необходимости. Обратная связь от сотрудников, анализ результатов проекта и оценка удовлетворенности команды могут помочь выявить проблемные зоны и внести необходимые улучшения. Только таким образом можно создать систему управления проектами, основанную на эффективной коммуникации и взаимопонимании,

которая приведет к успешному завершению строительных проектов.

И, наконец, постоянный мониторинг и анализ результатов – залог успешной реализации стандарта. Регулярные отчеты, совещания и обсуждения позволят своевременно выявлять отклонения от намеченного курса и принимать необходимые меры для их устранения. Только такой комплексный подход позволит добиться максимальной эффективности и долгосрочных результатов.

Таким образом, разработка и внедрение стандарта организации, адаптированного к специфике конкретной строительной компании, становится важным шагом на пути к оптимизации управления проектами. Этот стандарт должен учитывать не только общие требования ГОСТ Р 57363—2016, но и особенности организационной структуры, ресурсов и компетенций компании.

Кроме того, необходимо обеспечить интеграцию стандарта организации с существующими информационными системами и процессами компании. Это позволит создать единую информационную среду, обеспечивающую оперативный обмен данными между участниками проекта и принятие обоснованных управленческих решений.

Внедрение системы ключевых показателей эффективности (KPI) для оценки результативности управления проектами позволит отслеживать прогресс достижения целей проекта, выявлять проблемные области и принимать корректирующие меры. Регулярный анализ KPI позволит оценить эффективность внедренного стандарта организации и внести необходимые корректировки для его дальнейшей оптимизации.

ВЫВОДЫ

Разработка, внедрение и использование стандарта организации по управлению проектами в строительстве позволяют установить рамки для руководителя проекта. Дальнейшая доработка этого стандарта на основе практического опыта конкретной организации позволит повысить эффективность данного управления.

В частности, наличие четко определенного стандарта обеспечивает единообразный подход к планированию, исполнению и контролю строительных проектов. Это, в свою очередь, способствует снижению рисков, связанных с несоблюдением сроков, превышением бюджета и некачественным выполнением работ. Стандарт организации определяет роли и обязанности участников проекта, устанавливает процедуры принятия решений и методы коммуникации, что значительно упрощает взаимодействие между различными подразделениями и подрядчиками.

Применение стандарта также способствует накоплению и распространению лучших практик в области управления проектами. Анализируя результаты реализованных проектов и выявляя

факторы успеха и неудачи, организация может вносить коррективы в стандарт, адаптируя его к своим специфическим потребностям и условиям. Этот процесс непрерывного улучшения позволяет повысить эффективность управления проектами и достичь более высоких результатов.

Более того, наличие стандарта организации по управлению проектами способствует повышению прозрачности и подотчетности в процессе реализации строительных проектов. Четко определенные процедуры и критерии оценки позволяют контролировать ход выполнения работ и своевременно выявлять отклонения от плана. Это позволяет принимать оперативные меры по устранению проблем и минимизации негативных последствий. В конечном итоге, все это способствует повышению конкурентоспособности организации на рынке строительных услуг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yang, H.; Wang, D. Application of Lean–Agile Hybrid Methods in Complex Construction Project Management. *Buildings* 2025, 15, 2349. <https://doi.org/10.3390/buildings15132349>

2. Захаров Д.А. Современные подходы и тенденции управления проектами в строительной отрасли // *Прогрессивная экономика*. 2024. № 12. С. 248–256. DOI: 10.54861/27131211_2024_12_248. Статья поступила в редакцию: 21.12.2024 г. Одобрена после рецензирования: 27.12.2024 г. Принята к публикации: 27.12.2024 г.

3. Христофович П.И. Современные подходы к управлению проектами в строительстве. *Международный научный журнал «Вестник науки»* № 6 (75) Том 4. ИЮНЬ 2024 г.

4. Нурышева, А. К. Рекомендации по внедрению системы управления проектами в строительной компании / А. К. Нурышева. — Текст: непосредственный // *Молодой ученый*. — 2024. — № 34 (533). — С. 36-39. — URL: <https://moluch.ru/archive/533/117218/>.

5. Опарина Л. А., Гриднева Я. А., Барзыгин Е. А.. Оценка эффективности системы управления крупномасштабными строительными проектами в течение их жизненного цикла. *Строительство и Архитектура*. Том 12 № 1, 2024.

6. Акмалов О.И. Инструменты и методы проектного управления в строительстве / *Международный научный журнал «Молодой ученый»* №22 (469)/ 2023 — Загл. с титул. экрана. ISSN 2072-0297 — С. 161–163.

7. Литвиненко Д.Г. Современные подходы к управлению строительными проектами // *Вестник науки* №11 (68) том 3. С. 948 - 951. 2023 г. ISSN 2712-8849 // Электронный ресурс: <https://www.вестник-науки.pf/article/11002> (дата обращения: 13.07.2025 г.)

8. Федорченко В.А., Василенко Ж.А. — Инструментарий гибкой методологии управления проектами в строительной отрасли // *Теоретическая и прикладная экономика*. – 2022. – № 1. DOI:

10.25136/2409-8647.2022.1.35958 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=35958

9. Константинов А. В. Система управления проектами в строительной деятельности // Научные высказывания. 2022. №12 (20). С. 9-13. URL: <https://nvjournal.ru/article/150-sistema-upravleniya-proektami-v-stroitelnoj-de>

10. Герасимов В.В., Ершов С.С. Повышение эффективности организации строительных девелоперских проектов на основе оптимизации жизненного цикла / Материалы XIII Международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы архитектуры и строительства» / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2020. С. 134-137.

11. Лучкина В.В. Анализ и оценка эффективности проектных решений по реализации экологической реконструкции в строительстве. / Научно-технический журнал «Технология и организация строительного производства» №3, 2018 – С. 30–34.

12. О. С. Голубова. Показатели эффективности управления проектами в строительстве. Труды БГТК Серия 5 № 2 2017. С.37-43

13. Игнатова Е.В. Внедрение автоматизированной системы управления жизненным циклом проектной документации / Е.В. Игнатова, Е.Л. Шурупов, А.Г. Ельфимова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2016. — № 6. — С. 165–169.

14. Кубасова Т. И. Современные тенденции развития методологии управления строительными проектами / Т. И. Кубасова // Baikal Research Journal. — 2015. — Т. 6, № 4. — DOI: 10.17150/2411-6262.2015.6(4).15.

15. Дадашев Д.В., Дадашев Д.В. Внедрение корпоративной системы управления проектами в строительной компании как основа повышения качества ее // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. ; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=18976> (дата обращения: 13.07.2025).

16. ГОСТ Р 57363-2016. Управление проектом в строительстве. Деятельность управляющего проектом (технического заказчика)

REFERENCES

1. Yang, H.; Wang, D. Application of Lean–Agile Hybrid Methods in Complex Construction Project Management. *Buildings* 2025, 15, 2349. <https://doi.org/10.3390/buildings15132349>

2. Zakharov D.A. Modern approaches and trends in project management in the construction industry // *Progressive Economics*. 2024. No. 12. pp. 248-256. DOI: 10.54861/27131211_2024_12_248. The article was received by the editorial office: 12/21/2024.

Approved after review: 12/27/2024. Accepted for publication: 12/27/2024. (In Russian)

3. Khristofovich P.I. Modern approaches to project management in construction. *International Scientific Journal "Bulletin of Science" No. 6 (75) Volume 4. JUNE 2024.* (In Russian)

4. Nuryшева, А. К. Recommendations for the implementation of a project management system in a construction company / А. К. Nuryшева. — Text : direct // *Young scientist*. — 2024. — № 34 (533). — Pp. 36-39. — URL: <https://moluch.ru/archive/533/117218>. (In Russian)

5. Oparina L. A., Gridneva Yaroslava Alexandrovna , Barzygin Evgeny Alexandrovich. Assessment of the effectiveness of the management system for large-scale construction projects during their life cycle. *Construction and Architecture. Volume 12 No. 1, 2024.* (In Russian)

6. Akmalov O.I. Tools and methods of project management in construction / *International Scientific Journal "Young Scientist" No. 22 (469)/ 2023* — Title page. the screen. ISSN 2072-0297 — pp. 161-163. (In Russian)

7. Litvinenko D.G. Modern approaches to construction project management // *Bulletin of Science No. 11 (68) volume 3. pp. 948-951. 2023. ISSN 2712-8849* // Electronic resource: <https://www.vestnik-nauki. Russian Federation/article/11002> (accessed: 07/13/2025). (In Russian)

8. Fedorchenko V.A., Vasilenko Zh.A. — Tools for flexible project management methodology in the construction industry // *Theoretical and applied economics*. – 2022. – No. 1. DOI: 10.25136/2409-8647.2022.1.35958 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=35958. (In Russian)

9. Konstantinov A.V. Project management system in construction activities // *Scientific statements*. 2022. No. 12 (20). pp. 9-13. URL: <https://nvjournal.ru/article/150-sistema-upravleniya-proektami-v-stroitelnoj-de>. (In Russian)

10. Gerasimov V.V., Yershov S.S. Improving the efficiency of construction development projects based on life cycle optimization / *Materials of the XIII International Scientific and Technical Conference "Topical issues of Architecture and Construction" / Moscow Institute of Science and Higher Education. education grew. Russian Federation, Novosibirsk State University of Architecture. "He's building. Univ. (Sibstrin). Novosibirsk : NGASU (Sibstrin), 2020. pp. 134-137.* (In Russian)

11. Luchkina V.V. Analysis and evaluation of the effectiveness of design solutions for the implementation of environmental reconstruction in construction. / *Scientific and Technical journal "Technology and Organization of construction production" No. 3, 2018* – pp. 30-34. (In Russian)

12. О. С. Голубова. Indicators of the effectiveness of project management in construction. *Proceedings of the BSTK Series 5 No. 2 2017. pp.37-43.* (In Russian)

13. Ignatova E.V. Implementation of an automated lifecycle management system for project documentation

/ E.V. Ignatova, E.L. Shurupov, A.G. Yelfimova // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2016. No. 6. pp. 165-169. (In Russian)

14. Kubasova T. I. Modern trends in the development of construction project management methodology / T. I. Kubasova // Baikal Research Journal. — 2015. — Vol. 6, No. 4. — DOI : 10.17150/2411-6262.2015.6(4).15. (In Russian)

15. Dadashev D.V., Dadashev D.V. The introduction of a corporate project management system in a construction company as a basis for improving its quality // Modern problems of science and education. 2015. No. 1-1. ; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=18976> (date of request: 07/13/2025). (In Russian)

16. GOST R 57363-2016. Project management in construction. Activities of the project manager (technical customer)

IMPROVING THE EFFICIENCY OF PROJECT MANAGEMENT IN CONSTRUCTION

Savenko A. A.¹, Ponomarev A. Yu.², Budyuk E.O.³

Kuban State Technological University ,
350072, Russia, Krasnodar territory, Krasnodar, Moskovskaya str., 2,
e-mail: ¹9184986495@mail.ru, ²san.many@yandex.ru, ³elizavetta201420@mail.ru

Abstract. The article discusses current issues of improving the project management system in the construction industry. The main focus is on analyzing existing problems in the management of construction projects and developing practical recommendations to improve their effectiveness. The authors explore modern methods and tools of project management, adapted to the specifics of construction production. Special attention is paid to the optimization of time and material resources, risk management and quality control at all stages of construction.

The paper presents the results of an analysis of successful project management practices in domestic and foreign construction companies. Based on the conducted research, specific mechanisms for improving the organizational structure of management, staff motivation systems and methods of monitoring the implementation of construction projects are proposed.

The practical significance of the work lies in the possibility of applying the proposed recommendations to improve the efficiency of managing construction projects of varying complexity and scale. The materials of the article can be useful to the heads of construction companies, project managers and specialists in the field of construction management.

Subject: The subject of research is "Project Management" as a separate discipline with its own methodology, concepts and tools **Materials and methods:** the research is based on a comprehensive analysis of regulatory documentation and publications of scientific articles. The following methods are applied: comparative analysis, deduction, theoretical analysis and synthesis, method of analogy.

Results: It is proposed to develop and optimize an internal organization standard based on GOST R 57363-2016 for a specific organization.

Conclusions: The implementation of an internal standard of the organization, developed on the basis of GOST R 57363-2016, helps to increase transparency and manageability of construction projects, reduce risks and optimize costs, which, in turn, provides a competitive advantage of the organization in the construction services market. This approach allows not only to formalize project management processes, but also to create a unified corporate culture focused on achieving the goals set.

Key words: project management, construction, efficiency, resource optimization, risk management, quality control.

Раздел 3. Инженерное обеспечение

УДК 697.1

НАУЧНО-ОБОСНОВАННЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ МИКРОКЛИМАТА В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ НА ОСНОВЕ МНОГОУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА ПОЛА С РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭНЕРГОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ

Топорен С.С., Федюшко Ю.М.

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского. Институт «Академия строительства и архитектуры»
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181.
E-mail: toporen1987@gmail.com; fedushko26@rambler.ru

Аннотация. Научное обоснование и разработка инженерных решений по применению многоуровневой системы электрообогрева пола (МСЭОП) для оптимизации микроклимата в животноводческих помещениях, обеспечивающих энергосбережение и повышение продуктивности животных.

Предмет исследования: предметом исследования является разработка и научное обоснование энергоэффективной многоуровневой системы электрообогрева пола для животноводческих помещений, обеспечивающей оптимизацию микроклимата и повышение продуктивности животных за счёт автоматизированного управления тепловыми режимами.

Материалы и методы: в основе исследования лежит математическое моделирование процессов теплопередачи в многослойной структуре ограждающей конструкции с дискретными источниками энергии. Для анализа режимов работы системы и управления энергопотоками применялись методы теории автоматического регулирования, включая построение передаточных функций и анализ устойчивости системы по критерию Найквиста.

Результаты: предложена конструкция и математическая модель многоуровневой системы электрообогрева пола, позволяющая за счет перераспределения мощности между тремя ярусами нагревательных элементов обеспечивать заданный температурный режим на поверхности пола. Доказана устойчивость системы автоматического регулирования.

Выводы: инженерно-технологические решения являются научно обоснованными и эффективными для внедрения в современное строительство и реконструкцию животноводческих комплексов. Использование многоуровневой системы электрообогрева пола позволяет снизить удельное энергопотребление на 25-30% по сравнению с системами общего обогрева, а также поддерживать нормативы температуры в зоне технологической активности, что в конечном итоге повышает экономическую эффективность производства продукции животноводства.

Ключевые слова: микроклимат, электрообогрев пола, многоуровневая система отопления, математическое моделирование оптимизация параметров.

ВВЕДЕНИЕ

Современное животноводство как отрасль сельскохозяйственного производства представляет собой энергоемкий сектор экономики, играющий ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности. Одной из наиболее актуальных проблем при промышленном содержании животных является создание и поддержание оптимального микроклимата в помещениях, особенно в зонах размещения молодняка.

Традиционные системы общего отопления и вентиляции часто являются затратными и не всегда способны обеспечить требуемые зоотехнические и зооветеринарные параметры, что приводит к повышенной заболеваемости, снижению продуктивности и значительным экономическим потерям. Снизить затраты энергии на создание температурно-влажностного режима и создать оптимальные условия для молодняка можно за счет применения местного обогрева животных.

Сравнение общих технических характеристик и эксплуатационных затрат различных систем обеспечения микроклимата с учетом перспективы их усовершенствования приводит к выводу об эффективности внедрения установок с электрическим обогревом полов, которые работают

в период спада электрической нагрузки энергосистем.

В связи с этим разработка энергоэффективных и высокоточных систем локального обогрева, в частности, с использованием электрообогрева пола, является своевременной и значимой задачей.

Данное исследование направлено на решение этой проблемы путем разработки и теоретического обоснования инженерных решений для оптимизации микроклимата [1-4].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Анализ литературных источников показывает, что проблема отрицательного воздействия неоптимального микроклимата на продуктивное здоровье животных, в частности теплового стресса, изучена достаточно глубоко.

Работы таких ученых, как Г. Селье [1], заложили основы понимания физиологических последствий стресса. Установлено, что нарушения температурно-влажностного режима приводят к угнетению ферментативной активности, снижению усвояемости питательных веществ и подавлению иммунитета.

В области инженерного обеспечения микроклимата существуют разработки,

посвященные системам вентиляции и общего отопления. Однако вопросы, связанные с многопараметрическим моделированием и оптимизацией работы систем электрообогрева пола, изучены недостаточно.

Работы П. Г. Круковского, Д. И. Розинского и других авторов [2,3], заложили основы компьютерного моделирования теплового состояния полов, но задача создания комплексной системы, интегрирующей традиционные и возобновляемые источники энергии с алгоритмами адаптивного управления, требует дальнейших исследований.

Существующие решения часто не учитывают необходимость динамического перераспределения энергопотоков для аккумулирования тепла и минимизации затрат.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для увлажнения и снижения температуры воздуха животноводческих и птицеводческих помещений используют увлажнители, входящие в состав вентиляционного оборудования, или отдельное оборудование увлажнения.

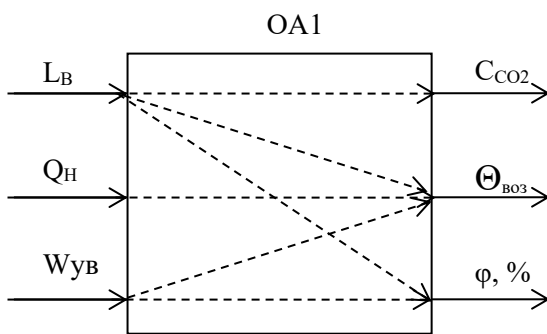


Рис. 1. Структурная схема объекта регулирования микроклимата: L_B - вентиляция; Q_H - обогрев; $W_{ув}$ - увлажнение; C_{CO_2} - концентрация CO_2 ; $\Theta_{воз}$ - температура воздуха в помещении; $\phi, \%$ - влажность воздуха в помещении

Fig. 1. Structural diagram of the microclimate regulation facility: L_B - ventilation; Q_H - heating; $W_{ув}$ - humidification; C_{CO_2} - CO_2 concentration; $\Theta_{воз}$ - indoor air temperature; $\phi, \%$ - indoor air humidity.

В вентиляционных системах, работающих по принципу избыточного давления воздуха, свежий воздух подается в помещение под давлением. Воздух из помещения удаляется через вентиляционные отверстия в стенах или по вытяжным каналам, расположенным под полом. В комбинированной вентиляционной системе воздух оттягивается и под давлением подается в помещение [4]. Системы общего отопления даже при высоких затратах энергии не всегда способны обеспечить надлежащие параметры микроклимата, особенно при содержании в одном помещении взрослых животных и молодняка, для которых по зоотехническим требованиям необходимы

различные условия места существования (температура, влажность и т. д.).

Структурная схема объекта регулирования микроклимата приведена на рис. 1.

Эту проблему можно решить, применяя устройства местного (локального) электрообогрева, которые обычно дополняют систему общего отопления. Местный электрообогрев используют главным образом для молодняка животных и птиц, но его можно применять и для взрослых животных, а также для обеспечения нормальной производственной деятельности людей.

Исходя из проведенного анализа, только при применении регулирования температуры за счет обогрева пола появляется возможность достаточно эффективно реализовать основную цель энергоменеджмента: минимизации удельного потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в расчете на единицу продукции, которое определяется из выражения:

$$P = \frac{E}{\Pi} \quad (1)$$

где P - объем производства;

E - потребление топливно-энергетических ресурсов на единицу продукции;

Π - удельные затраты топливно-энергетических ресурсов в расчете на единицу продукции.

Из-за многопараметричности проблем электроотопления, сложности получения решения таких задач в аналитическом виде, трудоемкости и дороговизны экспериментальных исследований отсутствует необходимый объем данных о названных системах обогрева, даже для случая стационарного режима.

Построение электротехнологических комплексов, которые бы обеспечивали стандарты теплового режима микроклимата производственных сооружений, связано с проблемой создания и поддержания оптимально стимулирующего влияния теплового режима микроклимата на биообъекты в течение производственного цикла в технологически активных зонах (ТАЗ) с учетом внутренних факторов, вида и типа животных или птиц и внешних метеорологических условий [5,11]. Эффективное решение указанной проблемы может быть за счет использования предложенной многоуровневой электротеплоаккумуляционной системы отопления (МЭТАСО). Применение такой системы предоставляет возможность не только заметно улучшить эффективность использования электроэнергии в режиме автономного отопления, но и позволяет эффективно функционировать в режиме комбинированного использования имеющегося потенциала мощностей традиционных и нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (НВИЭ). МЭТАСО не только обеспечивает нормативные тепловые режимы обогреваемого пола и воздуха в ТАЗ производственного сооружения АПК, но и обеспечивает регулируемое аккумулирование «излишка» энергии того или

инного источника, работая как «потребитель-регулятор». Одним из путей решения этой проблемы является применение специального электротехнологического комплекса на базе многоуровневой электротепло-аккумулирующей локальной системы отопления. В её состав входит ряд систем, которые обрабатывают вычислительно-логические алгоритмы и программы для определения структурно-функциональной суперпозиции полученных эмпирических формул, моделирующих связи между стандартами нагрева участков пола и энергокомпонентами,

обеспечивающими минимальные отклонения термостабилизации от заданных уровней. Прогнозирование теплового состояния, контроль и регулируемый обогрев помещений объектов АПК с МЭТАСО должно быть эффективно реализовано при одновременном использовании традиционных источников энергии и НВИЭ. Конструкция МЭТАСО, представляющая собой прямоугольную N - слойную, ограниченную по ширине область с пассивными и активными (с подводом энергии) слоями (рис. 2).

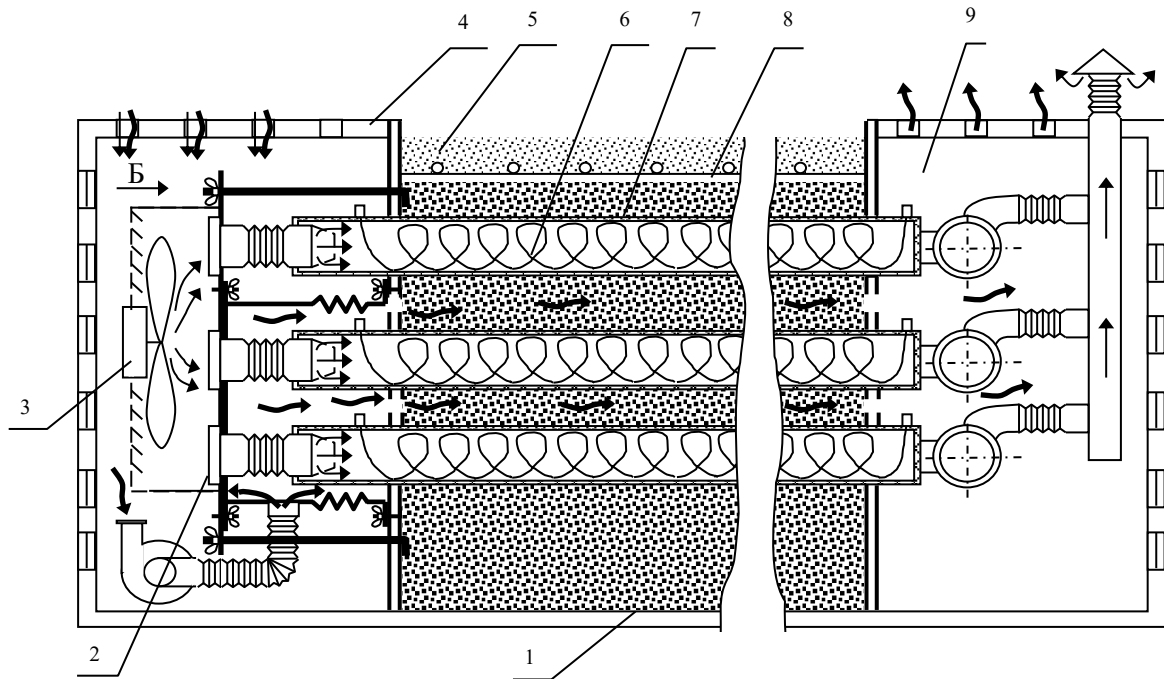


Рис. 2. Схематический вид конструкции комбинированного унифицированного трехъярусного устройства для обогрева пола: 1 - теплоизоляционная подушка; 2 - специальные трубчатые электронагреватели; 3 - вентилятор низкого давления; 4 - входной монтажный колодец; 5 - поверхность пола; 6 - нагревательный элемент; 7 - трубчатый электронагреватель; 8 - экранная сетка; 9-выходной монтажный колодец

Fig. 2. Schematic view of the design of a combined unified three-tier floor heating device: 1 - thermal insulation cushion; 2 - special tubular electric heaters; 3 - low-pressure fan; 4 - inlet mounting well; 5 - floor surface; 6 - heating element; 7 - tubular electric heater; 8 - screen grid; 9-outlet mounting well

Исходя из определенных физических обоснований относительно характера теплообмена на граничных поверхностях, приведена модель тепловых процессов в такой структуре с дискретным подводом энергопотоков. Исследование режимов перераспределения энергопотоков рассмотрим на модели МЭТАСО с тремя ярусами специальных трубчатых электронагревателей (СТЭН), размещенных по глубине траншеи в многослойной структуре теплоаккумулирующего наполнителя, при питании их от традиционного источника – электросети (Рс) и от любого НВИЭ (Рн).

Анализ такой нагревательной системы достаточно подробно представлен в [6 - 9], где установлены математически точные линейные соотношения между температурными характеристиками системы и мощностными

параметрами энергопотоков в нагревательной системе (НС). За счет этого получены точные обратные соотношения, которые позволяют установить для заданной слоистой активной структуры зависимости требуемого распределения мощностей от определенного набора температурных параметров. Это позволяет определить такие перераспределения питания по ярусам НС, которые обеспечивают нормативно заданные температурные режимы поверхности пола в ТАЗ производственного сооружения. В соответствии с решением задачи о теплопередаче в многослойной одномерной структуре МЭТАСО с распределенными источниками энергии, температура нагрева поверхности пола t_n , является линейной функцией мощностей, распределенных по ярусам, и для 3-ярусной модели МЭТАСО определяется по выражению:

$$t_n = t^* + \sum_{j=1}^3 k_j P_j \quad (2)$$

где P_j – значения мощностей энергопотоков на входе нагревательных элементов 1 - го, 2 - го и 3 - го ярусов МЭТАСО.

Суммарная мощность энергопотоков на входе нагревательных элементов равна мощности всех имеющихся источников в соответствии с выражением:

$$P = P_C + P_{II}, \quad \sum_{j=1}^3 P_j = P \quad (3)$$

где $t^* = a_0 t_0 + a_c t_c$ – приведенное значение температуры внешней среды, которое, в данной модели, определяется температурой воздуха помещения t_c , в непосредственной близости от поверхности пола и температурой грунта t_0 , на глубине дна траншеи МЭТАСО;

a_0, a_c, k_j – параметры, которые определяются геометрическими размерами обогревательных секций МЭТАСО, а именно толщиной слоев структуры и их теплофизическими характеристиками.

Следует отметить, что температура t_c , определяется многими параметрами помещения (зависит от ограждающих конструкций, вентиляции, заполнения животными, работающим оборудованием и т.д.).

Уравнение (2) отражает принцип суперпозиции относительно внутренних источников энергии и внешнего окружения МЭТАСО как следствие линейности принятой модели. Наличие в системе 2-го и 3-го ярусов электронагревателей (по глубине траншеи) позволяет за счет перераспределения подведенной энергии не только реализовать обеспечение заданного теплового режима поверхности пола в течение производственного цикла, но и осуществлять экономию энергоресурсов за счет регулируемого аккумулирования части энергии во внутренних слоях НС.

В процессе исследования было рассмотрено несколько вариантов распределения входных энергопотоков в МЭТАСО, но выбор, с позиции наиболее эффективного режима энергосбережения, рассматривался, когда ближний к поверхности пола, ярус блока электронагревателей НС, должен первым получать технологически необходимый уровень потребляемой энергии, а после этого имеющийся излишек перераспределяется на следующий нижний ярус.

Таким образом, в зависимости от функционального назначения производственного сооружения, соответственно для каждого

технологически заданного (нормативного) значения температуры на поверхности его пола $t_n = t_n^H$ и с учетом внешних условий (t_0, t_c, α) и величины имеющегося энергоресурса P , оптимальное распределение энергии по трем ярусам нагревателей P_1, P_2, P_3 может быть выполнено предложенным методом. Следует также заметить, что в случае роста величины энергии, которая будет поступать от НВИЭ, потребление энергии от основного источника (электросети) предполагается уменьшать. При изменении величины P система структурно-функционального управления предполагает такое перераспределение энергопотоков по ярусам, чтобы не нарушить термостабилизацию теплового режима (в определенных пределах) на поверхности пола.

Полученную информацию можно использовать при числовом анализе температурного распределения в помещении на основе решения общей трехмерной математической модели, однако получаемые таким путем объемы численной дискретной информации очень велики, равно как и требования к вычислительным характеристикам компьютеров.

В этом случае наиболее приемлемый подход заключается в распараллеливании дискретной выходной информации от датчиков КВС по дифференцированным параметрам, что приводит к распараллеливанию решения общей трехмерной математической модели на решение групп однотипных одномерных задач без нарушения адекватности получаемой такой заменой модели теплового процесса реального трехмерного объекта.

Учитывая зависимость регулируемых параметров микроклимата, при управлении отопительным и вентиляционным оборудованием используют: двух-, трехпозиционные релейные регуляторы температуры с биметаллическими, манометрическими датчиками и терморезисторами, реже непрерывные и импульсные регуляторы температуры, а при управлении увлажнением используют двухпозиционные регуляторы влажности с гигроскопическими и гисторическими датчиками [6,12,13].

Автоматизация систем микроклимата позволяет создавать и поддерживать оптимальные условия воздушной среды в животноводческих и птицеводческих помещениях. Расчеты показывают, что использование даже простейших устройств поддержания температурных режимов позволяет экономить до 30% электроэнергии.

Функциональная схема системы автоматизация систем микроклимата приведена на рис. 3.

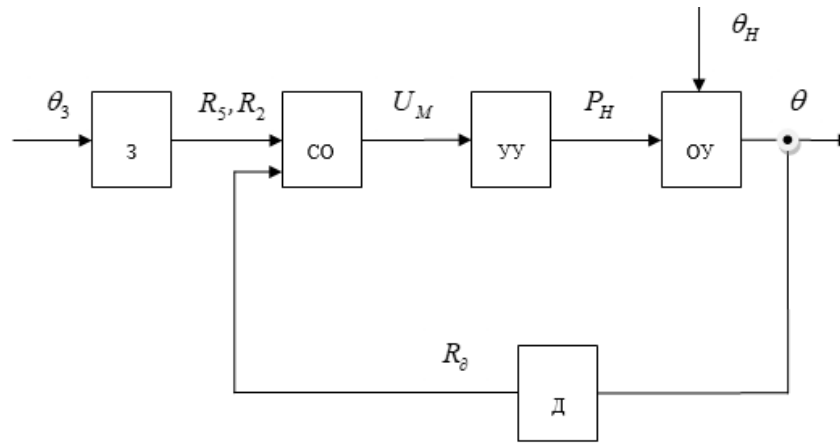


Рис. 3. Функциональная схема САР температуры в животноводческом помещении : 3 – задатчик СО – сравнивающий орган; УУ – усилительное устройство; ОУ – орган управления; Д – первичный преобразователь (датчик)
Fig. 3. Functional diagram of the temperature control system in a livestock room : 3 – setter, CO – comparing body; УУ – amplifying device; ОУ – control body; Д – primary converter (sensor)

В установившемся режиме при равенстве температуры в помещении с заданным значением температуры мост, СО, сбалансирован и его выходное напряжение равно 0. При отклонении температуры воздуха от заданного, например, благодаря изменению внешней температуры, сопротивление датчика изменяется, мост разбалансируется. Напряжение разбаланса моста является сигналом возникновения ошибки системы, усиливается усилителем и подается на нагревательные элементы. Электронагреватели пола начинают работать, тем самым изменяя степень величины ошибки. При снижении температуры нагревательные элементы повышают мощность, при повышении – уменьшают. В системе реализован принцип управления по отклонению (по значению ошибки). Система является стабилизирующей.

Передаточные функции элементов структурной схемы САР температуры в животноводстве, как

объекта управления, является уравнение аperiodического звена второго порядка

$$T_1 \cdot T_2 \cdot \frac{d^2 \theta}{dt^2} + (T_1 + T_2) \cdot \frac{d\theta}{dt} + \theta = K_1 \cdot P_H + K_2 \cdot \theta_H, \quad (4)$$

где θ_H - температура внешнего воздуха, °С;
 θ - температура воздуха в помещении, °С;
 P_H - электрическая мощность, подаваемая на электрокалорифер, кВт

Задатчик системы является безынерционным. Его коэффициент передачи K_3 должен быть равен коэффициенту передачи K_d датчика. Заданная θ_3 и действительная θ температуры должны быть в одном масштабе.

Конечный вид структурной схемы САР температуры воздуха в животноводческом помещении будет иметь вид (рис. 4):

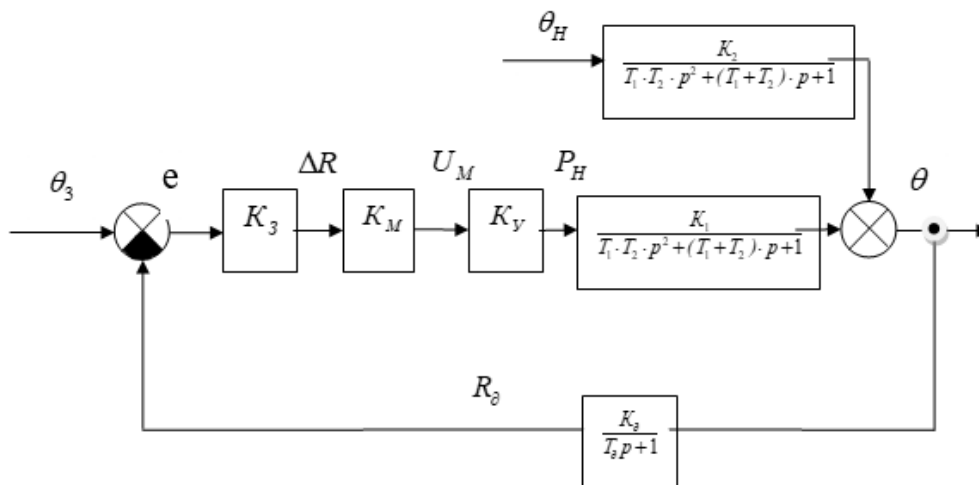


Рис. 4. Структурная схема САР температуры воздуха в животноводческом помещении
Fig. 4. Block diagram of the SAR of air temperature in a livestock room.

После подстановки численных значений параметров и некоторых преобразований получим:

$$W_y(p) = \frac{\theta(p)}{\theta_s(p)} = \frac{0,2 \cdot 0,1 \cdot 400 \cdot 1 \cdot (12p+1)}{(16500p^2 + 533p+1) \cdot (12p+1) + 0,2 \cdot 0,1 \cdot 400 \cdot 1} = \frac{96p+8}{198000p^3 + 22896p^2 + 545p+9}; \quad (5)$$

Для анализа устойчивости воспользуемся условиями устойчивости для уравнения четвертой степени. Все коэффициенты характеристического уравнения положительны. Полученный результат показывает, что система устойчива. Анализ устойчивости выполняли по критерию Найквиста, который основан на использовании амплитудно-фазовой частотной характеристики (АФЧХ) разомкнутой системы. Формально частотную передаточную функцию можно найти заменой переменной p на переменную $j\omega$. Разомкнем систему.

Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$W_p(p) = \frac{K_o \cdot K_u \cdot K_y \cdot K_1}{(T_1 \cdot T_2 \cdot p^2 + (T_1 + T_2) \cdot p + 1) \cdot (T_o \cdot p + 1)}. \quad (6)$$

Все звенья разомкнутой системы устойчивы, поскольку три звена имеют третий порядок, их характеристические коэффициенты положительны.

АФЧХ разомкнутой системы (рис. 5), получена путем расчета значений $A(\omega)$ и $\varphi(\omega)$, где $A(\omega)$ - модуль частотной передаточной функции, $\varphi(\omega)$ - аргумент частотной передаточной функции в пакете компьютерной математики MATHCAD.

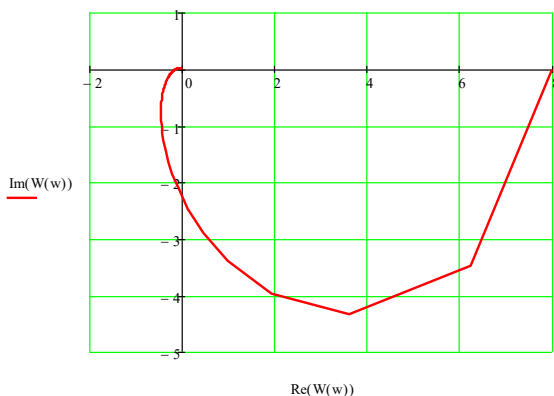


Рис. 5. Амплитудно - фазово частотная характеристика разомкнутой системы

Fig. 5. Amplitude- phase-frequency response of an open system

Анализ АФЧХ (по критерию Найквиста) показывает, что система устойчива, потому что АФЧХ разомкнутой системы не охватывает отрезок $(-\infty; -1)$, то есть не охватывает критическую точку $(-1; j0)$.

Управляющим воздействием на объект является степень смешивания холодного и регулирующего воздуха, число перерегулирований $N = 1$, что

удовлетворяет требованиям и свидетельствует о достаточном запасе устойчивости. Время регулирования 341 с, максимальное отклонение регулируемой величины от ее установившегося режима, приходящееся на единицу ступенчатого возмущения, равно $14 \cdot 10^{-3}$, колебательность системы равна 0,083. Качество системы следует считать удовлетворительным.

ВЫВОДЫ

На основании проведенного исследования можно сделать следующие общие выводы:

Разработана и научно обоснована конструкция многоуровневой электротеплоаккумулирующей системы отопления (МЭТАСО) для локального обогрева пола в животноводческих помещениях. Ключевым отличием является возможность перераспределения мощности между тремя ярусами нагревательных элементов, что позволяет не только поддерживать заданный температурный режим на поверхности, но и аккумулировать излишки тепла в нижних слоях.

Теоретические расчеты и математическое моделирование подтверждают, что применение МЭТАСО позволяет снизить удельное энергопотребление на 25–30% по сравнению с традиционными системами общего обогрева за счет целевого подвода энергии и использования режима теплоаккумуляции.

Методами теории автоматического регулирования доказана устойчивость разработанной системы автоматического регулирования температуры. Анализ по критерию Найквиста показал, что система обладает удовлетворительным качеством переходных процессов и достаточным запасом устойчивости для практической реализации.

Внедрение МЭТАСО обеспечивает поддержание зоотехнических нормативов микроклимата в зонах технологической активности, что снижает стрессовую нагрузку на животных и способствует повышению их продуктивности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селье Г. Стресс без дистресса / Г. Селье. – М.: Прогресс, 1979. – 123 с.
2. Круковский П.Г. Оптимизация теплового режима многослойных ограждающих конструкций с распределенными источниками теплоты // Вестник Белорусской госуд. сельскохозяйственной академии / П.Г. Круковский. - 2016. - № 3. - С. 115 - 120.
3. Розинский Д.И. Совершенствование систем микроклимата на основе локального обогрева технологических зон // Зоотехническая наука Беларуси / Д.И. Розинский. - 2017. - Т. 52, № 1. - С. 121–130.
4. Розинский Д.И. Влияние параметров микроклимата, создаваемого системами локального обогрева, на физиологическое состояние молодняка сельскохозяйственных животных // Ветеринарная

медицина и животноводство: сб. науч. тр. / Д.И. Розинский, А.С. Дмитриченко. – Витебск: - 2021. - С. 74–78.

5. Беляев В.И. Микроклимат животноводческих помещений / В.И. Беляев. – СПб.: Лань, 2017. – 288 с.

6. Иванов П.П. Теория автоматического регулирования: учебник для вузов / П.П. Иванов. – М.: Высшая школа, 2018. – 432 с.

7. Тихомиров Д.А. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций / Д.А. Тихомиров. – М.: АСВ, 2016. – 248 с.

8. Волков А.А. Автоматизация систем микроклимата сельскохозяйственных объектов // Механизация и электрификация сельского хозяйства / А.А. Волков. – 2020. – № 5. – С. 29–32.

9. Шалимов М.Г. Математическое моделирование тепловых процессов: монография / М.Г. Шалимов. – К.: Наукова думка, 2017. – 183 с.

10. Paton B. The use of underfloor heating for piglets: energy consumption and animal behavior // Biosystems Engineering / B. Paton, J. Frost. – 2020. – Vol. 198. – P. 119-129.

11. Besharat M. Energy efficiency and automation in livestock farming // Smart Agricultural Technology / M. Besharat, H. Ahamed. – 2022. – Vol. 3. – P. 100-108.

12. Zhang, Q. A review on heating technologies for floor-localized heating system in swine buildings // Computers and Electronics in Agriculture / Q. Zhang, G. Zhang. – 2022. – Vol. 194. – P. 106-115.

REFERENCES

1. Selye, H. (1979). Stress without distress (G. Selye, Trans.). Progress. (Original work published in Russian; 123 pp.)

2. Krukovskii, P. G. (2016). Optimization of the thermal regime of multilayer enclosing structures with distributed heat sources. Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy, (3), 115–120.

3. Rozinskii, D. I. (2017). Improvement of microclimate systems based on localized heating of technological zones. Zootechnical Science of Belarus, 52(1), 121–130.

4. Rozinskii, D. I., & Dmitriichenko, A. S. (2021). Influence of microclimate parameters generated by localized heating systems on the physiological status of young livestock. In Veterinary Medicine and Animal Husbandry: Collection of Scientific Papers (pp. 74–78). Vitebsk.

5. Beliaev, V. I. (2017). Microclimate in livestock buildings (V. I. Beliaev). Lan'. (288 pp.)

6. Ivanov, P. P. (2018). Theory of automatic regulation: A textbook for higher education institutions (P. P. Ivanov). Vysshaya Shkola. (432 pp.)

7. Tikhomirov, D. A. (2016). Thermal calculation of enclosing structures (D. A. Tikhomirov). ASV. (248 pp.)

8. Volkov, A. A. (2020). Automation of microclimate systems in agricultural facilities. Mechanization and Electrification of Agriculture, (5), 29–32.

9. Shalimov, M. G. (2017). Mathematical modeling of thermal processes (M. G. Shalimov). Naukova Dumka. (183 pp.)

10. Paton B. The use of underfloor heating for piglets: energy consumption and animal behavior // Biosystems Engineering / B. Paton, J. Frost. – 2020. – Vol. 198. – P. 119-129.

11. Besharat M. Energy efficiency and automation in livestock farming // Smart Agricultural Technology / M. Besharat, H. Ahamed. – 2022. – Vol. 3. – P. 100-108.

12. Zhang, Q. A review on heating technologies for floor-localized heating system in swine buildings // Computers and Electronics in Agriculture / Q. Zhang, G. Zhang. – 2022. – Vol. 194. – P. 106-115.

SCIENTIFICALLY BASED ENGINEERING SOLUTIONS FOR OPTIMIZING THE
MICROCLIMATE IN LIVESTOCK FACILITIES BASED ON A MULTI-LEVEL ELECTRIC FLOOR
HEATING SYSTEM WITH CONTROLLED POWER DISTRIBUTION

Toporen S.S., Fedyushko Yu.M.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Institute "Academy of Construction and Architecture"
181, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea 295050
E-mail: toporen1987@gmail.com, fedushko26@rambler.ru

Abstract. Scientific substantiation and development of engineering solutions for the use of a multi-level electric floor heating system (MSEOP) to optimize the microclimate in livestock facilities, ensuring energy conservation and increasing animal productivity.

Subject of the study the subject of research is the development and scientific justification of an energy-efficient multi-level electric floor heating system for livestock facilities, which optimizes the microclimate and increases animal productivity through automated control of thermal conditions.

Materials and methods: the research is based on mathematical modeling of heat transfer processes in a multilayer enclosing structure with discrete energy sources. To analyze the operating modes of the system and control energy flows, methods of the theory of automatic regulation were used, including the construction of transfer functions and the analysis of the stability of the system according to the Nyquist criterion.

Results: the design and mathematical model of a multilevel electric floor heating system are proposed, which makes it possible to ensure a set temperature regime on the floor surface by redistributing power between three tiers of heating elements. The stability of the automatic control system has been proven.

Conclusions: engineering and technological solutions are scientifically sound and effective for implementation in modern construction and reconstruction of livestock complexes. The use of a multi-level electric floor heating system makes it possible to reduce specific energy consumption by 25-30% compared to general heating systems, as well as maintain temperature standards in the zone of technological activity, which ultimately increases the economic efficiency of livestock production.

Key words: microclimate, electric floor heating, multi-level heating system, mathematical modeling, optimization of parameters.

УДК 628.144

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ НАГРУЖЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА

Николенко И.В.¹, Чемодуров В.Т.², Бекирова З.Р.³

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»

^{1,3}Институт биохимических технологий, экологии и фармации²Институт «Академия строительства и архитектуры»

295493, Российская Федерация, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181

¹nikoshi@mail.ru, ²Chens_mu1@mail.ru

Аннотация: В статье рассмотрены особенности нагружения трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения приморских городов, которые размещены в береговых зонах. Анализ условий эксплуатации таких трубопроводов на Южном берегу Крыма показал, что аварии, связанные с их разрушением, часто происходят в результате штормовых воздействий. Показано, что в условиях шторма трубопроводы подвергаются дополнительным нагрузкам, которые в зависимости от их интенсивности могут привести к разрушению, с потерей работоспособного состояния систем водоснабжения и водоотведения, а также нарушать требования экологической безопасности в береговых зонах. В действующих нормативных документах отсутствуют рекомендации по расчету трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения, размещенных в береговой зоне, которые могут подвергаться штормовым воздействиям. Для оценки прочности таких трубопроводов предложены расчетные зависимости для двух схем нагружения. Выполнен расчет трубопровода системы водоснабжения, размещенного в береговой зоне г. Алушта и проведен анализ полученных результатов.

Предмет исследования. Характер нагружения трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения в прибрежной зоне, с учетом воздействия волновых нагрузок.

Материалы и методы. На основе анализа особенностей нагружения, предложены две расчетные схем, которые встречаются на практике эксплуатации трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения, размещенных в береговой зоне. Первый вариант расчета – часть трубопровода уложена непосредственно на грунт, во втором варианте расчета – трубопровод располагается на вертикальных опорах.

Результаты. Установлено, что при надземном размещении пролеты опор и уровни волнения оказывают существенное влияние на прочность трубопровода. Изменение пролета между опорами приводит к увеличению суммарных напряжений в трубопроводе в меньшей степени, чем увеличение волновой нагрузки. При принятом материале труб и волновой нагрузке при штормах в 7 и 8 баллов вне зависимости от величины пролета между опорами прочность, рассмотренного в статье трубопровода, не обеспечивается.

Выводы. При оценке устойчивости и надёжности систем водоснабжения и водоотведения приморских городов, размещенных в прибрежных зонах необходимо учитывать особенности нагружения. Чтобы гарантировать прочность и долговечность надземного трубопровода в прибрежной зоне, необходимо осуществлять выбор пролета между его опорами с учетом допускаемого уровня волновой нагрузки, а также учитывать их при подборе материала трубопровода. При наземном размещении трубопроводов в прибрежной зоне максимальная волновая нагрузка не сильно влияет на их прочность, что обеспечивает достаточный запас надежности.

Ключевые слова: система водоснабжения, трубопровод, береговая зона, волновая нагрузка, упругое основание, опора, прочность, коэффициент запаса прочности

ВВЕДЕНИЕ

Особенностью систем водоснабжения и водоотведения (СВВ) приморских городов является наличие трубопроводов, размещенных в береговых зонах, которые могут подвергаться штормовым воздействиям различной интенсивности. При таких воздействиях СВВ могут терять работоспособное состояние, а также нарушать требования экологической безопасности в береговых зонах. Для систем водоснабжения приморских городов эти особенности необходимо учитывать при оценке параметров их устойчивости и надежности.

Разрушительные циклоны в последних лет на Земле стали происходить всё чаще из-за тенденций глобального потепления, вызванного накоплением в атмосфере углекислого газа и других поглощающих

тепло газов, что связано с повышением антропогенной нагрузки всего человечества. В результате, повышение температуры атмосферы Земли изменяет известные фундаментальные константы, которые положены в основу долгосрочных метеорологических прогнозов. Это увеличивает вероятность появления экстремальных погодных явлений: ураганов, смерчей, торнадо. Согласно исследованиям ООН, между 2005 и 2014 годами на Земле в среднем происходило 335 стихийных бедствий, связанных с погодой, что вдвое превышает уровень, зафиксированный в прошлом веке с 1985 по 1995 год [1]. Анализ статистики Росгидромета и страховых агентств по всему миру показывает, что в последние десятилетия участились случаи всевозможных погодных катаклизмов, причем основной вклад в это увеличение вносят ветровые нагрузки, которые

являются источниками сопутствующих аномальных климатических явлений.

В условиях штормовых воздействий трубопроводы СВВ, расположенные в береговой зоне, подвергаются повышенным нагрузкам. В зависимости от их величины, данные нагрузки могут инициировать повреждение отдельных элементов трубопроводных систем, что влечет за собой утрату их функциональной работоспособности и, как следствие, снижение устойчивости инженерной инфраструктуры систем водоснабжения населенных пунктов. При проектировании СВВ необходимо предусматривать анализ потенциальных нештатных сценариев эксплуатации и их последствий для обеспечения безаварийного функционирования. Результаты анализа условий эксплуатации СВВ в приморских городах свидетельствуют о том, что разрушение трубопроводов, размещенных в береговой зоне, обусловлены в том числе штормовыми воздействиями.

Надежность, устойчивость и живучесть СВВ являются важными аспектами ее функционирования и имеют большое значение для жизнеобеспечения, безопасности и комфорта населения, развития экономики, а также техногенной безопасности. Устойчивость означает способность системы сохранять свою работоспособность в условиях различных внешних, в том числе природных воздействий. Анализ условий потери устойчивости систем водоснабжения, связанных с их состоянием, с учетом внешних воздействий показал, что нарушение устойчивости систем водоснабжения происходит на четырех уровнях [2]. Классификация условий потери устойчивости СВВ на четыре уровня позволяет для каждого из них определить условия, действующие внешние и внутренние факторы, область допустимых их изменений относительно которых система будет считаться устойчивой, что позволит обосновывать методы оценки, на основании которых обеспечивать устойчивую работу этих систем. Технический уровень потери устойчивости систем водоснабжения связан с нарушением их работоспособного состояния по причине разрушения элементов в результате внешних воздействий.

Оценка устойчивости второго уровня сложных технических систем, к которым относятся СВВ, предполагает четкое определение следующих условий [3]:

- действующие факторы: идентификация внешних и внутренних факторов, оказывающих воздействие на систему.

- ключевые параметры устойчивости: определение того, какие свойства системы и в каком диапазоне параметров должны сохранять свое постоянство, и в какой степени это влияет на устойчивость.

- пределы допустимых воздействий: установление внешних факторов и области

допустимых изменений относительно которых система будет считаться неизменной, то есть устойчивой.

При расчетах зданий и сооружений в общем своде правил по нагрузкам и воздействиям СП 20.13330.2016 к особым климатическим нагрузкам отнесены (снеговые, ветровые, температурные и гололедные) нагрузки, действие которых может привести к аварийной расчетной ситуации. Нагрузки и воздействия, не включенные в этот СП устанавливаются в иных нормах проектирования строительных конструкций, в задании на проектирование или в рекомендациях, разработанных в рамках научно-технического сопровождения.

Расчет трубопроводов на прочность и устойчивость в соответствии с СП 33.13330.2012 должен производиться по методу предельных состояний и включает определение толщин стенок труб, тройников, переходов, отводов и заглушек, проведение поверочного расчета принятого конструктивного решения трубопровода. Поверочный расчет трубопроводов следует производить на неблагоприятные сочетания нагрузок и воздействий для конкретно принятого конструктивного решения с оценкой прочности и устойчивости продольных и поперечных сечений рассматриваемого трубопровода. Для трубопроводов расчетные нагрузки, воздействия и их возможные сочетания принимаются в соответствии с требованиями СП 20.13330.2016. К сожалению, кратковременные нагрузки от действия штормовых волн в перечень воздействий и характеристик в указанном СП не рассматриваются. Поэтому не приводятся соответствующие коэффициенты надежности по нагрузкам, которые необходимо учитывать при определении толщин стенок труб и соединительных деталей. Таким образом, в указанных сводах правил отсутствуют нормативы по расчету трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения населенных пунктов, размещенных в береговой зоне, которые могут подвергаться штормовым воздействиям различной интенсивности, а при таких воздействиях инженерные системы водопользования могут терять работоспособное состояние.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Береговые зоны представляют собой активные геодинамические системы, которые, находятся на стыке систем «суша» и «море», что приводит к высоким скоростям процессов изменений приморских территорий [4]. В береговых зонах приморских городов Крымского полуострова размещают трубопроводы СВВ в случаях невозможности, сложности либо высокой стоимости эксплуатации при прокладке другим способом. Волновая деятельность моря оказывает существенное влияние на прибрежные территории. Согласно справочным данным по режиму ветра и волнения в Черном и Балтийском морях

максимальный ущерб прибрежным территориям наносит штормовое волнение, которое генерируется ветрами от наиболее волноопасных направлений со скоростью более 10 м/с. При этом штормовые волнения имеют выраженные сезонные циклы.

Трубопроводы СВВ при проектировании размещаются в береговых зонах на основе анализа различных факторов. Основными техническими

решениями при проектировании таких трубопроводов являются применение надземного и наземного размещения. На рис. 1а показан трубопровод, размещенный на опорах в береговой зоне города Алушты (Южный берег Крыма), а на рис. 1б – «наземное» размещение участка этого трубопровода при разрушении опор.



а



б

Рис. 1. Трубопроводы системы водоснабжения, размещенные в береговой зоне г. Алушты:
А – на опорах; б – «наземное» размещение.

Fig. 1. Water supply system pipelines located in the coastal zone of Alushta: a – on supports;
b – “above-ground” placement.

В конце ноября 2023 года Краснодарском крае и Крыму высота волн в Черном море доходила до **9 метров**, а **сила ветра достигала 40 м/с**. Метеорологи заявили, что для Крымского полуострова это был сильнейший разгул стихии за всю историю наблюдений, который окрестили «штормом века». Волны на берегах Крыма во время шторма достигли самой большой высоты за 100 лет в диапазоне 7...10 м [5]. В истории полуострова подобный шторм был только в 1854 году во время Крымской войны. Тогда случилась «Балаклавская буря», благодаря которой появились первые карты погоды. Во время шторма 14 ноября 1854 года похожий штормовой циклон разнес флоты британцев, французов и Османской империи, были потоплены около 30 судов и кораблей, а более 40 получили тяжелые повреждения. С того времени военные задачи флотам ставились с учетом погодных условий на основании синоптических карт, которые разработали в 1855 году. Разрушительные циклоны в последние несколько лет 21-го века на Земле стали происходить всё чаще, а всё из-за рекордно теплой погоды.

Волновые нагрузки при штормах создают как проблемы природопользования в береговых зонах Крымского полуострова и в приморских городах, так и вызывают дополнительные нагрузки на инженерные, берегоукрепительные сооружения, в том числе и трубопроводах СВВ, размещенные в береговой зоне [6]. На рис. 2 показаны трубопроводы системы водоснабжения г. Алушта, размещенные в береговой зоне до и после этого шторма.

В наставлениях Комитета по гидрометеорологии указано, что *шторм* — это событие, при котором ветер превышает 16 м/с, а волнение - 5 баллов. Статистики штормов и окон погоды используются при планировании операций на шельфе, времени достижения судном места убежищ а и т.п. Подходы к расчету длительности штормов и окон погоды изложены в многочисленных публикациях, однако результаты представлены только в справочниках нового поколения. Потребности мореплавания, судостроения и освоение шельфа повысили требования к составу, полноте и достоверности сведений о режиме ветра и волнения. Удовлетворить эти потребности, в настоящее время, возможно за счет применения возможностей современной компьютерной техники для высокопроизводительных вычислений, которые позволяют выполнять расчеты волнового климата, с применением подхода, основанного на получении режимных сведений в результате расчетов по гидродинамическим моделям. Такой подход получил признание во всем мире, в том числе в России, одобрен и реализован при решении многочисленных научных и прикладных задач [7].

Сведения, необходимые для проектирования сооружений в открытом море и на шельфе по режиму ветра и волнения в морях РФ и их районах представлены в справочнике по режиму ветра и волнения в Черном и Балтийском морях. Результаты расчетов волнения по гидродинамической модели в этих морях при разных условиях волнообразования согласуются с инструментальными измерениями, выполненными различными измерительными

приборами, что подтверждает достоверность сведений, приведенных в справочнике. Сложившаяся практика проектирования и эксплуатации гидротехнических сооружений разделяет режимные характеристики ветра и волн

на экстремальные и оперативные. Первые определяют так называемый режим выживания сооружений, а вторые - режим их повседневной эксплуатации.



а



б

Рис. 2. Трубопроводы системы водоснабжения г. Алушта, размещенные в береговой зоне:
а – до шторма; б – после шторма

Fig. 2. Water supply system pipelines in the coastal zone of Alushta: a – before the storm; b – after the storm

Для проектирования судов, гидротехнических сооружений, планирования работ в открытом море и на шельфе в справочнике по режиму ветра и волнения в Черном и Балтийском морях приводятся оценки высот волн и скоростей ветра для этих морей и их районов. Результатом вычислительной процедуры является модельная выборка наибольших высот волн и скоростей ветра скорости ветра, которые возможны 1 раз в год, 5, 10, 25, 50 и 100 лет. Для районов морей приводятся значения повторяемости скоростей ветра по направлениям по месяцам и за весь год и средняя скорость ветра по направлениям, а также длительность штормов и окон погоды 3 % обеспеченности для высот волн по градациям через 2 м и максимальные значения высот волн по месяцам. Каждое значение наибольшей высоты волны или скорости ветра является реализацией случайной величины, изменяющейся в некотором диапазоне. При решении прикладных задач и выборе экстремумов определяется мера риска, который допустим при оценке максимальных волн. В частности, занижение максимальной волны увеличивает риск разрушения сооружения, а завышение волны приводит к удорожанию стоимости объекта. В целом представленные модели хорошо воспроизводят изменчивость штормов и окон погоды, хотя в конкретном шторме модельные результаты могут быть несколько ниже, чем измеренные значения.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Прошедшие шторма в Крыму показали уязвимость трубопроводов СВВ, возведенных и (или) размещенных на побережье возле среза морской поверхности. Следует отметить, что

шторма различной интенсивности периодически разрушают участки трубопроводов СВВ, размещенных в береговых зонах [5, 9, 11]. При этом в действующих сводах правил по нагрузкам и воздействиям не рассматриваются волновые нагрузки и воздействия, а устанавливаются косвенно в иных нормах проектирования строительных конструкций, в задании на проектирование либо в рекомендациях, разработанных в рамках научно-технического сопровождения.

В работе [9] авторами предложена методология расчета трубопроводов СВВ в береговой зоне. Она основана на анализе влияния прибрежных волн как нестационарного случайного нагружения на прочность трубопровода. Рассмотрены два расчетных случая, которые встречаются на практике эксплуатации трубопроводов СВВ, размещенных в береговой зоне. Первый вариант расчета, в случае, когда часть трубопровода уложена непосредственно на грунт, а во втором варианте расчета - трубопровод располагается на вертикальных опорах, размещенных на расстоянии. В первом варианте расчета - трубопровод, который уложен непосредственно на грунте - принимается как модель балки на упругом (винклеровом) основании [9]. Во втором варианте расчета - трубопровод, расположенный на вертикальных опорах - рассматривается как модель балки на двух опорах.

В предложенной методологии расчете трубопровода, размещенного в береговой зоне, определяются:

- нормальные напряжения от изгиба трубы

$$\sigma_M = \frac{M_0}{\pi r^2 \delta} \quad (1)$$

где M_0 - изгибающий момент в сечении трубопровода; r - внутренний радиус трубы; δ - толщина стенки трубы.

- нормальные напряжения от внутреннего давления в трубопроводе

$$\sigma_N = \frac{p_t r}{\delta}. \quad (2)$$

Суммарная вертикальная погонная нагрузка на ось трубы с учетом волновой нагрузки

$$q_{yc} = q_y + q_{yb}. \quad (3)$$

где q_y - погонная нагрузка на ось трубы (балки); q_{yb} - дополнительная волновая нагрузка на трубопровод.

Погонная нагрузка на ось трубы с водой

$$q_y = q_B + q_M, \quad (4)$$

здесь $q_B = \pi r^2 g \rho_B$, $q_M = \pi(R^2 - r^2)g\rho_M$. - где погонная нагрузка от веса воды и трубы; R - наружный радиус трубы; ρ_B, ρ_M - плотность воды и материала трубы.

Вертикальная погонная статическая нагрузка веса воды над трубой

$$q_{yb} = 2r\epsilon g\rho_B, \quad (5)$$

где ϵ - высота гребня волны.

По этой нагрузке рассчитываются напряжения в вертикальной плоскости без учета динамической составляющей падения волны.

Горизонтальная нагрузка на трубопровод от набегающей волны зависит от ее скорости.

Скорость движения волны определим по приближенной формуле

$$v = \frac{2\pi h}{\tau}. \quad (6)$$

где h - высота волны; τ - период волнения.

Горизонтальная волновая погонная нагрузка на трубопровод

$$q_z = c_z \frac{\rho_B v^2}{2} 2r, \quad (7)$$

Здесь $c_z = 1$ - аэродинамический коэффициент.

Суммарные напряжения от действия погонных нагрузок в вертикальной и горизонтальной плоскостях трубопровода

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_{yc}^2 + \sigma_{zc}^2}, \quad (8)$$

где σ_{yc} , и σ_{zc} - суммарные напряжения в вертикальной и горизонтальной плоскостях, соответственно, от статической и динамической нагрузок на трубопровод.

Формула (7) характеризует горизонтальную волновую погонную нагрузку при плавном обтекании трубы водой с постоянной скоростью. При сопротивлении от набегающих волн реакция трубы на ударную нагрузку переносится в разряд динамического сопротивления. В этом случае необходимо рассчитать коэффициент динамичности нагрузки.

$$k_g = 1 + \sqrt{1 + \frac{v_B^2}{g\Delta_{ст}}}, \quad (9)$$

здесь $\Delta_{ст}$ - статический прогиб трубы, который определяется различными методами, например, начальных параметров.

Коэффициент динамичности нагрузки (9) позволяет учитывать влияния действие прибрежных волн на прочность трубопроводов СВВ, как на нестационарное случайное нагружение.

В первом варианте расчета изгибающий момент в сечении трубопровода, как балки на упругом основании определяется по зависимости [9, 10].

$$M_0 = -2\beta^2 E J_z \frac{q_{yc}}{k}. \quad (10)$$

где β - параметр упругого основания балки; E - модуль упругости материала; J_z - момент инерции поперечного сечения балки; k - коэффициент постели, который учитывает податливость упругого основания балки; q_{yc} - погонная нагрузка на ось балки.

Коэффициент постели для круглого трубопровода рассчитываем по зависимости

$$k = k_1 \cdot (0,5 \dots 2)R, \quad (11)$$

где R - наружный радиус трубы, k_1 - коэффициент податливости материала основания трубопровода, который выбирается для соответствующего грунта береговой зоны из справочника [12].

Для упругого (винклерового) основания балки параметр β в формуле (9) зависит от геометрических характеристик сечения балки и коэффициента постели в виде [10]

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EJ_z}}. \quad (12)$$

Следует отметить, что внешняя нагрузка в этом расчетном случае во многом зависит от коэффициента постели, который может меняться в широких пределах, особенно в случае размыва грунта. Это обстоятельство отражается на значениях нагрузки, что может обуславливать снижение достоверности расчетов на прочность трубы. Вертикальная нагрузка в зависимости от коэффициента постели основания определяет прогиб трубы.

$$y = \frac{q_y}{2k}. \quad (13)$$

Во втором варианте расчета максимальный изгибающий момент в сечении трубопровода, как в середине пролета балки, расположенной на двух вертикальных опорах, определяется по известной зависимости [9, 10]. Эта расчетная схема может применяться в случае больших размывов грунта под трубопроводом по действием волновой нагрузки.

$$M_{max} = \frac{q_y L^2}{8}, \quad (14)$$

где L - расстояние между опорами трубопровода.

Напряжения в опасных сечениях трубопровода по первому и второму варианту определяются по формуле (1) а от действия внутреннего давления по формуле (2).

Для оценки принятых конструктивных решений для трубопроводов, размещенных в береговых зонах, которые могут подвергаться штормовым воздействиям различной интенсивности определяется запас прочности трубы для двух

вариантов расчета при действии различных параметрах волновой среды по отношению:

$$k_T = \frac{\sigma_T}{\sigma_c} \quad (15)$$

где σ_T - предел текучести материала трубопровода.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Выполним расчет трубопровода системы водоснабжения, размещенного в береговой зоне г. Алушты с участками наземного и надземного расположения. Трубопровод длиной 8,2 км выполнен из труб стальных бесшовных горячедеформированных по действующему ГОСТ 32528—2013 диаметром $2R = 325$ мм и толщиной стенки $\delta = 10$ мм. Материал сталь Ст2сп с пределом текучести $\sigma_T = 216$ МПа.

Для расчета принимаем следующие исходные данные: $r = 0,1525$ м – внутренний радиус трубы, $R = 0,1625$ м – наружный радиус трубы, момент инерции сечения трубы $J_z = 0,000126$ м⁴, $p_a = 2,4$ МПа – макси-мальное давление внутри трубопровода. Модуль упругости материала трубы $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па. Плотности материалов $\rho_B = 1000$ кг/м³, $\rho_M = 7870$ кг/м³. Общая погонная нагрузка $q_y = 1487$ Н/м. Коэффициент пастели выбирается для гравия из справочных данных по сопротивлению материалов: $k_1 = 10$ МН/м³. В нашем случае $k = k_1 \cdot (0,5 \dots 2)R = 0,82 \dots 3,26$ МН/м².

Максимальные напряжения от внутреннего давления в трубопроводе $\sigma_N = 36,6$ МПа, что существенно меньше допускаемых напряжений. То есть в нормальных условиях эксплуатации при отсутствии волновой нагрузки параметры трубы полностью отвечают условиям ее прочности и устойчивости.

Рассмотрим максимально возможное волнение море в заданном районе моря, согласно данным справочника по режиму ветра и волнения в Черном и Балтийском морях - параметры его волнения: $h=9$ м – высота волны; $\tau=10$ с – период; $\lambda=180$ м – длина волны; $\epsilon=7$ м – гребень волны [8].

В первом варианте расчета прибрежного трубопровода при его «наземном» размещении, как трубы на упругом основании, максимальные напряжения в сечении трубы составляют $\sigma_c = 78,6 \dots 121,7$ МПа. При действии максимальной волновой нагрузки повышение напряжений в трубе находится в пределах $\sigma_y = 8 \dots 12$ МПа, то есть не оказывает существенного снижения ее прочности. Следует отметить, что при воздействии волновой нагрузки на трубопроводы, свободно размещенные на береговом грунте, происходит его размыв под трубой и трубопровод в этом случае необходимо рассматривать как размещенный на опорах, то есть по второму варианту расчета. Поэтому предпочтительным вариантом наземного расположения трубопровода является схема

укладки труб на грунт с предварительно подготовленным бетонным ложем и покрытием ее кожухом.

По второму варианту расчета трубопровода размещенного в береговой зоне на вертикальных опорах с различными пролетами в диапазоне $L = 2, 4, 6, 8, 10$ м и при фиксированных уровнях волнения моря 5, 6, 7, 8 баллов определены коэффициенты запаса прочности труб, зависимости которых представлены на рис. 3. Для рассмотренного надземного трубопровода проанализированы варианты замены его материала на углеродистые стали 35 с пределом текучести $\sigma_T = 294$ МПа и стали 45 с пределом текучести $\sigma_T = 323$ МПа. в соответствии с ГОСТ 32528—2013.

Анализ представленных результатов по второму варианту расчета показывает, что при надземном размещении пролеты опор и уровни волнения оказывают существенное влияние на прочность трубопровода. Изменение пролета между опорами приводит к увеличению суммарных напряжений в трубопроводе в меньшей степени, чем увеличение волновой нагрузки. При принятом материале труб и волновой нагрузке при штормах в 7 и 8 баллов вне зависимости от величины пролета между опорами прочность рассмотренного трубопровода не обеспечивается. Для обеспечения прочности надземного трубопровода в береговой зоне необходимо выбор пролета между его опорами осуществлять с учетом допускаемого уровня волновой нагрузки, а также учитывать их при подборе материала трубопровода. При увеличении волновой нагрузки с 5 до 8 баллов максимальные напряжения в опасных сечениях трубопровода размещенного на опорах в диапазоне пролетов 2...10 метров увеличиваются в 4,6...7,6 раз. При этом большое увеличение максимальных напряжений происходит при меньшем пролете опор. При увеличении пролета между опорами с 2 до 10 метров максимальные напряжения в опасных сечениях трубопровода размещенного на опорах в диапазоне волновой нагрузки 5...8 баллов увеличиваются в 1,5...2,4 раза. При этом большое увеличение максимальных напряжений происходит при большей волновой нагрузке.

Анализ зависимостей запаса прочности при действии различных параметрах волновой среды представленных на рис. 3 показал, что при надземном размещении с пролетами опор в диапазоне $L = 2 \dots 6$ м только применение в качестве материала трубы углеродистой стали 45 обеспечивает прочность трубопровода для 8-ми балльной волновой нагрузке даже при сохранении внутреннего рабочего давления. Для рассмотренного трубопровода увеличение пролета опор более 6 м не обеспечивает его прочности при волновой нагрузке более 8-ми баллов при сохранении внутреннего рабочего давления.

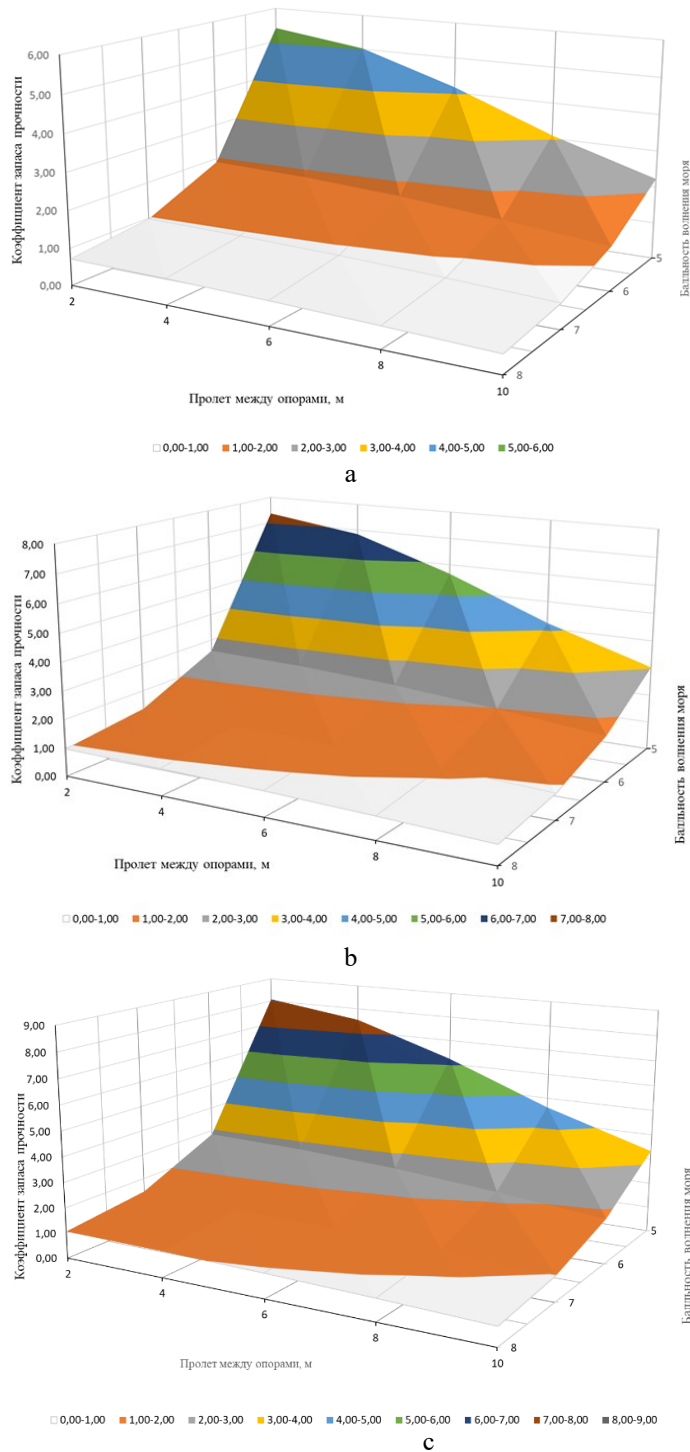


Рис. 3. Зависимость коэффициента запаса прочности трубопровода, размещенного в береговой зоне на вертикальных опорах с различными пролетами при фиксированных уровнях волнения моря для материалов трубы: а - Сталь Ст2сп; б – сталь 35; с – сталь 45.

Fig. 3. Dependence of the safety factor of a pipeline placed in the coastal zone on vertical supports with different spans at fixed sea wave levels for pipe materials: a - Ст2сп steel; b - steel 34; c - steel 45.

Следует отметить, что суммарные напряжения в сечении трубы, свободно опирающихся на грунт, при аналогичной волновой нагрузке обеспечивают достаточный запас прочности $k_T=1,8...4,4$ при изготовлении из материала Сталь Ст2сп., для материала Сталь 35 – 2,45...5,98, а для Сталь 45 – 2,68...6,56.

Таким образом, наиболее опасным состоянием трубопроводов СВВ, размещенных в береговой зоне является размещение труб на вертикальных опорах, когда они подвергаются динамическому удару набегающей волны. Поэтому предпочтительным вариантом наземного расположения трубопровода является схема укладки труб на грунт с

предварительно подготовленным бетонным ложем и накрытием ее кожухом.

Крымский полуостров является важным туристским и рекреационным регионом Российской Федерации благодаря особенностям климата, рельефа, флоры и фауны, уникальным памятникам многовековой истории, культуры и природным объектам. При этом, полуостров ввиду ограниченности водных ресурсов относится к вододефицитным регионам страны [3, 10]. В связи со стремительным возрастанием антропогенной нагрузки на приморские урбанизированные территории в настоящее время возникает необходимость в обеспечении экологической безопасности таких территорий, которые должны обеспечивать и сохранять эффективную рекреацию населения [12]. Важным способом улучшения экологической безопасности рекреационных прибрежных территорий является экологически безопасное проектирование объектов жизнеобеспечения. Актуальными являются проблемы влияния на эти системы природно-климатических факторов, вследствие повсеместного увеличения антропогенной нагрузки на водные ресурсы, а также по причине роста неопределенностей, связанных с изменениями климата.

Устойчивое водопользование во всем мире в настоящее время становится ключевой проблемой, поскольку растущее антропогенное воздействие, многие природные процессы, оказывает сильное влияние на пригодные для использования водные ресурсы, что в некоторых случаях приводит к необходимости размещения трубопроводов СВВ в береговых зонах. Не менее важными являются проблемы, которые связаны с тем, что в 21-ом веке изменилась «стационарность», как основополагающая концепция водопользования, согласно которой гидрологические системы изменяются и колеблются в пределах известного набора границ на основе многолетних наблюдений [13]. Поэтому события прошлого перестают быть надежным проводником в будущее для его прогнозирования. С другой стороны, следует предположить, что изменилась не «стационарность» гидрологических процессов, а выявилось увеличение изменчивости в связи с увеличением периода наблюдений и влияние дополнительных факторов, которые ранее не наблюдались или не учитывались [1].

Наличие трубопроводов, размещенных в береговых зонах, которые могут подвергаться штормовым воздействиям различной интенсивности влияет на устойчивость и работоспособность СВВ, а также на экологическое состояние береговых зон [14]. В связи с возрастанием антропогенной нагрузки на урбанизированных территориях приморских городов в настоящее время возникает необходимость с одной стороны в обеспечении требований действующих СанПиН для жителей и отдыхающих, а с другой стороны – техническую и

экологическую безопасности таких территорий, которые должны гарантировать эффективную рекреацию населения. Поэтому рекреационные комплексы приморских территорий Крымского полуострова тесно связаны с характеристиками экологического состояния окружающей среды, для которой необходимо учитывать условия обеспечения устойчивости действующих инженерных систем, в том числе обеспечивать экологическую безопасность территории [15, 16, 17].

С учетом вышеизложенного, проектирование и эксплуатацию трубопроводов СВВ, размещенных в береговых зонах необходимо выполнять с учетом климатических условий региона, в том числе параметров волнового нагружения. Это позволит применить конструктивные решения и выбрать материалы, которые будут наиболее устойчивы к этим дополнительным внешним воздействиям и обеспечат надежную эксплуатацию СВВ, а также безопасное экологическое состояние в береговых зонах рекреационных районов.

ВЫВОДЫ

Особенностью СВВ приморских городов является наличие трубопроводов, расположенных в береговой зоне, которые подвержены воздействию штормов различной интенсивности, вызывающих дополнительные динамические нагрузки. Последние в зависимости от величины набегающих волн могут привести к разрушению труб и потере их работоспособного состояния. При оценке устойчивости и надежности СВВ приморских городов необходимо учитывать эти особенности. В действующих нормативных документах отсутствуют рекомендации по расчету трубопроводов СВВ, размещенных в береговой зоне, которые могут подвергаться штормовым воздействиям.

На основе анализа условий эксплуатации трубопроводов СВВ, размещенных в береговой зоне, предложены две расчетные схемы, которые учитывают особенности их наземного и надземного расположения и нагружения. В первой наземной расчетной схеме, часть трубопровода уложена непосредственно на грунт, который моделируется упругим (винклеровым) основанием. Во второй надземной схеме трубопровод располагается на вертикальных опорах. Для этих двух расчетных схем представлены расчетные зависимости для оценки прочности трубопроводов

Выполнен расчет трубопровода системы водоснабжения, размещенного в береговой зоне г. Алушта и проведен анализ полученных результатов. Показано, что при наземном расположении трубопровода действие максимальной волновой нагрузки не оказывает существенного снижения его прочности, а также обеспечивают достаточный запас прочности. Установлено, что при волновой нагрузке штормов в 7 и 8 баллов вне зависимости от величины пролета между опорами применение для

надземного трубопровода материала труб сталь Ст2сп и сталь 35 их запас прочности не обеспечивает. Чтобы гарантировать прочность и долговечность надземного трубопровода в прибрежной зоне, необходимо осуществлять выбор пролета между его опорами с учетом допускаемого уровня волновой нагрузки, а также учитывать их при подборе материала трубопровода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Milly C. and etc. Stationarity is dead: Whither Water Management? / C. D. Milly, J. Betancourt, M. Falkenmark, R. M. Hirsch, Z. W. Kundzewicz, D. P. Lettenmaier// Science, 2008: Vol. 319, Issue 5863, pp. 573-574.

2. Николенко И.В. Выбор метода оценки устойчивости систем водоснабжения с водохранилищами естественного стока Крымского полуострова /И.В. Николенко, Н.С. Мельникова, Э.А. Каримов // Строительство и техногенная безопасность Симферополь, 2023. вып. 30 (82). С. 103-115.

3. Николенко И.В., Сколубович Ю.Л., Мельникова Н.С. Методика количественной оценки устойчивости систем водоснабжения // Известия вузов. Строительство. 2025. № 3. С. 41–51.

4. Горячкин, Ю. Н. Штормовой ветроволновой режим у черноморского побережья Крыма / Ю. Н. Горячкин, Л. Н. Репетин // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. — 2009. — Вып. 19. — С. 56—69.

5. В Крыму закончился «шторм века». Электронный ресурс: режим доступа: https://lenta.ru/news/2023/11/27/storm_crimea_konets/ (дата обращения 03.03.2025 г.)

6. Горячкин, Ю.Н. Проблемы природопользования в береговой зоне крымского полуострова / Ю.Н. Горячкин // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. - 2015. - № 1. - С. 5-11.

7. Горячкин, Ю. Н. Штормовой ветроволновой режим у черноморского побережья Крыма [Текст] / Ю. Н. Горячкин, Л. Н. Репетин // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. — 2009. — Вып. 19. — С. 56—69.

8. Справочные данные по режиму ветра и волнения Балтийского, Северного, Черного, Азовского и Средиземного морей: Справочник// СПб: Российский морской регистр судоходства, 2006. – 451 с.

9. Николенко И. В., Чемодуров В.Т. К обоснованию методологии расчета трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения, размещенных в береговой зоне// Известия вузов. Строительство. 2025. №8 (800), С. 129 – 140.

10. Чемодуров В.Т. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. //В.Т. Чемодуров, С.Г. Ажермачев, К.С. Пшеничная-Ажермачева//

Учебное пособие. М., «Инфра-Инженерия», 2022 г. 198 с.

11. Николенко И.В. Устойчивость систем водоснабжения Крымского полуострова в условиях негативного действия природных и техногенных явлений/ И.В. Николенко И.В., Э.А. Каримов, Н.С. Мельникова, О.В. Невельский// Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2023. № 3 (43). С. 108-119.

12. Коробко В.И., Коробко Л.В. Строительная механика стержневых систем. - М.: АСВ. 2007. - 510 с.

13. Ветрова, Н.М. Проблемы зон экологического риска приморских территорий / Н.М. Ветрова, Т.А. Иваненко, Э.Э. Меннанов, А.А. Гайсарова // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии — 2019. — № 2 (26). — С. 60—76.

14. S. Postel. Replenish. The Virtuous Cycle of Water and Prosperity. – NY, Island Press, 2017 – 339 p.

15. Садыкова, Г.Э. Особенности оценки природных рисков прибрежных территорий / Г.Э. Садыкова, Т.А. Иваненко, З.Д. Сапронова // Строительство и техногенная безопасность. — 2011. — Вып. 39. — С. 72—79

16. Ветрова, Н.М. Обеспечение экологической безопасности рекреационного региона [Текст] / Н.М. Ветрова, С.И. Федоркин // Симферополь.: ИТ «АРИАЛ». — 2012. — 294 с.

17. Ветрова, Н.М. Проблемы зон экологического риска приморских территорий [Текст] / Н.М. Ветрова, Т.А. Иваненко, Э.Э. Меннанов, А.А. Гайсарова // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии — 2019. — № 2 (26). — С. 60—76.

REFERENCES

1. Milly C. and etc. Stationarity is dead: Whither Water Management? / C. D. Milly, J. Betancourt, M. Falkenmark, R. M. Hirsch, Z. W. Kundzewicz, D. P. Lettenmaier// Science, 2008: Vol. 319, Issue 5863, pp. 573-574.

2. Nikolenko I.V. The choice of a method for assessing the stability of water supply systems with reservoirs of natural runoff of the Crimean Peninsula /I.V. Nikolenko, N.S. Melnikova, E.A. Karimov // Construction and technogenic safety Simferopol, 2023. issue 30 (82). pp. 103-115.

3. Nikolenko I.V., Skolubovich Yu.L. Melnikova N.S. Methodology of quantitative assessment of stability of water supply systems // Izvestiya vuzov. Construction. 2025. No. 3. pp. 41-51.

4. Goryachkin, Yu. N. Stormy wind wave regime off the Black Sea coast of Crimea / Yu. N. Goryachkin, L. N. Repetin // Environmental safety of coastal and shelf zones and integrated use of shelf resources. — 2009. — Issue 19. — pp. 56-69.

5. The "storm of the century" has ended in Crimea. Electronic resource: access mode: https://lenta.ru/news/2023/11/27/storm_crimea_konets/ (date of request 03.03.2025)

6. Goryachkin, Yu.N. Problems of nature management in the coastal zone of the Crimean peninsula / Yu.N. Goryachkin // *Environmental safety of the coastal and offshore zones of the sea.* - 2015. - No. 1. - pp. 5-11.
7. Goryachkin, Yu. N. Stormy Wind-Wave Regime off the Black Sea Coast of Crimea [Text] / Yu. N. Goryachkin, L. N. Repetin // *Environmental Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources.* — 2009. — Issue 19. — Pp. 56—69.
8. Reference data on the wind and wave regime of the Baltic, North, Black, Azov, and Mediterranean Seas: Handbook// SPb: Russian Maritime Register of Shipping, 2006. – 451 p.
9. Nikolenko I. V., Chemodurov V.T. To substantiation of the methodology of calculation of pipelines of water supply and sanitation systems placed in the coastal zone// *Izvestiya vuzov. Construction.* 2025. No. 8 (800), pp. 129 – 140.
10. Chemodurov V.T. Fundamentals of the Theory of Elasticity, Plasticity, and Creep. //V.T. Chemodurov, S.G. Azermachev, K.S. Pshenichnaya-Azermacheva// *Textbook.* Moscow, Infra-Engineering, 2022, 198 p.
11. Nikolenko I.V. Sustainability of the Crimean Peninsula Water Supply Systems under the Negative Influence of Natural and Man-Made Phenomena/ I.V. Nikolenko, E.A. Karimov, N.S. Melnikova, O.V. Nevelsky// *Biosphere Compatibility: Human, Region, Technologies.* 2023. No. 3 (43). Pp. 108-119.
12. Korobko V.I., Korobko L.V. *Structural Mechanics of Rod Systems.* Moscow: ASV. 2007. 510 p.
13. Vetrova, N.M. Problems of Environmental Risk Zones in Seaside Territories / N.M. Vetrova, T.A. Ivanenko, E.E. Mennanov, A.A. Gaisarova // *Biosphere Compatibility: Human, Region, Technologies* — 2019. — No. 2 (26). — Pp. 60—76.
14. S. Postel. Replenish. The Virtuous Cycle of Water and Prosperity. – NY, Island Press, 2017 – 339 p.
15. Sadykova, G.E. Features of the assessment of natural risks of coastal territories / G.E. Sadykova, T.A. Ivanenko, Z.D. Saprionova // *Construction and technogenic safety.* – 2011. – Issue 39. – P. 72-79
16. Vetrova, N.M. Ensuring Environmental Safety in a Recreational Region [Text] / N.M. Vetrova, S.I. Fedorkin // *Simferopol: IT "ARIAL".* — 2012. — 294 p.
17. Vetrova, N.M. Problems of Environmental Risk Zones in Coastal Territories [Text] / N.M. Vetrova, T.A. Ivanenko, E.E. Mennanov, and A.A. Gaisarova // *Biosphere Compatibility: Human, Region, and Technologies* — 2019. — No. 2 (26). — Pp. 60—76.

THE ANALYSIS OF PIPELINE LOADING FEATURES OF WATER SUPPLY AND WASTEWATER DISTRIBUTION SYSTEMS IN THE COASTAL ZONE TO SUBSTANTIATE THEIR CALCULATION METHODS

Nikolenko¹ I.V., Chemodurov² V.T., Bekirova³ Z.R.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
Institute of Biochemical Technologies, Ecology and Pharmacy^{1,3},
Institute "Academy of Construction and Architecture"²,
181, Kievskaya str., Simferopol, 295050, Russian Federation

Abstract: The article discusses the features of loading pipelines of water supply and sanitation systems in seaside cities located in coastal zones. An analysis of the operating conditions of such pipelines on the southern coast of Crimea has shown that accidents related to their destruction often occur as a result of storm impacts. It has been demonstrated that during storms, pipelines are subjected to additional loads, which, depending on their intensity, can lead to destruction and loss of the operational state of water supply and sanitation systems, as well as violate environmental safety requirements in coastal zones. The current regulatory documents do not provide recommendations for calculating pipelines of water supply and sanitation systems located in the coastal zone, which may be exposed to storm effects. To assess the strength of such pipelines, we propose calculation equations for two loading schemes. The calculation of the water supply system pipeline located in the coastal zone of the city of Alushta was performed, and the results were analyzed.

Subject of research. The nature of loading of pipelines of water supply and sanitation systems in the coastal zone, taking into account the impact of wave loads.

Materials and methods. Based on the analysis of loading features, two calculation schemes are proposed, which are encountered in the practice of operation of pipelines of water supply and sanitation systems located in the coastal zone. The first calculation option is when a part of the pipeline is laid directly on the ground, in the second calculation option – the pipeline is located on vertical supports.

Results. It has been established that when the pipeline is located above ground, the span of the supports and the level of wave action have a significant impact on the pipeline's strength. Changing the span between supports leads to an increase in the total stresses in the pipeline to a lesser extent than an increase in the wave load. With the chosen pipe material and the wave load during storms of 7 and 8 points, regardless of the span between supports, the pipeline discussed in the article does not meet the required strength.

Conclusions. When assessing the stability and reliability of water supply and sanitation systems in coastal cities located in coastal zones, it is necessary to take into account the specific features of loading. To ensure the strength and durability of above-ground pipelines in coastal zones, it is necessary to select the span between their supports based on the permissible level of wave load, and to consider these factors when selecting the pipeline material. When pipelines are located above ground in coastal zones, the maximum wave load does not significantly affect their strength, providing sufficient safety margins.

Key words: water supply system, pipeline, coastal zone, wave load, elastic base, support, strength, safety factor

УДК 628.1

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ НА РЕЖИМ ДВИЖЕНИЯ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СМЕСИ

Дихтярь¹ Т.В., Зайцев² О.Н., Ангелюк³ И.П., Дихтярь⁴ М.С.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,

^{1,3,4}Институт «Академия строительства и архитектуры»,

295943, г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: ta_titova@mail.ru

² ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»,

305040, Курская область, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94, e-mail: zon071941@mail.ru

Аннотация. При заданной (обычно низкой) скорости смеси и вполне определенном газосодержании наступает спокойное разделенное течение, характеризующееся практическим отсутствием пульсаций. С ростом $F_{T_{cm}}$ (возрастание скорости или уменьшение диаметра) частота и амплитуда пульсаций возрастают. Зависимости частоты и амплитуды пульсаций существенно отличаются при различных формах течения. Помимо многообразия структур, отличительной особенностью течения газо-жидкостной смеси в трубе являются высокие пульсации давления, вызванные наличием фаз с различными физическими свойствами, существованием относительной скорости движения компонентов, большой сжимаемостью газо-жидкостной смеси и другими причинами. На поверхностях раздела фаз возникают особые силовые, а при неизотермическом течении и тепловые взаимодействия. Эти взаимодействия самым существенным образом сказываются на изменениях полей скоростей течения, давлений, температур, концентраций при переходе от одной точки пространства к другой, отделенной от первой поверхностью раздела фаз. Во многих случаях на границах раздела фаз возникают скачки давления, температуры и вектора скорости течения. Специфической особенностью рассматриваемой среды является также и тот факт, что даже в случае, когда обе фазы практически можно считать несжимаемыми, газо-жидкостная система ведет себя как сжимаемая жидкость. Формы совместного движения газа и жидкости исключительно многообразны и охватывают все возможные состояния, лежащие между движением двух сплошных параллельных потоков, взаимодействующих только по одной непрерывной поверхности раздела, и движением потока пены, в которой обе фазы образуют сложную, тонкую и неустойчивую структуру. Таким образом, формы движения двухфазных потоков значительно многообразнее и законы их существенно сложнее, чем формы движения и законы гидродинамики однородных сред. Поэтому методы обобщенного анализа опытных данных имеют в этой области еще большее значение, чем в гидравлике однородных потоков.

Предмет исследования: процессы массообмена в тепловых потоках.

Материалы и методы: математические методы физического и численного моделирования.

Результаты: в результате исследований получены зависимости, позволяющие выявить границу перехода режимов от кольцевого к пробковому.

Выводы: основное влияние на процессы перехода от кольцевого режима к пробковому оказывают температура и избыточное давление между паровой и жидкостной фазой в локальной точке системы.

Ключевые слова: поверхность раздела, фазовые превращения, скорость, плотность, давление, температура.

ВВЕДЕНИЕ

При рассмотрении движения небольшого одиночного пузыря или потоков с непрерывной фиксированной границей раздела формулировка основной системы уравнений процесса может быть произведена со всей необходимой строгостью. В случае же сложных течений, когда компоненты потока расчленены на отдельные элементы, имеется ряд областей, замкнутых границами раздела, где возникают трудности, связанные с необходимостью рассматривать вероятностные ситуации с элементами, переменными в пространстве и во времени. Последовательные аналитические методы для таких систем в настоящее время отсутствуют. Решающее значение тут имеет эксперимент и метод подобия. Однако и в этом случае необходимо иметь общий метод вывода и анализа безразмерных параметров процесса. В целом, все взаимодействия, имеющие место в двухфазном потоке любой сложности, для каждой его отдельной области описываются теми уравнениями, что и для систем с

одной поверхностью раздела. Вследствие этого критерии подобия могут выводиться из этих уравнений для всей системы в целом с учетом уравнений и параметров, определяющих размеры возникающих дискретных элементов и вероятность их распределения[1].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Для уравнений движения, написанных попарно для каждой из фазовых областей рассматриваемой газо-жидкостной системы, необходимо задать условия, связывающие поля давлений и скоростей по поверхностям раздела фаз[2].

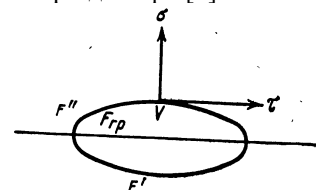


Рис. 1. Условия взаимодействия фаз на границе раздела
Fig. 1. Conditions of phase interaction at the interface

Выделим контрольной поверхностью F замкнутую область объемом V , заключающую в себе часть поверхности раздела фаз[1].

К поверхности $F = F_{\text{ж}}(F') + F_{\text{г}}(F'')$ приложены нормальные напряжения σ и касательные напряжения τ . Условие динамического равновесия рассматриваемой области имеет вид[3]:

$$\int_V \vec{\gamma} dV + \int_F \vec{\sigma} dF + \int_F \vec{\tau} dF = M \frac{d\vec{w}_0}{dt}, \quad (1)$$

здесь $\vec{\gamma}$ - некоторая объемная сила; где M - масса, заключенная в объеме V ; $\frac{d\vec{w}_0}{dt}$ - ускорение центра массы этого объема.

С другой стороны[1],

$$\left. \begin{aligned} \int_F \vec{\sigma} dF + \int_{F_{\text{ж}}} \vec{\sigma}_{\text{ж}} dF + \int_{F_{\text{г}}} \vec{\sigma}_{\text{г}} dF \\ \int_F \vec{\tau} dF + \int_{F_{\text{ж}}} \vec{\tau}_{\text{ж}} dF + \int_{F_{\text{г}}} \vec{\tau}_{\text{г}} dF \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Стягивая поверхность F к заключенной в объеме V поверхности раздела фаз $F_{\text{гр}}$, имеем[126]:

$$F \rightarrow F_{\text{гр}}; V \rightarrow 0; \int_F \vec{\sigma} dF_{\text{гр}} + \int_F \vec{\tau} dF_{\text{гр}} \rightarrow 0. \quad (3)$$

Таким образом, поскольку $\vec{\sigma} \perp \vec{\tau}$, имеет место динамическое равновесие и условие на границе раздела фаз распадается на два соотношения[1]

$$\vec{\sigma}_{\text{ж гр}} + \vec{\sigma}_{\text{г гр}} = 0; \vec{\tau}_{\text{ж гр}} + \vec{\tau}_{\text{г гр}} = 0. \quad (4)$$

Если прямоугольную систему координат расположить так, чтобы плоскость xz была касательной к поверхности раздела фаз в данной точке, а ось y нормальна к этой поверхности, то согласно уравнениям гидродинамики[4]

$$\left. \begin{aligned} \sigma_y = -p - \frac{2}{3} \mu \operatorname{div} \vec{w} + 2\mu \frac{\partial w_y}{\partial y}; \\ \tau_{xy} = \mu \left(\frac{\partial w_x}{\partial y} + \frac{\partial w_y}{\partial x} \right); \\ \tau_{zy} = \mu \left(\frac{\partial w_z}{\partial y} + \frac{\partial w_y}{\partial z} \right). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Из условия отсутствия скольжения фаз на границе раздела следует, что[5]

$$w_{\text{ж } xz \text{ гр}} = w_{\text{г } xz \text{ гр}}. \quad (6)$$

Нормальные к плоскости xz составляющие вектора скорости на границе раздела фаз определяются массовой скоростью фазового превращения $g_{\text{гр}}$ [6]:

$$w_{\text{ж } y \text{ гр}} = \pm \frac{g_{\text{гр}}}{\rho_{\text{ж}}}; w_{\text{г } y \text{ гр}} = \pm \frac{g_{\text{гр}}}{\rho_{\text{г}}}. \quad (7)$$

При отсутствии фазовых превращений $g_{\text{гр}} = 0$ и на поверхности раздела совпадают не только

тангенциальные составляющие векторов скоростей течения фаз, но и сами векторы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При фазовых превращениях неравенство плотностей фаз вызывает изменение векторов скоростей течения на границе раздела. При этом меняется также количество движения потока вещества $g_{\text{гр}}$ при пересечении границы раздела фаз. Вследствие этого возникает сила, нормальная к поверхности раздела и равная[7]

$$P_* = g_{\text{гр}} (w_{\text{г } y \text{ гр}} - w_{\text{ж } y \text{ гр}}) = \frac{g_{\text{гр}}^2}{\rho_{\text{г}}} \left(1 - \frac{\rho_{\text{г}}}{\rho_{\text{ж}}} \right). \quad (8)$$

$$g_{\text{гр}} = \frac{q_a}{r}; P_* = \frac{q_a^2}{\rho_{\text{г}} r^2} \left(1 - \frac{\rho_{\text{г}}}{\rho_{\text{ж}}} \right). \quad (9)$$

где q_a - плотность теплового потока, идущего на испарение на поверхности раздела фаз; r - скрытая теплота фазового превращения.

Тепловой баланс рассмотренного выше объема V , включающего в себя поверхность раздела фаз, имеет вид[8]:

$$\int_V \rho \frac{\partial i}{\partial t} dV = - \int_F q_n dF - \int_F i g_n dF, \quad (10)$$

где q_n, g_n - проекции соответствующих векторов на внешнюю нормаль к F .

Стягивая объем V к поверхности $F_{\text{гр}}$ и принимая во внимание, что $i_{\text{г}} - i_{\text{ж}} = r$, получим условие сохранения потока тепла при переходе через границу раздела фаз[9]

$$-\lambda_{\text{ж}} \left(\frac{\partial T_{\text{ж}}}{\partial y} \right)_{\text{гр}} = r g_{\text{гр}} - \lambda_{\text{г}} \left(\frac{\partial T_{\text{г}}}{\partial y} \right)_{\text{гр}}, \quad (11)$$

где $g_{\text{гр}} > 0$ при испарении.

Из условия непрерывности поля температур имеем[10]:

$$T_{\text{г гр}} = T_{\text{ж гр}}, \quad (12)$$

где $T_{\text{г гр}}$ - в случае фазового превращения представляет собой температуру насыщения, соответствующую термодинамическим условиям в данной точке границы раздела фаз.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Уравнения, описывающие тот или иной класс физических процессов, могут быть всегда представлены в безразмерной форме. Эта операция может быть совершена путем деления уравнения на один из его членов или путем введения масштабных

величин. В первом случае число возможных безразмерных комплексов не превышает числа членов уравнения без единицы[11].

Во втором случае в качестве масштабов можно выбрать характерные значения величин, входящих в уравнение, или комбинацию величин, имеющих необходимую размерность. Например, безразмерная скорость[12]

$$\omega = \frac{w}{w_0}, \quad (13)$$

где w - значение скорости в данной точке в данный момент времени; w_0 - средняя расходная

скорость в заданном сечении или скорость вне пограничного слоя в заданный момент времени.

На гидродинамический режим жидкостного процесса в системе водяного отопления влияет ряд физических величин.

На рисунке 2 представлен анализ данных в безразмерных тепловых параметрах. В качестве масштаба выбрана величина температуры теплоносителя.

На рисунке 3 представлен анализ данных в безразмерных динамических параметрах. В качестве масштаба выбрана величина давления теплоносителя в системе отопления.

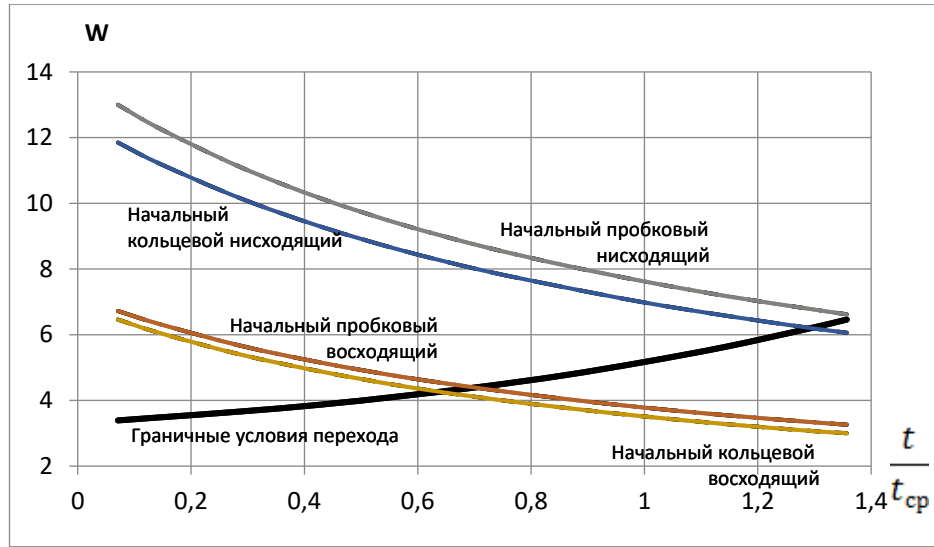


Рис. 2. Анализ теоретических данных в безразмерных тепловых параметрах
Fig. 2. Analysis of theoretical data in dimensionless thermal parameters

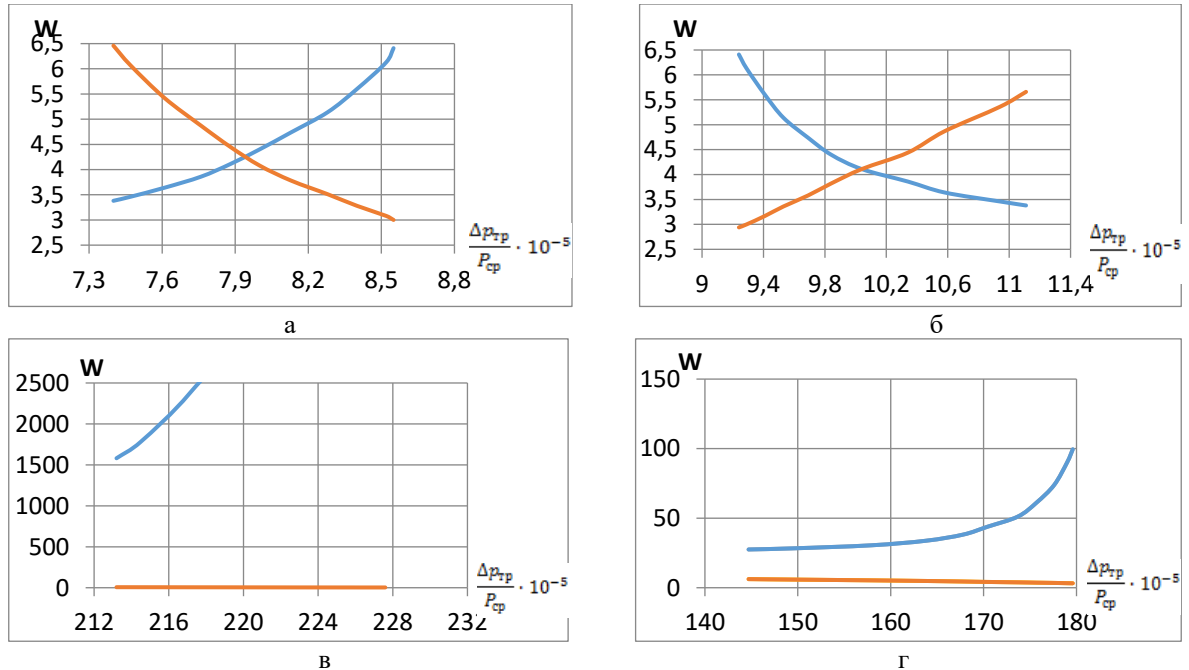


Рис. 3. Анализ теоретических данных в безразмерных динамических параметрах
а) кольцевой горизонтальный и восходящий; б) пробковый горизонтальный и восходящий; в) кольцевой нисходящий; г) пробковый нисходящий
Fig. 3. Analysis of theoretical data in dimensionless dynamic parameters
a) annular horizontal and ascending; b) corked horizontal and ascending; c) annular descending; d) corked descending

Одноименные параметры имеют одно и то же численное значение. Каждый из неопределяющих критериев является функцией совокупности определяющих критериев. Таким образом, метод подобия позволяет в отчетливой и компактной форме анализировать большое число факторов, определяющих рассматриваемое течение.

ВЫВОДЫ

Графический анализ зависимости выявил границу перехода режимов от кольцевого к пробковому при влиянии силы тяжести и давления с учетом изменения гидравлического сопротивления газожидкостной смеси. При кольцевом режиме движения жидкости граница перехода находится в пределах давления 12 - 16 Па/м, а при пробковом режиме происходит резкое увеличение давления с учетом изменения гидравлического сопротивления и перехода из одного режима движения жидкости в другой не происходит. Основное влияние на процессы перехода от кольцевого к пробковому оказывают температура и избыточное давление между паровой и жидкостной фазой в локальной точке системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии. М.: Наука, 1976. 500 с.
2. Дейч М.Е., Филиппов Г.А. Газодинамика двухфазных сред. М.: Энергоиздат, 1981. 472с.
3. Накоряков В.Е., Покусаев Б.Г., Шрейбер И.Р. Волновая динамика газо- и парожидкостных сред. М.: Энергоатомиздат, 1990. 248 с.
4. Соу С. Гидродинамика многофазных систем. М.: Мир, 1971. 536 с.
5. Кутателадзе С.С., Стырикович М.А. Гидродинамика газожидкостных систем. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Энергия, 1976. 296 с.
6. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. М.: Наука, 1987. 360 с.
7. Уоллис Г. Одномерные двухфазные течения. М.: Мир, 1972. 436 с.
8. Левич В.Г. Физико - химическая гидродинамика. М.: Физматгиз, 1959. 700 с.
9. Гуревич Г.Р., Брусилковский А.И. Справочное пособие по расчету фазового состояния и свойств газоконденсатных смесей. М.: Недра, 1984. 264 с.
10. Миропольский З.Л., Шнеерова Р.И., Карамышева А.И. Паросодержание при напорном движении пароводяной смеси с подводом тепла и в адиабатных условиях // Теплоэнергетика. 1971. № 5. С. 60-63.
11. Сергель О.С. Прикладная гидрогазодинамика: учебник. М.: Машиностроение, 1981. 374 с.
12. Борисов А.А., Гельфанд Б.Е. О режимах дробления капель и критериях их существования // ИФЖ. 1981. Т. 40, №1. С. 152-157.

REFERENCES

1. Kafarov V.V. and Dorokhov I.N. System Analysis of Chemical Technology Processes. Moscow: Nauka, 1976. 500 p.
2. Deich M.E., Filippov G.A. Gas Dynamics of Two-Phase Media. Moscow: Energoizdat, 1981. 472 p.
3. Nakoryakov V.E., Pokusayev B.G., Shreyber I.R. Wave Dynamics of Gas and Vapor-Liquid Media. Moscow: Energoatomizdat, 1990. 248 p.
4. Sou S. Hydrodynamics of multiphase systems. M.: Mir, 1971. 536p.
5. Kutateladze S.S., Styrikovich M.A. Hydrodynamics of gas-liquid systems. Ed. 2nd, revised. and added. M.: Energiya, 1976. 296 p.
6. Nigmatulin, R.I. Dynamics of Multiphase Media. Moscow: Nauka, 1987. 360 p.
7. Wallis G. One-dimensional two-phase flows. Moscow: Mir, 1972. 436c.
8. Levich V.G. Physico-chemical hydrodynamics. Moscow: Fizmatgiz, 1959. 700 p.
9. Gurevich G.R., Brusilovsky A.I. A reference manual for calculating the phase state and properties of gas condensate mixtures. Moscow: Nedra, 1984. 264 p.
10. Miropolsky Z.L., Schneerova R.I., Karamysheva A.I. Steam content during pressure movement of a steam-water mixture with heat supply and under adiabatic conditions // Thermal power engineering. 1971. No. 5. pp. 60-63.
11. Sergel O.S. Applied hydrogazodynamics: textbook. Moscow: Mashinostroenie, 1981. 374 p.
12. Borisov A.A., Gelfand B.E. On modes of droplet crushing and criteria of their existence // IFZH. 1981. Vol. 40, No. 1. pp. 152-157.

INFLUENCE OF THERMODYNAMIC CRITERIA ON THE MOVEMENT REGIME OF A GAS-LIQUID MIXTURE

Dikhtyar¹ T.V., Zaitsev² O.N., Angelyuk³ I.P., Dikhtyar⁴ M.S.

^{1,3,4}Institute "Academy of Construction and Architecture", V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
Kievskaya str., 181, Simferopol, 295943, e-mail: ta_titova@mail.ru

² Southwest State University, 50 let Oktyabrya str., Kursk, 305040, Kursk Region 94, e-mail: zon071941@mail.ru

Abstract. At a given (usually low) mixture velocity and a specific gas content, a calm separated flow occurs, characterized by a practically non-existent pulsation. As Fr_{cm} increases (either by increasing the velocity or decreasing the diameter), the frequency and amplitude of pulsations increase. The frequency and amplitude of pulsations vary significantly depending on the flow pattern. In addition to the variety of structures, a distinctive feature of the flow of a gas-liquid mixture in a pipe is the high pressure fluctuations caused by the presence of phases with different physical properties, the existence of relative velocity of the components, the high compressibility of the gas-liquid mixture, and other factors. Special forces and thermal interactions occur at the phase interfaces during non-isothermal flow. These interactions have a significant impact on the changes in flow velocity fields, pressures, temperatures, and concentrations as we move from one point in space to another, separated by a phase boundary. In many cases, there are abrupt changes in pressure, temperature, and flow velocity at the phase boundaries. Additionally, even when both phases can be considered incompressible, the gas-liquid system behaves like a compressible fluid. The forms of the combined motion of gas and liquid are extremely diverse and cover all possible states that lie between the motion of two continuous parallel flows that interact only along a single continuous interface, and the motion of a foam flow in which both phases form a complex, thin, and unstable structure. Thus, the forms of motion of two-phase flows are much more diverse and their laws are much more complex than the forms of motion and laws of hydrodynamics of homogeneous media. Therefore, the methods of generalized analysis of experimental data are even more important in this field than in the hydraulics of homogeneous flows.

Subject: mass transfer processes in heat flows.

Materials and methods: mathematical methods of physical and numerical modeling.

Results: as a result of research, dependencies are obtained that allow to reveal the boundary of the transition of modes from annular to cork.

Conclusions: the main influence on the processes of transition from the annular mode to the cork mode is the temperature and excess pressure between the vapor and liquid phase in a local point of the system.

Key words: interface, phase transformations, speed, density, pressure, temperature.

УДК 624.073; 624.071.3

РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ФЕРМ ПОКРЫТИЯ НА ПК «ЛИРА-САПР» ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОСЛЕ ПОЖАРА

Богуцкий¹ Ю.Г., Калафатов² Д.А., Белавский³ В.А., Родин⁴ С.В.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,
Институт «Академия строительства и архитектуры»
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181
E-mail: ¹bogutskiyg@mail.ru, ²jafer90@mail.ru, ³belavsky@mail.ru, ⁴sv_rodin@mail.ru

Аннотация. В статье представлен расчетный анализ моделирования сборной железобетонной стропильной фермы покрытия с учетом ухудшения физико-механических свойств железобетона: снижение сцепления арматуры с бетоном; уменьшение модуля упругости и как следствие способности сопротивления деформациям; снижению прочности и общей жесткости конструкции при огневом воздействии в результате пожара. Изучали напряженно-деформированное состояние конструкций в упругой постановке задач при статической нагрузке.

Предмет исследования: численная модель сборной железобетонной фермы покрытия до и после пожара.

Материалы и методы: материалы для данной статьи получены в ходе выполнения обследования сборных железобетонных ферм покрытия. Для анализа использован ПК «ЛИРА-САПР».

Результаты: в результате расчетного анализа получены мозаики узловых перемещений расчетного армирования элементов с учетом повреждений после огневого воздействия.

Выводы: выполнен расчет несущей способности железобетонной стропильной фермы покрытия с учетом повреждений после огневого воздействия и изменения свойства бетона и армирования с использованием ПК «ЛИРА-САПР» и требований СП 468.1325800.2019 и разработаны рекомендации по усилению.

Ключевые слова: ферма покрытия, обследование, огневое воздействие, пожар, ПК «ЛИРА-САПР», конечный элемент.

ВВЕДЕНИЕ

Нагрев при пожаре снижает эксплуатационные качества строительных конструкций из сборного и монолитного железобетона. Это происходит вследствие ухудшения физико-механических свойств железобетона и условий совместной работы материалов, уменьшения эффективных геометрических размеров поперечного сечения конструкций и изменения схемы работы элементов конструкций в результате интенсивного неравномерного нагрева. Опыт обследования зданий показывает, что во многих случаях технически возможно и экономически целесообразно использовать строительные конструкции после пожара при их усилении и восстановлении несущей способности. Это позволяет достичь существенного экономического эффекта за счет уменьшения материалоемкости при проведении работ по восстановлению несущей способности и эксплуатационных характеристик реконструируемых конструкций, снижения трудоемкости и энергозатрат машин и механизмов при проведении работ и как следствие сокращения сроков ввода объекта в эксплуатацию.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Систематическое исследование свойств используемых для железобетона материалов при нагреве выполняли многочисленные научно-исследовательские организации и специализированные институты периода существования СССР в последующий период и в

настоящее время, в развитии этого направления в науке железобетона при воздействии высоких температур ключевую роль продолжает занимать научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева (НИИЖБ им. А.А. Гвоздева), работы которого в современных условиях, адаптируют накопленный опыт к новым требованиям и условиям. Результаты исследований и разработок НИИЖБ им. А.А. Гвоздева легли в основу многих нормативных документов, включая свод правил (СП) [13], который регулирует правила обеспечения огнестойкости и огнесохранности бетонных и железобетонных конструкций.

Основополагающими в оценке свойств бетона при нагреве являются работы К.Д. Некрасова, В.И. Мурашева, А.И. Яковлева, А.Ф. Милованова, В.В. Жукова, В.А. Макагонова, В.И. Шевченко, А.С. Залесова, Э.Ф. Панюкова, Ю.П. Линченко, В.Н. Алексеенко, А.Г. Тамразяна, Д.С. Баряк, С.Н. Леоновича, Д.А. Литвиновского [1, 5-10, 14-18].

Свойства бетона и арматуры при нагреве исследовали многие ученые как в нашей стране, так и в странах ближнего и дальнего зарубежья.

Большинство исследователей делают идентичные выводы об изменении прочности бетона вследствие нагрева в зависимости от ряда факторов. У загруженного бетона при нагреве прочность снижается меньше, чем у незагруженного; при охлаждении после нагрева снижение прочности продолжается; у бетонов, подверженных тепловой обработки, снижение прочности меньше, чем у бетонов естественного твердения; водоцементное отношение в пределах

0,3 - 0,6 не оказывает существенного влияния на изменение прочности;

Кубиковая прочность бетона при нагреве до 300°С повышается, при более высоких температурах интенсивно снижается. Ряд исследователей отмечает, что после остывания бетон, нагретый свыше 500°С, со временем разрушается с полной потерей прочности.

При высоких температурах происходят химические реакции, которые разрушают структуру цементного камня. Это снижает его прочность на растяжение. Прочность на сжатие тоже уменьшается, но медленнее из-за большей инертности заполнителей.

Деформативные характеристики бетона изменяются вследствие нагрева быстрее прочностных. Модуль деформаций уменьшается, предельные деформации возрастают. Это влияет на перераспределение напряжений по сечениям элемента во время нагрева и при повторных его нагружениях после остывания, а также на перераспределение усилий по длине элемента и между элементами конструкций; происходит снижение жесткости сечений и элементов при нагреве.

Нагревание нагруженного элемента приводит к последующему повышению жесткости сечений при догрузении после остывания, так как большая часть неупругих деформаций проявляется при нагреве.

Стержневые арматурные стали при нагреве повышают свою прочность, что особенно заметно при температурах 500-600 °С. Однако при дальнейшем повышении температуры их прочность резко снижается.

При высоких температурах сочетание снижения модуля упругости и увеличения деформаций ползучести может существенно влиять на надёжность и устойчивость конструкций.

Характеристики бетона и арматуры при циклическом технологическом нагреве и разовом кратковременном в режиме пожара существенно различаются. Для расчёта огнестойкости конструкций и расчёта конструкций, подлежащих дальнейшей эксплуатации после пожара необходимо установить соответствующие значения расчётных характеристик бетона и арматуры.

Надёжность железобетона определяется не только свойствами материалов, но и условиями их совместной работы, доминирующую роль в которой играет сцепление.

Физико-механические и реологические свойства бетона и арматуры при нагреве изменяются, что также влияет на их сцепление.

Интенсивное развитие пластических деформаций арматуры при нагреве приводит к ослаблению контакта с бетоном и образованию трещин. С повышением температуры нарастание различия значений коэффициентов расширения бетона и стали вызывает дополнительные напряжения сдвига между ними в железобетонных конструкциях. Свойства стали при охлаждении в значительной мере восстанавливаются, а бетона,

наоборот, продолжают ухудшаться, что предопределяет дальнейшее нарушение контакта между ними.

Уменьшение прочности бетона снижает трещиностойкость, а уменьшение модуля деформаций и возрастание предельной растяжимости повышает за счёт более полного включения в работу арматуры. Ухудшение сцепления увеличивает ширину раскрытия трещин, а повышение деформативности бетона уменьшает.

В ходе многочисленных исследований установлено, что имеются существенные различия между высокопрочным бетоном и бетоном нормальной прочности.

Это выражается в изменении механических свойств при повышенной температуре, и высоком потенциале к взрывному разрушению высокопрочных бетонов при быстром нагревании, вследствие низкой проницаемости, ограничивающей возможность нагретой влаги покинуть бетон.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основной целью данной научно-технической работы является обследование сборных железобетонных ферм покрытия помещения производственного корпуса в г. Симферополь.

Помещение простой прямоугольной формы в плане с габаритами в осях 1-4/А-В 17,5x48,0 м, одноэтажное (рис. 1). Высота до низа стропильных ферм составляет в среднем 7,08 м (рис. 2). Вход в помещение предусмотрен через проем по оси А.

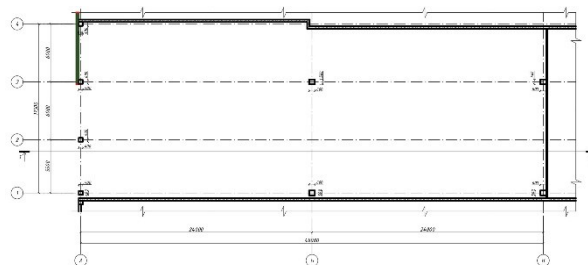


Рис. 1. Планировочное решение помещения производственного корпуса
Fig. 1. Layout of the production building

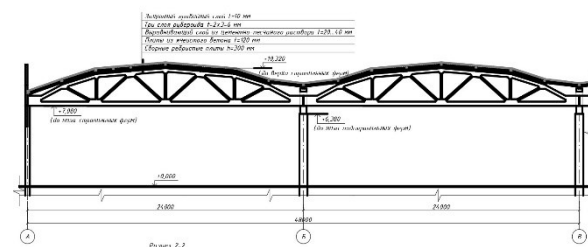


Рис. 2. Разрез 1-1
Fig. 2. Section 1-1

Оценка технического состояния обследуемых сборных железобетонных ферм покрытия выполнена в составе предусмотренным ГОСТ [4]. Ультразвуковым импульсным методом по ГОСТ [2] определяли прочность бетона. Электромагнитным

методом по ГОСТ [3] определяли армирование конструкций.

По определенным показателям подстропильные фермы идентифицированы как 4ПГ6-2АтIV и 3ПГ6-2АтIV по типовым сериям.

Расчет железобетонных стропильных ферм покрытия по I-й и II-й группе предельных состояний проводится с учетом нескольких параметров, основополагающими являются: геометрия фермы (длины верхнего и нижнего поясов, размеры стоек и раскосов, расчетный пролет), нагрузки и места (узлы) их приложения.

Наиболее интенсивное горение происходило в центре помещения, где была расположена цистерна с мазутом (рис.3, фото 1,2). Продолжительность развитой стадии пожара и температуры в этой зоне помещения были максимальными (рис.4). Наиболее высокие температуры в указанной зоне обусловлены сосредоточением большого количества сгораемых материалов в указанных осях и наличием горизонтальных проемов зенитных фонарей в конструкциях покрытия.

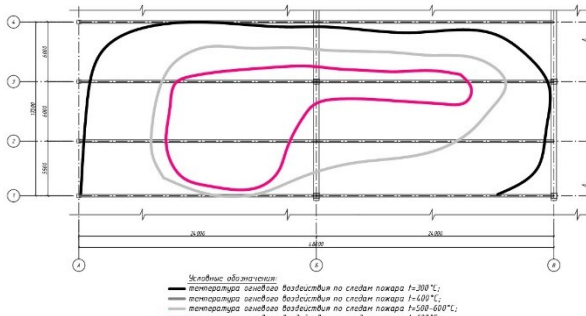


Рис. 3. Температурные зоны пожара
Fig. 3. Fire temperature zones



Фото 1. Общий вид строения (внутри)
Photo 1. General view of the building (inside)



Фото 2. Состояние ж/б стропильных ферм после пожара
Photo 2. Condition of reinforced concrete roof trusses after the fire

Кривые зависимости температуры от времени по стандартному и реальному температурному режиму пожара представлены на рис. 4.

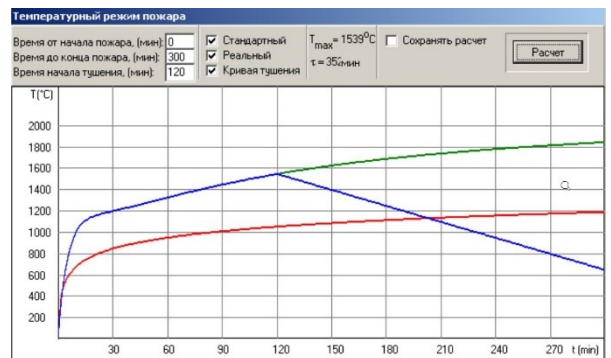


Рис. 4. Кривые зависимости температуры от времени по стандартному и реальному температурному режиму пожара

Fig. 4. Temperature versus time chart for standard and real fire temperature conditions

Для анализа использован ПК «ЛИРА-САПР».

По результатам расчета плоских моделей стропильных ферм покрытия (рис. 5) выполняли следующие проверки:

- проверка прогибов;

- проверка армирования элементов железобетонных конструкций.

- 01 - Задача 01 (модель в упругой стадии);

- 02 - Задача 02 (модель в упругой стадии с учетом изменении прочности и деформативных характеристик бетона вследствие нагрева);

Свойства бетона и арматуры при огневом воздействии и после него определяли, согласно требованиям раздела 5 СП [13].

В каждой задаче сформированы следующие статические загрузки.

1 (постоянное: собственный вес конструкций) - (G1);

2 (постоянное и временное: вес кровли, плит покрытия, снеговая нагрузка) - (G2);

Для суммы загрузок G1, G2 создается расчетное сочетание нагрузок РСН-1.

В расчетных схемах использовали следующие расчетные предпосылки:

- опирание фермы шарнирное;
- соединение всех элементов жесткое;
- вес кровли, плит покрытия, снеговая нагрузка заданы эквивалентными нагрузками.

Направление осей:

1. Глобальные оси элементов фермы направлены: ось X вдоль буквенных осей, ось Y вдоль цифровых осей, ось Z направлена вверх.

2. Местные оси стоек и раскосов: ось X направлена вверх, ось Y вдоль цифровых осей, ось Z вдоль буквенных осей.

3. Местные оси поясов: ось X направлена вдоль элементов, оси Y и Z направлены поперек элементов.

Жёсткости элементов расчётной модели, определенные по СП [12] до огневого воздействия представлены в табл. 1. Свойства бетона при огневом воздействии и после него представлены в табл. 2 и 3.

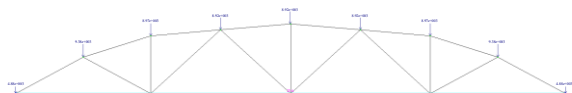


Рис.5. Постоянное и временное нагружение (вес кровли, плит покрытия, снеговая нагрузка)

Fig.5. Permanent and temporary loading (roof weight, roof slabs, snow load)

Таблица 1. Жёсткости элементов расчётной модели

Table 1. Rigidities of the elements of the calculation model

Тип жесткости	Имя	Параметры (сечения-(см) жесткости-(т,м) расп.вес-(т,м))
1	Брус 25 X 30 (Нижний пояс 25x30 см)	Ro=2.75,E=3e+006,G F=0
		V=25,H=30
2	Брус 25 X 28 (Верхний пояс 25x28 см)	Ro=2.75,E=3e+006,G F=0
		V=25,H=28
3	Брус 15 X 15 (Раскосы 15x15 см)	Ro=2.75,E=3e+006,G F=0
		V=15,H=15
4	Брус 15 X 15 (Стойки 15x15 см)	Ro=2.75,E=3e+006,G F=0
		V=15,H=15

Таблица 2. Свойства бетона при огневом воздействии и после него

Table 2. Properties of concrete under fire exposure and after it

До пожара	После пожара t=200°C	После пожара t=600°C
R _{bn} =18,50 МПа	R _{bn,t} = R _{bn} ·γ _{bt} =18,50·0,95=17,58 МПа	R _{bn,t} = R _{bn} ·γ _{bt} =18,50·0,5=9,25 МПа
R _b =14,5 МПа	R _{b,t} = R _b ·γ _{bt} =14,50·0,95=13,78 МПа	R _{b,t} = R _b ·γ _{bt} =14,50·0,5=7,25 МПа
R _{b,ser} =18,50 МПа	R _{b,ser,t} = R _{b,ser} ·γ _{bt} =18,50·0,95=17,58 МПа	R _{b,ser,t} = R _{b,ser} ·γ _{bt} =18,50·0,5=9,25 МПа
R _{bt} =1,6 МПа	R _{bt,t} = R _{bt} ·γ _{bt} =1,6·0,65=1,04 МПа	R _{bt,t} = R _{bt} ·γ _{bt} =1,6·0,05=0,08 МПа
R _{bt} =1,05 МПа	R _{bt,t} = R _{bt} ·γ _{bt} =1,05·0,65=0,6825 МПа	R _{bt,t} = R _{bt} ·γ _{bt} =1,05·0,05=0,0525 МПа
R _{b,ser,t} =1,6 МПа	R _{b,ser,t} = R _{b,ser,t} ·γ _{bt} =1,6·0,65=1,04 МПа	R _{b,ser,t} = R _{b,ser,t} ·γ _{bt} =1,6·0,05=0,08 МПа
E _b =30000 МПа	E _{bt} =E _b /(1+φ _{b,cr})=30000/(1+3)=7500 МПа	E _{bt} =E _b /(1+φ _{b,cr})=30000/(1+19)=1500 МПа
ε _{b1,red} =0,0015	ε _{b1,red} =0,0049	ε _{b1,red} =0,0126
ε _{b0} =0,002	ε _{b0} =0,0060	ε _{b0} =0,0153
ε _{b2} =0,0035	ε _{b2} =0,0084	ε _{b2} =0,0216

Таблица 3. Свойства арматуры при огневом воздействии и после него

Table 3. Properties of reinforcement under fire exposure and after it

До пожара	После пожара t=200°C	После пожара t=600°C
R _{sn} =600 МПа	R _{sn,t} = R _{sn} ·γ _{st} =600·0,96=576 МПа	R _{sn,t} = R _{sn} ·γ _{st} =600·0,92=552 МПа
R _s =520 МПа	R _{s,t} = R _s ·γ _{st} =520·0,96=499 МПа	R _{s,t} = R _s ·γ _{st} =520·0,92=478 МПа
R _{sc} =400 МПа	R _{sc,t} = R _{sc} ·γ _{st} =400·0,96=384 МПа	R _{sc,t} = R _{sc} ·γ _{st} =400·0,92=368 МПа
R _{sw} =300 МПа	R _{sw,t} = R _{sw} ·γ _{st} =300·0,96=288 МПа	R _{sw,t} = R _{sw} ·γ _{st} =300·0,92=276 МПа
E _s =200000 МПа	E _{st} =E _s ·β _s =200000·0,98=196000 МПа	E _{st} =E _s ·β _s =200000·0,94=188000 МПа
ε _{s0} =R _s /E _s +0,002=520/200000+0,002=0,0046	ε _{s0} =R _{s,t} /E _{st} =499/196000=0,00254	ε _{s0} =R _{s,t} /E _{st} =478/188000=0,00254
ε _{s2} =0,015		

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В результате расчетного анализа получены мозаики горизонтальных и вертикальных перемещений и расчетного армирования.

По результатам расчета при действии вертикальных нагрузок от РСН-1 максимальные вертикальные перемещения элементов фермы до пожара составляют 24,6 мм (рис.6), после пожара 98,3 мм (рис.7), что превышает предельной [f]=24000/300=80 мм (таблица Д.1 СП [11]).

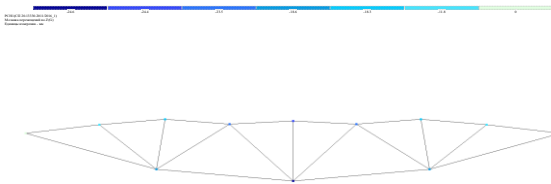


Рис.6. Расчетные вертикальные перемещения элементов фермы до пожара
Fig.6. Estimated vertical movements of the farm elements before the fire

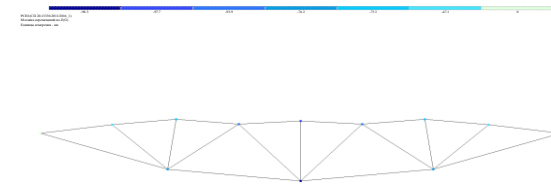


Рис.7. Расчетные вертикальные перемещения элементов фермы после пожара
Fig.7. Estimated vertical movements of the farm elements after a fire

Расчетное армирование нижнего пояса до пожара составляет $4\varnothing 22$ (рис.8), что соответствует фактическому армированию нижнего пояса.

Расчетное армирование нижнего пояса после пожара составляет $4\varnothing 22 + 2\varnothing 20$ (рис.9), что превышает фактическое армирование нижнего пояса.

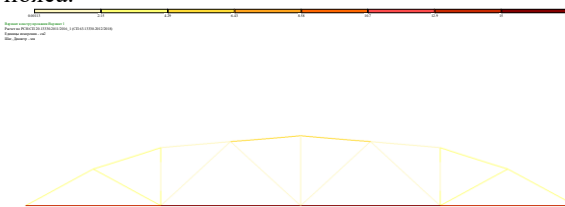


Рис.8. Расчетное армирование нижнего пояса фермы до пожара
Fig.8. Estimated reinforcement of the lower belt of the farm before the fire

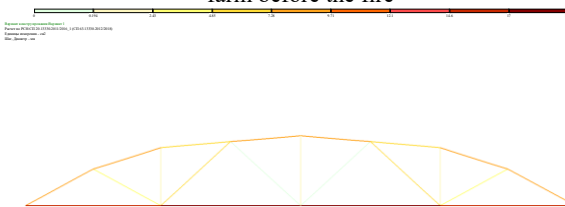


Рис.9. Расчетное армирование нижнего пояса фермы после пожара
Fig.9. Estimated reinforcement of the lower belt of the farm after a fire

ВЫВОДЫ

1. Техническое состояние сборных железобетонных ферм покрытия помещения производственного корпуса в г. Симферополь оценено как аварийное.

2. Выполнены расчеты несущей способности и деформативности ферм покрытия с учетом повреждений после огневого воздействия и изменения свойства бетона и армирования с использованием ПК «ЛИРА-САПР» и требований СП [13].

3. Результаты расчета показали дефицит несущей способности ферм покрытия около 30 %.

4. Рекомендовано выполнить усиление нижнего пояса ферм тяжами $2\varnothing 20A240$.

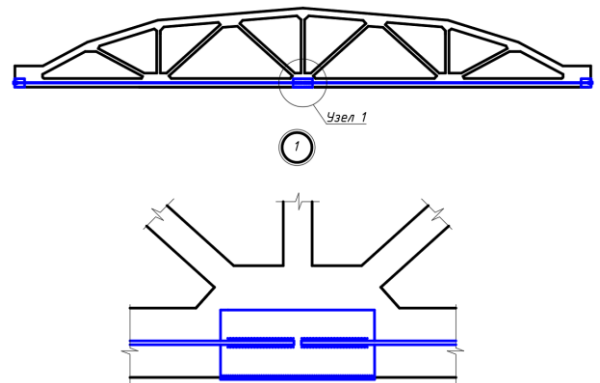


Рис.10. Схема усиления нижнего пояса ферм тяжами
Fig.10. Reinforcement of the lower belt of trusses with ties

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеенко В.Н. Прочность железобетонных балок при действии поперечных сил после пожара : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.23.01 / Научно-исслед., проектно-конструкторский и технологич. ин-т бетона. — Москва, 1990. — 22 с.

2. ГОСТ 17624-2021 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности [Текст] / НИИЖБ. - М.: Стандартинформ, 2021.

3. ГОСТ 22904-2023. Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры/НИИЖБ Госстроя СССР. -М., 2023.

4. ГОСТ 31937-2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния [Текст].- М.: Стандартинформ, 2024.

5. Жуков В.В. Основы стойкости бетона при действии повышенных; и высоких температур. — Дисс. на соискание ученой степени: докт. техн. наук, М.,1981, 437 с.

6. Залесов А.С. Совершенствование практических методов расчета прочности элементов железобетонных конструкций при сочетании различных силовых воздействий [Текст] : Автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук. (05.480) / Всесоюз. заоч. политехн. ин-т. - Москва : [б. и.], 1969. — 27 с.

7. Макагонов В.А. Бетон в условиях высокотемпературного нагрева. — М.: Стройиздат, 1979, С. 15-42.

8. Милованов А.Ф. Прочность бетона при нагреве. В кн.: Работа железобетонных конструкций при высоких температурах. М.: Стройиздат 1972, С. 6-18.

9. Мурашев В.И. Замена металла железобетоном в агрегатах и сооружениях в условиях действия высокой температуры. Строительная промышленность, 1943, №4-5, С.2-6.

10. Некрасов К.Д., Жуков В.В., Шевченко В.И. Исследование процессов, оказывающие влияние на разрушение бетона при его нагреве. В кн.: Труды международного совещания по прочности бетона. — Дрезден: Технический университет, 1968, №17, т.6, С.1582-1585.

11. СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07 - 85*» [Текст]. - М.: Минстрой России, 2016. – 136 с.

12. СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003». [Текст]. – М.: Минстрой России, 2018. – 143 с.

13. СП 468.1325800.2019 Правила обеспечения огнестойкости и огнесохранности бетонных и железобетонных конструкций].- М.: Стандартиформ, 2020.

14. Панюков Э.Ф. Оценка состояния железобетонных конструкций после пожара. Дис. д-ра техн. наук. М., 1991.-387 с.

15. Тамразян А.Г., Баряк Д.С. Сцепление коррозионно-поврежденных железобетонных элементов при огневом воздействии //Журнал «Строительство и реконструкция». 2025. Вып. 1(117). С. 40–47 с.

16. Леонович С.Н., Литвиновский Д.А. Аналитические зависимости прочностных, деформативных, силовых и энергетических параметров высокопрочного бетона при нагреве// Журнал Вестник БНТУ № 4, 2011). С. 30–34 с.

17. Линченко Ю.П. Совместная работа арматуры с бетоном после пожара: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.23.01 / Н.-и. проектно-конструкт. и техн. ин-т бетона и железобетона. — Москва, 1989. — 16 с.

18. Яковлев А.И., Ройтман В.М., Мешалкин Е.А. Метод оценки стойкости строительных конструкций к взрывообразной потере целостности в условиях пожара. В кн.: Огнестойкости строительных конструкций: Труды ВНИИПО.-М.: ВНИИПО, 1978, №39, С. 55-84.

2. GOST 17624-2021 Concretes. Ultrasonic method of strength determination [Text] / NIIZhB. - Moscow: Standartinform, 2021.

3. GOST 22904-2023. Reinforced concrete structures. Magnetic method for determining the thickness of the concrete cover and the location of reinforcement/NIIGB of the USSR State Construction Committee. - Moscow, 2023.

4. GOST 31937-2024. Buildings and structures. Rules of inspection and monitoring of technical condition [Text].- М.: Standartinform, 2024.

5. Zhukov V.V. Fundamentals of Concrete Resistance to High Temperatures. — Diss. for the degree of Doctor of Technical Sciences, Moscow, 1981, p. 437.

6. Zalesov A.S. Improvement of practical methods for calculating the strength of elements of reinforced concrete structures under a combination of various force effects [Text] : Abstract of the dissertation. for the degree of Candidate of Technical Sciences. (05.480) / Vsesoyuz. correspondence Polytechnic. in-T. - Moscow : [B. I.], 1969. – 27 p.

7. Makagonov, V.A. Concrete under Conditions of High-Temperature Heating. Moscow: Stroyizdat, 1979, pp. 15-42.

8. Milovanov A.F. The strength of concrete during heating. In the book: The operation of reinforced concrete structures at high temperatures. Moscow: Stroyizdat 1972, pp. 6-18.

9. Murashev, V.I. Replacement of metal with reinforced concrete in units and structures under conditions of high temperature. Construction Industry, 1943, No. 4-5, pp. 2-6.

10. Nekrasov K.D., Zhukov V.V., Shevchenko V.I. Research of the processes affecting the destruction of concrete during its heating. In the book: Proceedings of the International Conference on Concrete Strength. — Dresden: Technical University, 1968, No. 17, vol. 6, pp. 1582-1585.

11. SP 20.13330.2016 "Loads and impacts. Updated version of SNiP 2.01.07 - 85*" [Text]. - М.: Ministry of Construction of Russia, 2016. -136 p.

12. SP 63.13330.2018 "Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions. Updated version of SNiP 52-01-2003". [Text]. - М.: Ministry of Construction of Russia, 2018. -143.

13. SP 468.1325800.2019 Rules for ensuring fire resistance and fire safety of concrete and reinforced concrete structures]. - М.: Standartinform, 2020.

14. Panyukov, E.F. Assessment of the Condition of Reinforced Concrete Structures after a Fire. Doctoral Dissertation in Engineering. Moscow, 1991. 387 pages.

15. A.G. Tamrazyan , D.S. Baryak Bonding of corrosion-damaged reinforced concrete elements in case of fire impact // Magazine of Civil engineering and reconstruction. 2025.Release. 1(117). p. 40–47 p.

16. S.N. Leonovich, D.A. Litvinovsky Analytical dependences of strength, deformation, force and energy parameters of high-strength concrete during heating// Magazine of Herald Belarusian National Technical University Release №4. p. 30–34 p.

REFERENCES

1. Alekseenko, V.N. Strength of Reinforced Concrete Beams under the Action of Transverse Forces after a Fire: Abstract of Dissertation ... Candidate of Technical Sciences: 05.23.01 / Research, Design, and Technological Institute of Concrete. Moscow, 1990. 22 p.

17. Linchenko Yu.P. Joint operation of reinforcement with concrete after a fire : Abstract of Dis. ... Candidate of Technical Sciences : 05.23.01 / N.-i. design-construction. and technical. Institute of concrete and reinforced concrete. — Moscow, 1989. — 16 p.

18. Yakovlev A.I., Roitman V.M., Meshalkin E.A. A method for assessing the resistance of building structures to explosive loss of integrity in fire

conditions. In the book: Fire Resistance of Building Structures: Proceedings of the All-Union Research Institute of Fire Protection. Moscow: All-Union Research Institute of Fire Protection, 1978, No. 39, pp. 55-84.

CALCULATION OF THE LOAD-BEARING CAPACITY FOR ROOF TRUSSES ON THE LIRA-SAPR PC BASED ON THE RESULTS OF A POST-FIRE INSPECTION

Bogutsky¹ Y.G., Kalafatov² D.A., Belavsky³ V.A., Rodin⁴ S.V.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Institute "Academy of Construction and Architecture"
181, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493

E-mail: ¹bogutskiyyg@mail.ru, ²jafer90@mail.ru, ³belavsky@mail.ru, ⁴sv_rodin@mail.ru

Abstract. The article presents a computational analysis of the modeling of a prefabricated reinforced concrete roof truss, taking into account the deterioration of the physico-mechanical properties of reinforced concrete: a decrease in the adhesion of reinforcement to concrete; a decrease in the modulus of elasticity and, as a result, the ability to resist deformation; a decrease in the strength and overall rigidity of the structure under fire as a result of fire. The stress-strain state of structures in the elastic formulation of problems under static load was studied.

Subject of research: numerical model of a precast reinforced concrete roof truss.

Materials and methods: data for this article were obtained during the survey of precast reinforced concrete roof trusses. The LIRA-SAPR software package was used for the analysis.

Results: as a result of the computational analysis, mosaics of nodal displacements of the calculated reinforcement for elements were obtained taking into account damage after fire exposure.

Conclusions: the bearing capacity of the reinforced concrete roof truss was calculated taking into account damage and changes in the properties of concrete and reinforcement after fire exposure by using the LIRA-SAPR software package and the requirements of SP 468.1325800.2019, recommendations for the reinforcement were developed.

Key words: roof truss, survey, fire, LIRA-SAPR PC, finite element.

Раздел 4. Экологическая безопасность

УДК 628.179.2:628.31

ОСВЕТЛЕНИЕ СТОЧНЫХ ВОД В ЛОКАЛЬНОМ ВОДООЧИСТНОМ ОБОРУДОВАНИИ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Мовчан С.И.

ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет»
 Адрес: Запорожская область, г. Мелитополь, пр. Б. Хмельницкого, 18
 E-mail: msi.movchan@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены вопросы технического обеспечения процесса осветления стоков в процессе обработки сточных вод промышленных предприятий на локальном технологическом оборудовании производительностью 1-10 м³/час. Представленная технологическая схема и оборудование, исследования в системе оборотного водоснабжения участка цеха испытания двигателей, позволяет проводить обработку сточных вод по различным технологическим линиям, в нескольких режимах и параметрах с различным составом загрязнений и проведении постоянного контроля обрабатываемых сточных вод, по основным показателям.

Осветление сточных вод осуществляется с помощью технологической схемы, включающей напорную электрофлотокоагуляцию в аппаратах локальной обработки сточных вод по нескольким технологическим линиям и режимам. Поступающая вода на обработку собирается в приёмный сборник, проходя обработку в аппарате для очистки сточных вод, по своим технологическим линиям обработку в нескольких режимах. Осуществляется контроль (отбор) проб воды на всех этапах осветления. Для интенсификации процесса осветления в центре аппарата установлена труба реакционная. Использование сатуратора, установленного за пределами аппарата, способствует повышению степени интенсификации осветлённых вод.

Использование в системах оборотного водоснабжения локального оборудования, направленного на осветление сточных вод, решается на новой совокупности конструктивных и технологических решений, обуславливающих большую степень осветления стоков. Дальнейшая математическая обработка полученных результатов позволяет оптимизировать сам процесс осветления, снизить затраты на водоподготовку и обеспечить экологическую безопасность водных объектов.

Предмет исследования: закономерности и особенности процесса осветления стоков в аппаратах локальной обработки сточных вод промышленных предприятий.

Материалы и методы: В работе использовались методы математического и физического моделирования гидродинамических процессов, а полученные результаты экспериментальных исследований обрабатывались по известным методикам, путём сопоставления численного результата с данными промышленных исследований с использованием методов математической статистики.

Результаты: Разработана и апробирована технологическая схема осветления сточных вод аппаратами напорной электрофлотокоагуляции аппаратами локальной обработки сточных вод, используемых в системах оборотного водоснабжения. Используемая технологическая схема движения стоков на обработку в аппаратах напорной электрофлотации-коагуляции и напорной флотации, что позволяет повысить степень осветления сточных вод, оптимизируется время на обработку и получаемые технологические параметры осветления сточных вод.

Ключевые слова: дефицит воды, осветление, сточные воды, коалесцирующий фильтр, начальная концентрация, зерна фильтрования, гидравлическая крупность, аппараты напорной флотации, системы оборотного водоснабжения, гидродинамические процессы

Работа выполнена в рамках Государственного заказа на оказание государственных услуг (выполнение работ) № 075-03-2025-418 от 17.01.2025 г. «Инновационные технологии использования воды и водных ресурсов в системах оборотного водоснабжения» (FRRS 2023-0039)»

ВВЕДЕНИЕ

Уменьшение общих запасов водных ресурсов в мире, создаёт всё больший дефицит воды и водных ресурсов для хозяйственной деятельности страны. Недостаток воды сказывается не только для хозяйственно-питьевых целей, но, и в промышленном секторе [1]. Кроме этого, ухудшается экологическая обстановка, уменьшается количество водных ресурсов и увеличивается сточных вод, которые необходимо обрабатывать. Всё это, и другие водохозяйственные проблемы, решается с помощью усовершенствования надёжности и повышения

эффективности систем промышленного водоснабжения.

Общеизвестно, что четверть процентов общего объёма загрязняющих сточных вод приходится на долю промышленных предприятий [2].

Необходимо отметить, что основой водоснабжения промышленного предприятия является гарантированное обеспечение его водой удовлетворяющей всем требованиям технологических процессов по объемам и по качеству. От обеспечения качества воды и организации водоснабжения промышленного предприятия в значительной степени зависят качество и себестоимость выпускаемой продукции. Технологическое (производственное) водопотребление на большинстве промышленных

предприятий является основным, как по количеству потребляемой воды, так и по роли воды в обеспечении основных технологических процессов. Вода используется в производстве для разнообразных целей. Кроме того, в процессах использования воды промышленными предприятиями используется значительное количество параметров и характеристик, которые существенно влияют на процессы обработки.

Например, предложен алгоритм выбора технологической схемы обработки промывных вод скорых фильтров в зависимости от направления утилизации. Представлены результаты по разработке теории образования, обработки и утилизации сбросных (промывных) вод скорых фильтров (контактных осветлителей) от станции водоподготовки. Показаны этапы формирования сбросных (промывных) вод, факторы, влияющие на качество взвеси на каждом из этапов. Приведено математическое описание образования сбросных (промывных) вод, транспортировки по трубопроводам промканализации с учетом гидродинамического воздействия на частицы взвеси и тип применяемого для очистки природных вод реагента. Обработка описана двумя этапами – перемешиванием в камере хлопьеобразования и отстаиванием в статических условиях [3].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В системах промышленного водоснабжения важную роль играют различные процессы от обработки сточных вод до подготовки воды по различным направлениям, как промышленные, так, и бытовые сточные воды. Среди основных способов водоподготовки осветление, в том числе, и при очистке сточных вод промышленных предприятий, является определяющим в выборе технологии.

Решению вопросов осветления сточных вод рассматриваются по разным направлениям, в зависимости от различных объёмов и конечной цели использования.

Например, представлен опыт повышения эффективности осветления воды на осветлителях-циркуляторах очистных сооружений г. Рыбинска Ярославской области. Эффективность осветления воды после модернизации значительно повысилась: уменьшился вынос остаточного алюминия на скорые фильтры, сократился объём сброса осадка из осветлителей-циркуляторов в 2-3 раза, сократился расход воды на промывку фильтров на 20%. Содержание остаточного алюминия в питьевой воде снизилось с 0,5-0,4 до 0,2-0,1 мг/л [4, стр. 9].

Приведено описание современных сооружений коагуляционной очистке воды и осветления на очистных сооружениях с указанием возможных методов их усовершенствования систематизированных исследований при обработке природных вод коагулянтами и флокулянтами. Рассмотрены вопросы эффективности применения различных реагентов на основании экспериментальных исследований и рассмотрен

производственный опыт применения новых реагентов на водопроводных станциях России [5].

Результатами исследований выявлено влияние ряда факторов влияющих на эффективность очистки воды от нефтепродуктов, с ростом давления на адсорбционных фильтрах при определённых технических условиях, рассмотрено в работе [6].

Используемые осветлители со взвешенным осадком нашли широкое применение в качестве первой ступени осветления воды в место отстойников. Осветлители данного типа рекомендуется применять на станциях производительностью от 5 до 50 тыс. м³/сут. для осветления воды с содержанием взвешенных веществ 50-1500 мг/л и цветностью до 120⁰ [7].

Необходимо отметить, что многостадийная обработка сточных вод, в том числе осветление сточных вод, являются важной технической задачей промышленных предприятий, использующих воду и водные ресурсы в производстве, является важной составляющей, которая определяет эколого-экономическое направление всего процесса обработки сточных вод в локальном оборудовании систем оборотного водоснабжения. Поэтому, для обеспечения экологической безопасности необходимо соблюдение нормативно-правовых документов, обеспечивающих не только экологическую безопасность, но и надёжность и эффективность работы систем водоснабжения промышленных предприятий.

Для промышленного сектора страны, использующим воду и водные ресурсы в своей технологии, основополагающим является Федеральный закон "О водоснабжении и водоотведении", в котором рассматриваются цели и принципы государственной политики в сфере водоснабжения и водоотведения на первом месте (статья 3, пункт 1) стоят вопросы охраны здоровья населения и улучшения качества жизни населения путем обеспечения бесперебойного и качественного водоснабжения и водоотведения. И, только после этого решать вопросы повышения энергетической эффективности путем экономного потребления воды, что непосредственно решается интенсификацией работы систем промышленного водоснабжения [8].

В Перечне поручений по реализации Послания Президента Федеральному Собранию (29 февраля 2024 г.), среди ключевых направлений, направленных на развитие коммунального и водохозяйственного комплекса, в том числе, отмечается: снизить к 2036 г в два раза объёмы неочищенных сточных вод, сбрасываемых в основные водные объекты; продлить до 2030 года реализацию федерального проекта «Чистая вода» в целях увеличения доли населения, использующего качественную питьевую воду.

Очевидно, что водоснабжение и водоотведение (канализация), эти два направления работы водохозяйственного комплекса страны неразрывно связаны между собой. При этом, повышение эффективности работы очистных сооружений, в

т. ч. и локального оборудования, снижение объёмов неочищенных и недостаточно очищенных сточных вод и обеспечение экологической безопасности водных объектов – является важной прикладной задачей для предприятий водохозяйственного комплекса страны.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Современные тенденции дефицита воды и водных ресурсов, повышение уровня загрязнений подземных и поверхностных источников и др. выдвигают на передний план вопросы рационального и бережного отношения к водным ресурсам, что является определяющим в работе систем оборотного водоснабжения.

Поэтому цель исследования состоит в интенсификации ресурсосберегающих технологий в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

Достижение поставленной цели решается комплексным подходом к следующим взаимосвязанным техническим задачам: обработка/очистка сточных вод, контроль качества обработанных сточных вод и обезвоженных осадков, образующихся в результате предыдущих технологических операций.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет», и ранее, проводились исследования по увеличению степени обработки сточных вод, в т. ч. эффективности осветления промышленных сточных вод, в аппаратах напорной флотации-коагуляции, используемых в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

Среди основных характеристик и параметров аппарата напорной флотации-коагуляции необходимо отметить следующее:

- живое сечение вертикально установленных аппаратов и четырёх флотокамер - круглое;
- производительность оборудования в пределах находится в пределах 1-10 [м³/час];
- время контакта T [час] воды с сорбционной загрузкой в фильтре составляло 25-30 [мин.];
- скорость обработки сточных вод V_0 в оборудовании не превышала 2-4 [м³/ч];
- давление на входе в оборудование не превышало величину 0,6-0,75 [МПа].

Исследования проводились в системы оборотного водоснабжения участка цеха испытания двигателей, согласно разработанной схемы [9, 12]. С учётом начальной концентрации основных и

сопутствующих загрязнений [г/см³], начальных размеров частиц [см], размер зёрен загрузки [см], концентрация масла и взвешенных веществ в очищенной воде [г/см³] размера частиц в очищенной воде [см].

В ранее рассматриваемой технологической схеме используется конструкция электрокоагулятора, в которой не предусматривала разделение потока сточных вод, подаваемых на осветление [10]. Такая конструкция позволяет не в полной мере решить задачи осветления сточных вод, что обусловлено значительными объёмами обрабатываемых стоков.

Использование усовершенствованного аппарат для обработки сточных вод [11] значительно интенсифицирует процесс обработки – осветления сточных вод по нескольким направлениям:

- обрабатывать сточные воды со значительными концентрациями загрязнений;
- производить осветление сточных вод, требующих специальной обработки, например, для пищевых предприятий, выпускающих соки;
- повторно осветлять потоки сточных вод, которые не достигли необходимой степени осветления.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

И ИХ АНАЛИЗ

В полученных результатах проведенных последней [9, 12] рассмотрена принципиальная схема системы оборотного водоснабжения участка цеха испытания двигателей. В качестве аппарата, используемого для обработки сточных вод, в котором корпус аппарата включает три коаксиальных емкости с тангенциально расположенными трубопроводами для подвода стоков в каждую емкость отдельно [6].

Вследствие того, что гидравлическая крупность имеет различные размеры и природу своего происхождения (механические примеси, взвешенные вещества, масла и нефтепродукты). Кроме того, учтём условия материального и энергетического балансов, который может быть использован либо для процесса в целом, либо для любой его стадии [13].

Используем уравнение, описывающего траектории движения частиц сточных вод:

$$\frac{\partial z}{v \pm u_w} = \frac{\partial z}{u + u_w \cdot \frac{\omega^2 \cdot r}{g}}, \quad (1)$$

где u_w - гидравлическая крупность, м/с;

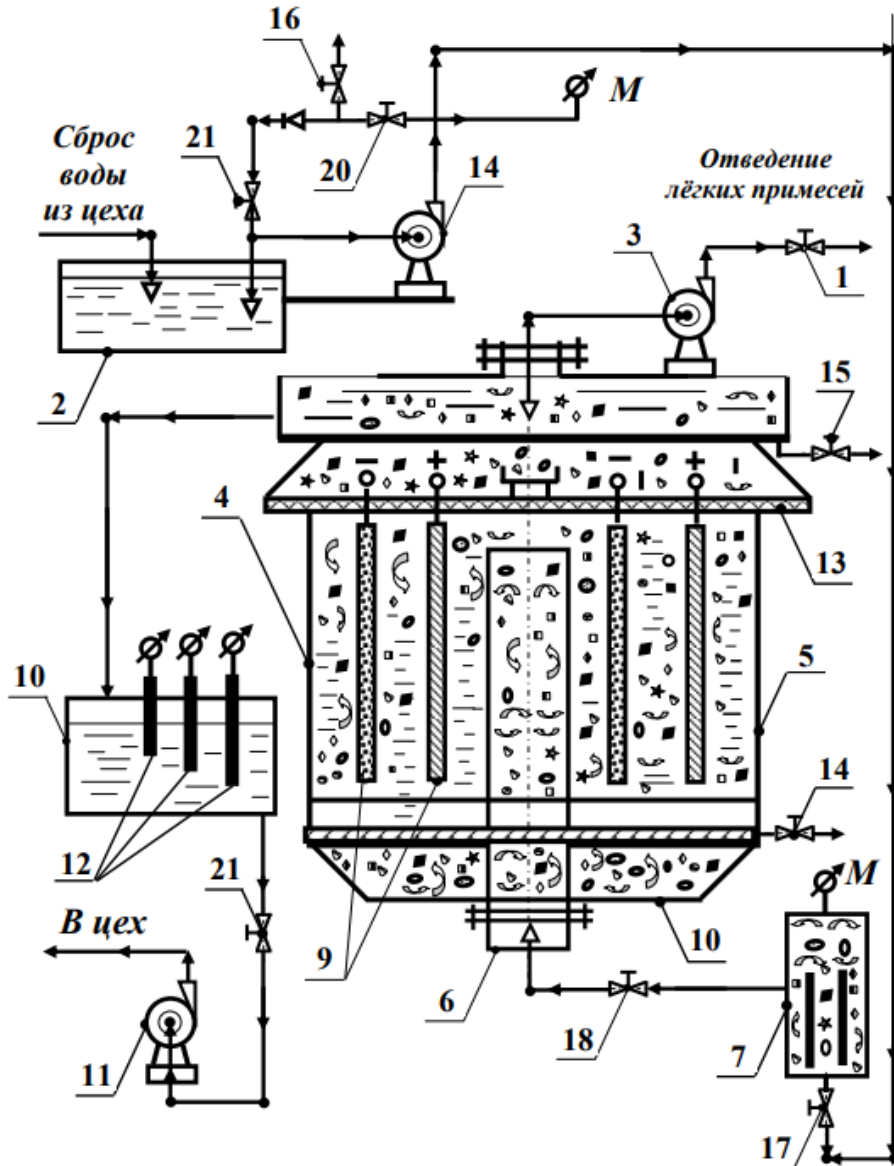


Рис. 1. Аппарат для обработки сточных вод [патент № 115710 Уа]:

- 1 – насос (марки «ВК») подачи воды на очистку сточных вод; 2 – сборный приемник;
 3 - насос откачивания флотошлама с установки; 4 – четыре вертикальные флотокамеры; 5 – корпус аппарата;
 6 – труба реакционная; 7 - сатуратор; 8 – эжектор; 9 – нерастворимые электроды; 10 – приёмник очищенной воды;
 11 – насос (марки «НШ») возврата воды на мойку полов та оборудования; 12 – датчик реле уровня ЗРСУ-2;
 13 – диэлектрическая прокладка; 14 - пробоотборник очищенной воды; 15 - пробоотборник флотошлама;
 16 – вентиль сброса сточных вод; 17, 18, 19, 20, 21 – вентили технологические;
 22, 23 – четыре вертикальных, соответственно трубы и вентили ввода сточных вод на обработку;
 24 – патрубок введения очищенной воды

Fig. 1. Apparatus for wastewater treatment [patent № 115710 Ua]: 1 – pump («ВК» brand) for water supply for wastewater treatment; 2 – collective receiver; 3 - a pump for pumping sludge from the installation; 4 – four vertical float cameras; 5 – device body; 6 – reaction pipe; 7 - saturator; 8 – ejector; 9 – insoluble electrodes; 10 – purified water receiver; 11 – pump («НШ» brand) for water return for washing chaff and equipment; 12 – level relay sensor ЗРСУ-2; 13 – dielectric gasket; 14 - purified water sampler; 15 - sludge sampler; 16 – waste water discharge valve; 17, 18, 19, 20, 21 – technological valves; 22, 23 – four vertical, respectively, pipes and valves for the introduction of wastewater for processing; 24 – nozzle for the introduction of purified water

Величина u_w связана с эффектом обработки сточных вод эмпирической зависимостью. В знаменателе левой части уравнения (1) перед величиной u_w ставим знак «+» в случае, когда подвод воды происходит сверху аппарата, а знак «-», если подвод воды происходит из нижней части.

Величина u_w связана с эффектом обработки сточных вод эмпирической зависимостью, т.е. непосредственно зависит:

$$\Theta = \frac{C_{Bx} - C_{Bвix}}{C_{Bx}}, \quad (2)$$

где $C_{Вх.}$, $C_{Вых.}$ концентрация частиц, соответственно на входе и выходе из аппарата, мг/л;

Из приведенного уравнения (2.4) при условии известного направления движения определяется любая гидромеханическая характеристика частиц водных растворов.

Условия массового баланса соответствуют состоянию равновесия: сколько частиц приходит в общем объеме сточных вод, столько же и уходит из данного объема. Для того, чтобы из общего объема, замкнутый контур, проходило количество частиц примесей (т.е. определяло качество очистки сточных вод) концентрация частиц примесей загрязнений C_3 [мг/л] должна равняться следующему соотношению:

$$C_3 = \frac{C_{II} \cdot 100}{R}, \quad (3)$$

где C_3 - концентрация частиц примесей загрязнений в исходном общем сточных вод, мг/л;

C_{II} - концентрация частиц примесей загрязнений в исходном общем сточных вод, мг/л;

R - селективность (избирательная способность) определять гидромеханические параметры частицы примесей водных растворов, %.

Селективность (от англ. — выбирать) — свойство одного объекта (обычно не законченного или предназначенного для использования в тандеме с объектом подобным себе), подбирать свойства другого объекта под свои нужды и качества, для дальнейшего совместного использования и распределения ресурсов как первого объекта так и его пары.

Количественное значение гидромеханических частиц примесей водных растворов (до и после очистки/обработки) определяется по следующим формулам

- эффективного диаметра D [м]

$$n^D = \frac{n_{исходн.}^D - n_{очищен.}^D}{n_{исходн.}^D} \cdot 100\%, \quad (4)$$

- электрофоретической скорости V [м/с]:

$$n^v = \frac{n_{исходн.}^v - n_{очищен.}^v}{n_{исходн.}^v} \cdot 100\%, \quad (5)$$

- электрокинетического дзета-потенциала ζ [В]:

$$n^\zeta = \frac{n_{исходн.}^\zeta - n_{очищен.}^\zeta}{n_{исходн.}^\zeta} \cdot 100\%, \quad (6)$$

- количества частиц примесей водных растворов n [штук]:

$$n^n = \frac{n_{исходн.}^n - n_{очищен.}^n}{n_{исходн.}^n} \cdot 100\%, \quad (7)$$

Таблица 1. Результаты измерений гидромеханических параметров частиц водных растворов и математической обработки значений эффективного диаметра при исследовании процесса седиментации оптико-механическими системами

Table 1. Results of measurements of hydromechanical parameters of particles of aqueous solutions and mathematical processing of values of the effective diameter during the study of the process of sedimentation by optical-mechanical systems

№ серии	Округленный диаметр $D_{округ}$ частицы, мм	Диаметр частицы, D , мкм				Среднее арифметическое значение эффективного диаметра D , мкм	Среднее арифметическое отклонение Δ	Вариации η	Среднее квадратичное отклонение, σ
		1	2	3	4				
1.	5	4,95	4,90	5,00	4,95				
	6	5,90	5,90	5,95	6,00	5,93	0,0625	0,0225	0,0075
	7	6,95	6,95	6,90	6,95	6,9375	0,0625		0,0058
	8	8,00	7,95	8,10	7,90	8,225	0,225	0,2	0,0225
	9	8,85	8,90	8,95	9,00	8,925	0,075		0,0183
	10	9,85	9,70	9,75	9,60	9,872	0,1	0,1	0,015
$\sum_{i=1}^n (D_{расч.} - D_{округ.})^2$									

2.	10	9,95	9,90	9,85	9,90	9,9	0,1	0,1	0,015
	11	10,90	10,85	10,95	10,90	10,9	0,1	0,1	0,0115
	12	12,00	11,9	11,95	11,95	11,95	0,05	0,1	0,0128
	13	12,90	12,95	13,0	12,90	12,9375	0,0625	0,1	0,0145
	14	13,85	13,95	13,90	14,00	13,925	0,075	0,15	0,0185
	15	14,90	14,95	15,00	15,00	14,925	0,0375	0,1	0,00417
$\sum_{i=1}^n (D_{расч.} - D_{округ.})^2$									
3.	15	14,90	14,95	15,00	15,00	14,9625	0,0375	0,1	0,00417
	16	15,80	15,85	15,90	15,90	15,8625	0,1375	0,1	0,0275
	17	17,00	16,90	16,95	17,00	16,9625	0,0375	0,1	0,001167
	18	18,00	17,95	17,80	17,95	17,925	0,075	0,2	0,015
	19	18,90	18,95	18,95	18,95	18,9375	0,0625	0,05	0,0258
	20	19,75	19,65	20,25	19,85	19,915	0,05	0,1	0,00425
$\sum_{i=1}^n (D_{расч.} - D_{округ.})^2$									
4.	20	19,95	19,95	20,00	19,90	19,95	0,05	0,1	0,00425
	21	21,00	20,90	20,85	20,95	20,925	0,075	0,15	0,0167
	22	22,00	21,90	21,95	22,00	21,9625	0,0375	0,1	0,004167
	23	23,00	23,00	22,90	22,95	22,4625	0,5375	0,1	0,004167
	24	23,90	23,95	23,90	24,00	23,9375	0,0625	0,1	0,0075
	25	24,85	24,75	24,65	25,20	24,925	0,05	0,1	0,005
$\sum_{i=1}^n (D_{расч.} - D_{округ.})^2$									
5.	25	24,90	24,95	24,95	25,00	24,95	0,05	0,1	0,005
	26	26,00	25,95	25,95	26,00	25,975	0,025	0,05	0,0107
	27	27,00	26,85	26,90	26,90	26,9125	0,0875	0,15	0,041167
	28	27,90	27,95	27,90	27,90	27,9125	0,0875	0,1	0,0075
	29	29,00	28,95	29,00	28,90	28,9625	0,0375	0,1	0,004167
	30	29,60	29,70	29,75	29,50	29,125	0,0875	0,05	0,01083
$\sum_{i=1}^n (D_{расч.} - D_{округ.})^2$									
6.	30	29,90	29,90	29,95	29,90	29,9125	0,0875	0,05	0,01083
	31	30,90	30,85	29,90	29,95	30,9	0,1	0,1	0,015
	32	32,00	31,90	31,90	32,95	31,9375	0,0625	0,1	0,0075
	33	33,00	33,00	32,90	32,95	32,9625	0,0375	0,1	0,004167
	34	33,90	33,90	33,85	33,95	33,9	0,1	0,05	0,0015
	35	34,25	34,50	34,75	34,75	34,125	0,0875	0,1	0,0125
$\sum_{i=1}^n (D_{расч.} - D_{округ.})^2$									
7.	35	34,85	34,90	34,95	34,95	34,9125	0,0875	0,1	0,0125
	36	35,95	36,00	35,90	35,95	35,95	0,05	0,1	0,005
	37	36,90	36,95	37,00	36,90	36,9375	0,0625	0,1	0,0075
	38	37,95	37,95	38,00	37,90	37,95	0,05	0,1	0,005
	39	38,95	38,90	38,95	39,00	38,925	0,075	0,1	0,005
	40	39,75	39,80	39,75	40,35	39,85	0,075	0,15	0,00867
$\sum_{i=1}^n (D_{расч.} - D_{округ.})^2$									
8.	40	39,95	39,90	39,85	40,00	39,925	0,075	0,15	0,00867
	41	40,85	40,95	40,90	40,95	40,9125	0,0875	0,1	0,015
	42	42,00	41,95	11,95	11,95	41,9625	0,0375	0,5	0,0025
	43	42,85	42,95	43,0	42,90	42,925	0,075	0,15	0,0167
	44	43,85	43,95	43,90	44,00	43,925	0,075	0,15	0,01167
	45	44,75	44,80	44,75	44,35	44,925	0,075	0,15	0,00867
$\sum_{i=1}^n (D_{расч.} - D_{округ.})^2$									

Примечание. 1. Для каждой серии измерений гидромеханических параметров частиц водных растворов и математической обработки полученных значений эффективного диаметра.

Более усовершенствованная конструкция аппарата для обработки сточных вод [11], используемая для проведения эффективности осветления имеет ряд преимуществ, отличающиеся от проведённых ранее исследований, состоит в следующем:

- весь объём сточных вод, подаваемых на осветление, разбит на четыре вертикально расположенные секции;
- предлагаемое направление движения сточных вод на осветление увеличивает производительность за счёт разделение потока сточных вод;

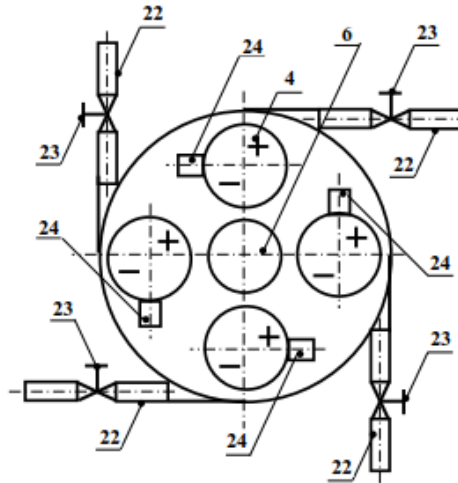


Рис. 2. Аппарат [8, пат. № 115710 Уа] вид сверху

4 – четыре вертикальные флотокамеры; 6 – труба реакционная;
22, 23 – четыре вертикальных, соответственно трубы и вентили ввода сточных вод на обработку;
24 – патрубок введения очищенной воды

Fig. 2. Apparatus for wastewater treatment [8, pat. № 115710 Ua] top view:

4 – four vertical float cameras; 6 – reaction pipe;
22, 23 – four vertical, respectively, pipes and valves for the introduction of wastewater for processing;
24 – nozzle for the introduction of purified water

Таблица 2. Эффективность обработки – осветления в вертикальных флотокамерах и аппарате для обработки сточных вод

Table 2. Processing efficiency – clarification in vertical flotation cells and wastewater treatment plant

№ п/п	Начальная концентрация C_0 , г/см ³	Эффективность обработки - осветления (согласно направлению и порядку прохождения сточных вод), %				Общая эффективность обработки - осветления, %
		I-я	II-я	III-я	IV-я	
1.	$4,25 \times 10^{-4}$	85,26	90,25	90,25	90,0	91-92,25
	$3,75 \times 10^{-4}$	85,55	89,25	91,25	91,25	91-93,25
2.	$4,15 \times 10^{-4}$	86,5	91,25	88,5	88,0	90-92,5
	$3,75 \times 10^{-4}$	87,75	89,25	91,25	91,25	91-92,5
3.	$4,1 \times 10^{-4}$	85,25	87,5	89,5	90,0	88,5-92,25
	$3,75 \times 10^{-4}$	86,5	89,25	91,25	91,25	89,5-93,25
4.	$4,05 \times 10^{-4}$	88,75	90,25	90,25	90,0	90,25-92,5
	$3,75 \times 10^{-4}$	89,75	89,25	91,25	91,25	91,5-92,5
5.	$4,3 \times 10^{-4}$	84,25	88,25	87,25	89,25	90,25-93,25
	$3,75 \times 10^{-4}$	83,75	89,25	91,25	91,25	90,5-92,5
6.	$4,25 \times 10^3$	84,5	91,25	88,5	88,0	91,25-92,5
	$3,75 \times 10^3$	85,25	89,25	91,25	91,25	88,5-92,25
7.	$4,15 \times 10^3$	87,25	87,5	89,5	90,0	89,5-93,25
	$3,75 \times 10^3$	89,5	89,25	91,25	91,25	90,25-93,25
8.	$4,1 \times 10^3$	89,75	90,25	90,25	90,0	90,5-92,5
	$3,75 \times 10^3$	91,75	88,75	90,25	90,25	90,0-92,5
9.	$4,2 \times 10^3$	88,75	89,75	89,25	91,25	91,25-94,25
	$3,75 \times 10^3$	89,75	84,25	88,25	87,25	89,25-91,0
10.	$4,05 \times 10^3$	84,25	83,75	89,25	91,25	91,25-93,25
	$3,75 \times 10^3$	85,5	87,75	89,75	90,25	90,5-92,5

Закключение. Таким образом, на эффективность обработки сточных вод, при осветлении в вертикальных флотокамерах и аппарате для обработки сточных вод, существенную роль играет количество (объёмы) обрабатываемых сточных вод.

Эффективность обработки сточных вод решается как конструктивно-технологическими мероприятиями, так, и технологическими.

В данном случае, в аппарате установлено четыре вертикальные флотокамеры. При этом определена

эффективность обработки сточных вод на каждом из этапов (вертикальных колонн), что позволяет определять эффективность обработки, т.е. осветлению сточных вод, согласно порядку прохождения сточных вод [%], в горизонтально установленных трубах для обработки сточных вод.

Составной частью, предлагаемых технологических решений, является обеспечение экологической безопасности обрабатываемых сточных вод. Эффективность осветления, играет немаловажное значение не только для сточных вод, но, и для чистой воды, используемой в сельскохозяйственном секторе.

ВЫВОДЫ:

1. Усовершенствована конструкция аппарата для обработки сточных вод, при использовании четырёх вертикальных флокомер, установленных в аппарате колонном электрофлокоагуляторе, что позволяет интенсифицировать процесс обработки сточных вод.

2. Результаты измерений гидромеханических параметров частиц водных растворов и математической обработки значений эффективного диаметра при исследовании процесса седиментации оптико-механическими системами, позволили получить значения эффективного диаметра, сгруппировать полученные значения по группам размерности и обработать с использованием математического аппарата.

3. Оптимизированы размеры частиц и эффективность очистки масел на коалесцирующем фильтре находятся, позволяет «улавливать» (очищать) концентрация масла в очищенной воде размером $2,25 \times 10^{-4}$ [г/см³], при начальной концентрации от 4×10^{-4} до 4×10^3 [г/см³] и размерах частиц в пределах 0,003-0,01 [см] оптимальный размер зёрен находится в пределах $\pm 15\%$,

4. Представленная технологическая схема с использованием аппарата для обработки сточных вод работает в нескольких технологических режимах, оптимальная схема движения стоков на обработку, выбирается с учётом технологических особенностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов-Данильян В.И. Потребление воды: экологические, экономические, социальные и политические аспекты / В.И. Данилов-Данильян, К.С. Лосев; Ин-т водных проблем РАН. – М.: Наука, 2006. – 221 с.

2. Урецкий Е.А., Николенко И.В., Мороз В.В. Разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий утилизации отходов сточных вод производств защитных покрытий и печатных плат / Е.А. Урецкий, И.В. Николенко, В.В. Мороз. – Москва : РУСАЙНС, 2022. – 172 с.

3. Бутко Д.А. Теоретические аспекты систем обработки сбросных вод скорых фильтров /

Д.А. Бутко. // Строительство и техногенная безопасность.– 2023. - №30(82). - С. 67-74.

4. Повышения эффективности осветления сточной воды на очистных водопроводных сооружениях / Г.А. Кузьмина, А.М. Молодяков // Водоснабжение и сан. техника. 2005. №9. С. 9.

5. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. – М., 2005. - 576 с.

6. Бусарев А.В., Шешегова И.Г. Очистка природных источников от нефтепродуктов в адсорбционных фильтрах / А.В. Бусарев, И.Г. Шешегова // Яковлевские чтения-2023. Системы водоснабжения и водоотведения. Современные проблемы и решения [Электронный ресурс] : сб. докл. участников XVIII Межд. науч.-техн. конф. памяти академика РАН С.В. Яковлева (НИУ МГСУ, Москва 16-17 марта 2023 г.): / Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, институт инженерно-экологического строительства и механизации. Москва: Изд-во МИСИ – МГУ, 2023. – С. 29-33.

<https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkrdostupa/>.- Загл. с титул. экрана. ISBN 978-5-7264-3245-8

7. Водоснабжение / А.Я. Найманов, С.Б. Никиша, Н.Г. Насонкина, Н.П. Омельченко, В.Н. Маслак, Н.И. Зотов, А.А. Найманова // ООО «Норд Компьютер», Макеевка. - 2006. – 654 с.

8. Федеральный закон от 07.12.2011 № 416-ФЗ "О водоснабжении и водоотведении". https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_122867/ee8aa46fa56094d78ddbdb70169c8e32d74c558b/

9. Инновационные технологии использования воды и водных ресурсов в системах оборотного водоснабжения(FRRS 2023-0039) (промежуточный, этап 1): отчёт НИР / ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет»; науч. рук. С.И. Мовчан; - Мелитополь, 2023 г. – 59 с.

10. Электрокоагулятор: патент №112945 Уа. МПК⁷ (2006.01) C02F1/46. Заявка № и 201605337 / С.И. Мовчан. - Заявл. 17.05.2016, опубл.10.01.2017, Бюл. № 1. 9 с.

11. Аппарат для обработки сточных вод: патент №115710 Уа. МПК⁷ (2006.01) C02F1/46. Заявка № и 201611177 / С.И. Мовчан. - Заявл. 07.11.2016, опубл. 25.04.2017, Бюл. № 8. 9 с.

12. Бунина Л.Н., Николенко И.В., Мовчан С.И. Усовершенствовании и исследование конструкции аппарата очистки сточных вод при осветлении / Л.Н. Бунина, И.В. Николенко, С.И. Мовчан // Строительство и техногенная безопасность. – 2023. - №28(80). - С. 53-60.

<https://stroyjournal-asa.ru/index.php/asa/issue/download/79/74>

13. Артамонов В.В. Процеси і апарати технології водоочистки: Навч. посібник / В.В. Артамонов, Т.В. Вижевська. – Рівне: РДТУ, 1999. – 127 с.

14. Николенко И.В., Мовчан С.И. Условия формирования и реализации процессов обработки сточных вод в системах оборотного водоснабжения

// Известия вузов. Строительство. 2024. № 1. С. 58-68.

15. Мовчан, С.И. Использование регентов в технологии обработки сточных вод гальванического производства / С.И. Мовчан // Журнал «Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры». Строитель Донбасса. №1(26)-2024. С. 22- 29. ISBN 2617-1848

16. Николенко И.В., Мовчан С.И. Интенсификация ресурсосберегающих технологий использования воды при обработке сточных вод промышленных предприятий // Водоснабжение и санитарная техника, 2024. №8. С. 30-42. DOI: 10.35776/VSI.2024.08.

17. Мовчан, С.И. Осветление сточных вод в локальном водоочистном оборудовании систем оборотного водоснабжения /С.И. Мовчан // Строительство и техногенная безопасность.– 2024. - № 35(87). - С. 73-83.

18. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024625210 Ru. База данных геометрических размеров и показателей эффективности при осветлении очистки частиц масел на коалесцирующем фильтре аппаратов напорной флотации-коагуляции / Мовчан С.И., Бунина Л.Н. // Дата регистрации 15.11.2024. Номер заявки 2024622919. Дата поступления 08.07.2024. Дата публикации 15.11.2024. Бюл. № 11.

19. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025621627 Ru. База данных показателей эффективности осветления сточных вод на коалесцирующем фильтре аппаратов напорной флотации-коагуляции / Мовчан С.И., Бунина Л.Н. // Дата регистрации 14.04.2025. Номер заявки 2024625974. Дата поступления 11.12.2024. Дата публикации 14.04.2025. Бюл. № 4.

REFERENCES

1. Danilov-Danilyan V.I. Water consumption: environmental, economic, social and political aspects / V.I. Danilov-Danilyan, K.S. Losev; Institute of Water Problems RAS. – М.: Nauka, 2006. – 221 p.

2. Uretsky E.A., Nikolenko I.V., Moroz V.V. Development and implementation of resource-saving technologies for recycling waste water from the production of protective coatings and printed circuit boards / E.A. Uretsky, I.V. Nikolenko, V.V. Freezing. – Moscow: RUSAINS, 2022. – 172 p.

3. Butko D.A. Theoretical aspects of treatment systems for waste water of rapid filters / D.A. Butko. // Construction and industrial safety. Scientific and technical journal on construction and architecture. – 2023. - № 30(82). - P. 67-74.

4. Increasing the efficiency of wastewater clarification at water treatment facilities / G.A. Kuzmina, A.M. Molodyakov // Water supply and sanitation. technique. 2005.№ 9. P. 9.

5. Draginsky V.L., Alekseeva L.P., Getmantsev S.V. Coagulation in natural water purification technology. – М., 2005. - 576 p.

6. Busarev A.V., Sheshhegova I.G. Purification of natural sources from petroleum products in adsorption filters / A.V. Busarev, I.G. Sheshhegova // Yakovlev Readings-2023. Water supply and wastewater systems. Modern problems and solutions [Electronic resource]: collection of reports of participants of the XVIII International Scientific and Technical Conference in memory of Academician of the Russian Academy of Sciences S.V. Yakovleva (National Research University MGSU, Moscow March 16-17, 2023): / Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. National Research Moscow State University of Civil Engineering, Institute of Engineering and Environmental Construction and Mechanization. Electron. Dan. and prog. (4.9 MB). Moscow: Publishing house MISS – MSU, 2023. – pp. 29-33. <https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkrdstupa/>.- Загл. с титул. экрана. ISBN 978-5-7264-3245-8 https://library.ru/publisher_about.asp?pubsid=1474

7. Water supply / A.Ya. Naimanov, S.B. Nikisha, N.G. Nasonkina, N.P. Omelchenko, V.N. Maslak, N.I. Zotov, A.A. Naimanova // Nord Computer LLC, Makeevka. - 2006. – 654 p.

8. Federal Law of December 7, 2011 No. 416-FZ “On Water Supply and Sanitation”.

https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LA_W_122867/ee8aa46fa56094d78ddb70169c8e32d74c558b/

9. Innovative technologies for the use of water and water resources in recycling water supply systems (FRRS 2023-0039) (interim, stage 1): research report / Federal. state budget education establishment higher images "Melitopol State University" (Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Mel State University"); hands S.I. Movchan; performer I.V. Nikolenko and others; - Melitopol, 2023 – 59 p.

10. Electrocoagulator: patent No. 112945 Ua. IPC⁷ (2006.01) C02F1/46. Application No. u 201605337 / S.I. Movchan. - Application 05/17/2016, published 01/10/2017, Bulletin.№ 1. 9 p.

11. Apparatus for wastewater treatment: patent No. 115710 Ua. IPC⁷ (2006.01) C02F1/46. Application No. u 201611177 / S.I. Movchan. - Application 07.11.2016, publ. 04/25/2017, Bulletin. № 8. 9 p.

12. Bunina L.N., Nikolenko I.V., Movchan S.I. Improvement and study of the design of wastewater treatment apparatus for clarification / L.N. Bunina, I.V. Nikolenko, S.I. Movchan // Construction and industrial safety. Scientific and technical journal on construction and architecture. – 2023. - № 28(80). - P. 53-60.

<https://stroyjournal-asa.ru/index.php/asa/issue/download/79/74>

13. Artamonov V.V. Processes and equipment of water treatment technology: Basic. Pos_bnik / V.V. Artamonov, T.V. Vizhevskaya. – Rivne: RDTU, 1999. – 127 p.

14. Nikolenko I.V., Movchan S.I. Conditions of formation and implementation of processes of treatment of wastewater in the systems of circulating water supply // Izvestia universities. Construction. 2024. 1. p. 58-68.

15. Movchan, S. I. Use of reagents in the technology of treatment of waste water from galvanic production/ S. Movchan // Journal «Bulletin of Donbas National Academy of Construction and Architecture». Builder of Donbass. 1(26)-2024. S. 22- 29. ISVN 2617-1848

16. Nikolenko I.V., Movchan S.I. Intensification of resource-saving technologies for water use in wastewater treatment of industrial enterprises // Water supply and sanitation, 2024. 8. С. 30-42. DOI: 10.35776/VSI.2024.08.

17. Movchan, S.I. Wastewater clarification in local water treatment equipment of circulating water supply systems /S.I. Movchan // Construction and technological safety. Scientific and technical journal on construction and architecture. - 2024. - No. 35 (87). - P. 73-83.

18. Certificate of state registration of the database No. 2024625210 Ru. Database of geometric dimensions and performance indicators for clarification of oil particle purification on the coalescing filter of pressure flotation-coagulation devices / Movchan S.I., Bunina L.N. // Date of registration 11/15/2024. Application number 2024622919. Date of receipt 07/08/2024. Date of publication 11/15/2024. Bulletin No. 11.

19. Certificate of state registration of the database No. 2025621627 Ru. Database of performance indicators for wastewater clarification on the coalescing filter of pressure flotation-coagulation devices / Movchan S.I., Bunina L.N. // Date of registration 14.04.2025. Application number 2024625974. Date of receipt 11.12.2024. Date of publication 14.04.2025. Bulletin No. 4.

SEWAGE TREATMENT IN LOCAL WATER TREATMENT EQUIPMENT WATER RECYCLING SYSTEMS

Movchan S.I.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Melitopol State University"

Address: Zaporozhye region, Melitopol, B. Khmelnytsky Ave., 18

E-mail: msi.movchan@gmail.com

Abstract. The issues of technical support for the process of wastewater clarification during the treatment of wastewater from industrial enterprises on local technological equipment with a capacity of 1-10 m³/hour are considered. The presented technological scheme and equipment, research in the circulating water supply system of the engine testing shop area, allows for wastewater treatment along various technological lines, in several modes and parameters with different contamination compositions and constant monitoring of the treated wastewater, according to the main indicators.

Wastewater clarification is carried out using a technological scheme, including pressure electroflotocoagulation in devices for local wastewater treatment using several technological lines and modes. The incoming processing water is collected in a receiving collector, undergoing processing in a wastewater treatment apparatus, and is processed in several modes along its own technological lines. Water samples are monitored (sampled) at all stages of clarification. To intensify the clarification process, a reaction pipe is installed in the center of the apparatus. The use of a saturator installed outside the apparatus helps to increase the degree of intensification of clarified waters.

The use of local equipment in recycling water supply systems aimed at wastewater clarification is based on a new set of design and technological solutions that provide a greater degree of wastewater clarification. Further mathematical processing of the obtained results makes it possible to optimize the clarification process itself, reduce water treatment costs and ensure the environmental safety of water bodies.

Subject: patterns and features of the process of wastewater clarification in devices for local wastewater treatment of industrial enterprises.

Material and methods: The work used methods of mathematical and physical modeling of hydrodynamic processes, and the obtained results of experimental studies were processed using known methods, by comparing the numerical result with the data of industrial research using methods of mathematical statistics.

Results: A technological scheme for clarification of wastewater using pressure electroflotation coagulation devices using local wastewater treatment devices used in recycling water supply systems has been developed and tested. The used technological scheme for the movement of wastewater for treatment in pressure electroflotation-coagulation and pressure flotation apparatus, which allows increasing the degree of wastewater clarification, optimizing the processing time and the resulting technological parameters for wastewater clarification.

Key words: water deficit, clarification, wastewater, coalescing filter, initial concentration, filtration grains, hydraulic fineness, pressure flotation devices, recycling water supply systems, hydrodynamic processes

The work was carried out within the framework of the state assignment for the provision of public services (performance of work) № 075-03-2025-418 om 17.01.2025 г. No 075-00663-24-03 dated May 14, 2024 «Innovative technologies for the use water and water resources in recycling water supply systems (FRRS 2023-0039)»

УДК 628.179.34

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК В СИСТЕМЕ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Крымов Р.С.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,
Институт биохимических технологий, экологии и фармации,
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181
E-mail: kelt_roman@mail.ru

Аннотация. Система подачи и распределения воды (СПРВ) нередко сталкивается с проблемой утечек, которые создают риски для бесперебойного водоснабжения населения. При этом традиционные методы диагностики зачастую не позволяют выявить утечки до появления явных последствий. В рамках данного исследования разработана модель машинного обучения, предназначенная для раннего обнаружения утечек в СПРВ. Для формирования обучающей выборки было проведено гидравлическое моделирование с использованием геоинформационной системы ZuluGIS. В процессе моделирования учитывались: динамика потребления воды пользователями; возможные искажения и помехи в данных; различная интенсивность утечек и другие значимые факторы.

Предмет исследования. Надежность функционирования городских водопроводных систем с учётом топографических особенностей.

Материалы и методы исследования: Проведен анализ технического состояния трубопроводов СПРВ ГО Ялта. Исследована модель машинного обучения (ММО) для обнаружения утечек в СПРВ ГО Ялта. Данные о давлении воды в условиях утечек и отсутствия утечек были получены с помощью геоинформационной системы ZuluGIS с учетом таких факторов, как меняющиеся требования пользователей, помехи в данных, степень утечек и т.д. Модель искусственной нейронной сети для обнаружения утечек (ИНС-ОУ) построена на данных о давлении воды в узлах мониторинга. Ключевое отличие от существующих подходов заключается в том, что вместо анализа временных рядов модель выявляет пространственные взаимосвязи между показаниями давления в разных узлах в текущий момент времени.

Результаты. Проведённые исследования показали, что искусственная нейронная сеть (ИНС) способна с высокой точностью различать два состояния системы — наличие или отсутствие утечки. Однако для эффективной работы модели критически важен сбалансированный набор данных, включающий примеры обоих сценариев. В реальных условиях это представляет сложность, поскольку СПРВ преимущественно функционирует в штатном режиме, и случаи утечек относительно редки. Исследование также выявило зависимость точности моделей от местоположения утечки: при возникновении утечек в зоне действия датчиков модели демонстрируют высокую точность; за пределами зоны мониторинга датчиков точность прогнозирования существенно снижается. Полученные результаты позволяют сформулировать рекомендации по оптимальному размещению датчиков мониторинга, обеспечивающие необходимый охват контролируемой территории.

Выводы. Модели искусственных нейронных сетей в сочетании с анализом данных — многообещающее решение для своевременного и надёжного обнаружения утечек. Ключевой аргумент: характер распределения давления воды и его изменения при утечке определяются структурой сети водоснабжения Южного берега Крыма. Благодаря этому можно эффективно мониторить состояние городских водопроводных систем и оперативно реагировать на неисправности.

Ключевые слова: система подачи и распределения воды, утечки, искусственные нейронные сети, надежность.

ВВЕДЕНИЕ

Система водоснабжения обеспечивает одну из самых важных услуг для населения. Однако из-за ухудшения состояния сети подземных водопроводов каждый год теряется большое количество воды, что в основном остается незамеченным. Утечки могут быть вызваны многими факторами, такими как коррозия труб, старение, дефекты и неправильный монтаж [1]. Утечки воды часто могут оставаться незамеченными в течение длительного периода времени, что приводит к большим потерям воды. Процент потерь воды из-за утечек варьируется в зависимости от региона, и, по оценкам, в среднем он составляет до 62% от общего объема. В большинстве водоканалов принято восстанавливать трубы после непосредственного обнаружения утечек [2], в то время как многие небольшие утечки остаются незамеченными до тех пор, пока

повреждения не проявятся в виде кавитации грунта и т.д.

Разработка технологий обнаружения утечек и прогнозирования отказов водопроводных труб открывает перед управляющими организациями возможность формирования превентивных стратегий, обладающих существенными социально-экономическими преимуществами. В научной практике усилия по выявлению утечек традиционно систематизируются в пять категорий:

- визуально-ориентированные методы;
- методы на базе датчиков и измерительных инструментов;
- подходы, анализирующие временные характеристики;
- модели-ориентированные решения;
- data-driven методы [2].

При этом первые две группы требуют применения специализированного мобильного инспекционного оборудования, оснащённого

оптическими, акустическими или электромагнитными датчиками [2, 3, 4]. Подобные решения характеризуются высокой стоимостью и значительной трудоёмкостью реализации.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

С развитием систем диспетчерского управления и сбора данных (SCADA) стали доступны данные мониторинга давления и/или расхода воды в режиме реального времени, которые могут быть собраны для обнаружения и локализации утечек [3, 4, 5]. Исследования показали, что данные, получаемые от контролируемых акустических датчиков, подвержены существенному влиянию фонового шума, а также ограничены по дальности передачи сигнала [5, 6]. В качестве альтернативного подхода предлагается анализ данных о давлении воды, регистрируемых в районных диспетчерских пунктах. Эти данные могут быть обработаны с применением современной модели ММО для выявления потенциальных утечек — при этом используются исторические данные. Комбинированное применение данного метода с традиционными подходами (визуальным осмотром и приборным контролем) обеспечивает высокую точность локализации места утечки. Для обнаружения утечек были разработаны различные алгоритмы ММО, например ИНС и полнофункциональная DensNet [1-3, 5]. Выявление утечек и порывов водопроводных сетей нередко осуществляется посредством сопоставления прогнозируемых показателей (потребности в воде или давления в узлах) с фактическими данными по водопотреблению и давлению [4, 6].

Современные алгоритмы машинного обучения (ММО) для обнаружения утечек обычно включают три типа моделей:

- классификационную;
- прогнозирования-классификации;
- статистическую [7].

Каждая из них имеет свои достоинства и ограничения.

Классификационная модель базируется на методах управляемого обучения и требует обширных наборов данных — как для штатных режимов работы, так и для сценариев с утечками. Однако на практике данные по утечкам зачастую дефицитны.

Метод прогнозирования-классификации относится к неконтролируемым подходам ММО и может обучаться исключительно на данных нормальной эксплуатации системы.

В ряде исследований были разработаны и протестированы алгоритмы машинного обучения на основе искусственных нейронных сетей и сетей с автоэнкодером. Их оценка на модельных данных показала приемлемую точность результатов [5, 6, 7].

Точность статистической модели ММО зависит от уровня неопределенности. Для решения этой важной проблемы в данной статье была рассмотрена модель машинного обучения на основе данных ММО для мониторинга утечек в СПРВ ГО Ялта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Водоснабжение ГО Ялта построено по принципу территориального зонирования (организованы технологические зоны водоснабжения). Существует 6 зон с гидростатическим шагом зонирования около 60 м. В каждой из зон имеются насосные станции, РЧВ и система распределения воды (рис.1).



Рис. 1. Территория, на которой эксплуатируются объекты ВС и ВО ВК Ялта.
Fig. 1. The territory where the facilities of the Yalta Military Industrial Complex are operated.

Услугами централизованного водоснабжения пользуются 99,8% постоянного населения Большой Ялты.

Протяженность водоводов и водопроводных сетей составляет около 670 км, в том числе нуждающихся в замене более 460 км. Амортизационный уровень износа водопроводных сетей составляет 70 %, что приводит к аварийности, достигающей 2 аварии/км год. Доля

нереализованной воды достигает 55 % по отношению к подаче воды.

Большая часть распределительных сетей выполнена из стальных и чугунных труб, трубопроводы из полимерных материалов, обладающих лучшими на сегодняшний день эксплуатационными характеристиками, составляют 5% (рис.2).

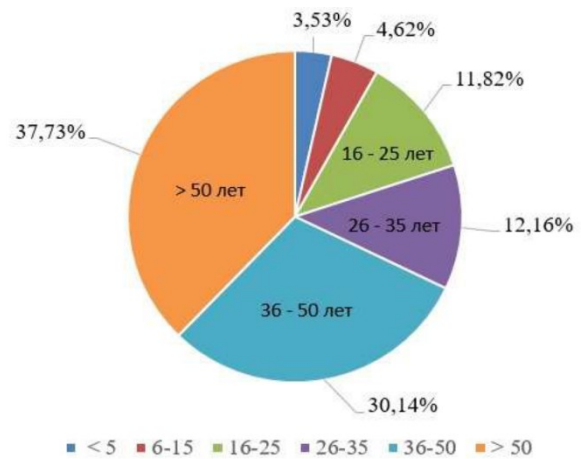
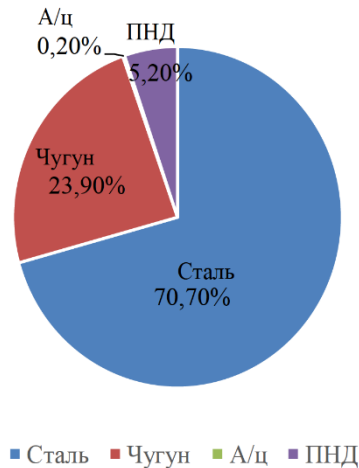


Рис.2. Водопроводная сеть с разбивкой по материалу труб и сроку эксплуатации.

Fig.2. The water supply network is broken down by pipe material and service life.

Высокая степень износа водопроводной сети приводит: к высоким физическим потерям воды в распределительной системе; к значительным затратам на ликвидацию повреждений; к ухудшению качества транспортируемой воды.

Значительная часть утечек воды вследствие образования свищей носит скрытый характер, что требует дополнительного времени на их выявление, а также значительных средств на их ликвидацию.

Высокая аварийность на водопроводных сетях обусловлена не только степенью износа. Негативное влияние на эксплуатацию сети оказывает сложный гидравлический режим работы, связанный с гористым рельефом местности и неполным зонированием сети по давлению, в результате чего давление в низовых участках сети составляет 10 кгс/см².

Для анализа СПРВ ГО Ялта в работе использовалась методика имитационного гидравлического моделирования. Эффективность данной методики, основанной на данных, в значительной степени зависит от наличия исторических данных. Поскольку данные о реальной СПРВ в настоящее время не доступны, для получения данных, используемых в данном исследовании, используются имитационные данные с помощью сертифицированной в отрасли геоинформационной системы ZuluGIS.

Гидравлические модели — стандартный инструмент для расчёта давления, напора и скорости потока при проектировании водопроводных сетей. Хотя они хорошо зарекомендовали себя в планировании

эксплуатации инфраструктуры [8, 9], реальные условия (колебания потребления, старение труб) вносят неопределённость в их прогнозы.

Важное преимущество откалиброванных гидравлических моделей — возможность создавать искусственные данные. Эти данные критически важны для:

- обучения алгоритмов ММО, выявляющих утечки;
- проверки их работоспособности.

Таким образом, гидравлическая модель становится не только инструментом проектирования, но и платформой для развития интеллектуальных систем мониторинга [10].

Уравнение (1) гидравлической модели базируется на фундаментальном принципе сохранения массы. Для узла трубопровода это означает: если нет утечек, то сколько воды пришло (приток), столько и должно уйти (отток). Отток складывается из двух составляющих: вода, использованная непосредственно в этом узле (потребность); вода, направленная из этого узла в соседние участки сети и определяется по формуле:

$$\sum_{Tr \in Tn} q_{m,n} - Q_{факт}^n = 0 \quad (1)$$

где Tn - количество труб, подсоединённых к узлу n ; $q_{m,n}$ - объём воды (в м³/с), поступающий в узел из трубы; $Q_{факт}$ - реальная потребность узла в воде (м³/с), N - количество узлов во всей трубопроводной сети.

Важно: значение $q_{m,n}$ положительно, если вода течёт из трубы Tr в узел n , и отрицательно — если направление потока обратное.

Для расчета водопотребления в узлах трубопроводов обычно используются два основных типа моделей: модель, основанная на водопотреблении, и модель, основанная на давлении. Сравнение обеих моделей описано в [11]. В данном исследовании используется модель водопотребления, зависящая от давления, для учета последствий потери давления из-за изменения водопотребления или утечек.

$$D = \begin{cases} 0 & p \leq P_0 \\ D_f \left(\frac{p - P_0}{P_f - P_0} \right)^{1/2} & P_0 \leq p \leq P_f \\ D_f & p > P_f \end{cases} \quad (2)$$

где D - водопотребление в конкретном узле, D_f - требуемое водопотребление ($\text{м}^3/\text{с}$), p - давление воды, P_f - давление, выше которого должна быть удовлетворено требуемое водопотребление D_f , P_0 - давление воды, ниже которого вода в узле подаваться не будет. В данном исследовании утечка моделируется как особый тип потребности в воде. Потребность, возникающая в результате утечки, зависит от размера утечки и описывается в уравнении [12].

$$q_{\text{экт}} = C_q w p^\delta \sqrt{\frac{2}{\rho}} \quad (3)$$

где $q_{\text{экт}}$ — это эквивалентный расход воды из-за утечки, в $\text{м}^3/\text{с}$; C_q - коэффициент расхода, равен 0,75, w - площадь образовавшейся утечки, м^2 ; p - давление воды внутри трубы, м ; δ - экспоненциальный показатель, для стальных труб равный 0,5; и ρ - плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$. Реализация модели выполнена в сертифицированном ПО ZuluGIS, предназначенном для гидравлического моделирования сетей питьевого водоснабжения (СПРВ).

Искусственная нейронная сеть (ИНС, *Artificial Neural Network*, ANN) представляет собой модель машинного обучения с управляемым обучением. Её архитектура состоит из взаимосвязанных нейронов, организованных во входные, скрытые и выходные слои. Производительность ИНС напрямую зависит от числа слоёв и количества нейронов в каждом из них [12, 13].

Увеличение числа нейронов и скрытых слоёв повышает способность модели улавливать сложные нелинейные зависимости, однако одновременно:

- возрастает вычислительная сложность;
- повышается риск переобучения модели.

В рамках данного исследования оптимальная архитектура ИНС была определена посредством процесса оптимизации. Итоговая модель включает:

- один входной слой (1 нейрон, соответствующих числу входных признаков);

- три скрытых слоя (обеспечивают моделирование сложных нелинейных взаимосвязей, корректируемых на обучающих данных);

- один выходной слой (единственный нейрон для бинарной классификации: «протекает» / «не протекает»).

Скрытые слои состоят из полностью подключённых нейронов, а выходные значения каждого нейрона рассчитываются по определённому алгоритму и установленной формуле:

$$y_k = f \left(\sum_{r=1}^l x_{r,k} \omega_{r,k} + b \right) \quad (4)$$

где y_k - выходной нейрон скрытого слоя; $x_{r,k}$ - входные данные: для первого слоя — исходные выборки, для остальных — выходы предыдущего слоя; $\omega_{r,k}$ - весовой коэффициент связи от входа к нейрону; b - параметр смещения нейрона.

Параметры $\omega_{r,k}$ и b настраиваются в процессе обучения с использованием алгоритма обратного распространения ошибки на основе обучающих данных.

Нелинейные свойства сети обеспечиваются функцией активации $f(\cdot)$. В данном исследовании в скрытых слоях применяется функция линейного блока, что позволяет усилить нелинейные характеристики при прямом распространении сигнала.

$$f(x) = \max(0, x) \quad (5)$$

Данные с выхода последнего скрытого слоя передаются на входные узлы выходного слоя. Ниже приведён алгоритм работы нейронов этого слоя.

$$y_z = g(y_k \omega + b) \quad (6)$$

Для нейронов выходного слоя:

- входные данные: y_k (выходы последнего скрытого слоя);

- выходные данные: y_z ;

- параметры: ω (вес), b (смещение);

- функция активации: $g(\cdot)$ (касательная сигмовидная).

Расчёт выхода y_z выполняется по формуле, использующей указанные параметры и нелинейную передаточную функцию.

$$g(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1 \quad (7)$$

В процессе обучения ИНС выявляет и формализует взаимосвязь между входными и выходными данными. Конечная цель — построение классификатора, способного разграничивать два состояния системы: наличие утечки и отсутствие утечки. Дополнительные математические детали, касающиеся архитектуры и функционирования ИНС, представлены в источнике [14].

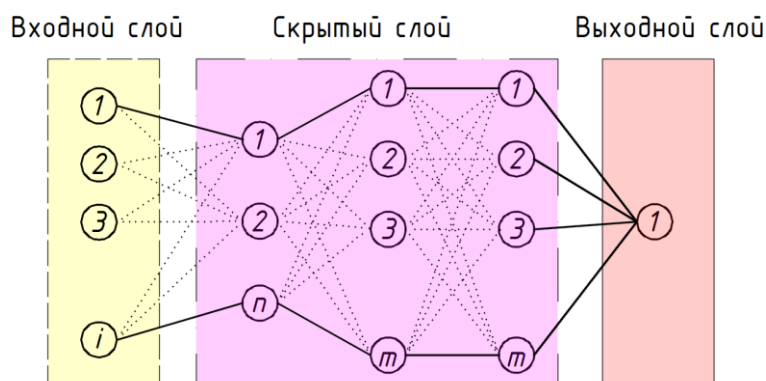


Рис.3. Оптимальная архитектура ИНС для прогнозирования скрытой утечки
Fig.3. Optimal ANN architecture for predicting hidden leakage

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Разработана ИНС-ОУ -модель для обнаружения утечек. Входными данными служат показания давления воды в узлах мониторинга.

Ключевые отличия от существующих решений:

- вместо анализа временных рядов используется оценка пространственных связей между узлами;
- анализ выполняется для текущего момента времени.

Модель создана и обучена в MathWorks MATLAB R2023b. Оптимизация архитектуры привела к конфигурации: 1 входной слой + 3 скрытых слоя + 1 выходной слой.

Входной слой содержит 15 нейронов, соответствующих 15 отслеживаемым узлам.

Задача модели ИНС-ОУ — бинарная классификация состояний зоны мониторинга (утечка / отсутствие утечки). Поскольку ИНС-ОУ относится к методам контролируемого обучения, входные данные должны быть размечены до начала обучения.

Используемый обучающий набор содержит 1 720 трубопроводных участков водопроводной сети ГО Ялта: 530 — без утечек; 1 190 — с утечками.

Образцы без утечек выбираются случайным образом из смоделированного набора данных без утечек и помечаются как 0. Процесс подготовки данных включал следующие этапы:

1. Формирование выборки с утечками: случайный отбор записей из набора смоделированных данных об утечках с маркировкой 1.

2. Генерация наборов данных: создание двух групп (с утечками/без утечек) по регламентированным процедурам.

3. Стандартизация: преобразование каждой строки данных к нормальному распределению ($\mu = 0, \sigma^2 = 1$) для: сокращения времени вычислений; предотвращения переобучения.

4. Разделение данных: случайная разбивка размеченного набора (1 720 записей) на: обучающие данные (1 204 набора); тестовые данные (516 наборов).

Преимущества стандартизации детализированы в [15].

Обученная модель ИНС-ОУ показала безупречные результаты на тестовых данных. При проверке на 306 трубопроводах (156 без утечек и 150 с утечками) модель не допустила ни одной ошибки, достигнув 100 %-й точности.

Это подтверждает:

1. Существование явных различий в распределении давления между узлами при наличии и отсутствии утечек.

2. Способность ИНС-ОУ выявлять и использовать эти различия для безошибочной классификации состояний системы.

Таким образом, модель демонстрирует потенциал для надёжного мониторинга утечек в реальных условиях.

Модель ИНС-ОУ продемонстрировала высокую эффективность благодаря использованию данных о давлении воды в множестве узлов сети. Однако, будучи контролируемой моделью машинного обучения (ММО), она предъявляет жёсткое требование к обучающим данным — их сбалансированность: объёмы данных для нормальных условий и условий утечки должны быть сопоставимы.

В реальных условиях это требование зачастую невыполнимо: данные об утечках обычно представлены в ограниченном количестве по сравнению с данными о штатной работе системы.

Кроме того, процесс разметки данных (отнесение наблюдений к классам «утечка»/ «без утечки»), аналогичный подходу, описанному в [15], на практике сопряжён со значительными сложностями. Основная проблема заключается в том, что утечки зачастую удаётся выявить лишь после проявления их последствий, что затрудняет своевременную и точную маркировку данных.

Гистограмма на рисунке 4 наглядно иллюстрирует различия в точности восстановления данных по трём сценариям, анализируемым моделью ИНС-ОУ. Каждый цветной прямоугольник отражает диапазон ошибок восстановления, охватывающий 96,2 % наблюдений.

Основные наблюдения:

- В штатном режиме (без утечек) модель демонстрирует высочайшую точность:

подавляющее большинство ошибок (96,2 %) не выходит за пределы 0,00015.

- Этот показатель значительно превосходит результаты для сценариев с утечками.
- Наихудшая точность восстановления зафиксирована при утечке внутри зоны мониторинга — здесь ошибки достигают максимальных значений.

Таким образом, визуализация чётко демонстрирует влияние наличия и локализации утечки на качество восстановления данных.

Оценка эффективности ИНС-ОУ проводилась в условиях моделирования утечек на каждом из трубопроводов. Для каждого трубопровода сформированы независимые наборы данных, включающие: 1 500 случаев отсутствия утечек; 1 500 случаев наличия утечек.

Данные о давлении в зоне мониторинга подавались на вход предварительно обученной ИНС-ОУ.

На рисунке 5 представлены ключевые показатели вероятности срабатывания системы оповещения об утечке — то есть доля случаев, в которых ошибка восстановления превысила

установленный порог, для каждого сценария утечки в трубе СПРВ ГО Ялта.

Рисунок 5а показывает, что вероятность ложного срабатывания сигнализации (в условиях отсутствия утечки) крайне низка и не превышает 3 %.

Рисунок 5б демонстрирует вероятность корректного срабатывания оповещения при наличии утечки в каждой трубе. В случае локализации утечки в зоне мониторинга вероятность срабатывания сигнализации варьируется от 65 % до 100 %.

При локализации утечки за пределами зоны мониторинга наблюдается существенное снижение вероятности срабатывания системы оповещения — для большинства участков этот показатель составляет менее 50 %.

Проведённые наблюдения позволяют сделать вывод: модель ИНС-ОУ способна эффективно выявлять утечки, опираясь на данные мониторинга давления воды. Однако для обеспечения глобального мониторинга и достижения высокой надёжности обнаружения утечек необходимо стратегическое размещение датчиков в системе питьевого водоснабжения городского округа Ялта (СПРВ ГО Ялта).

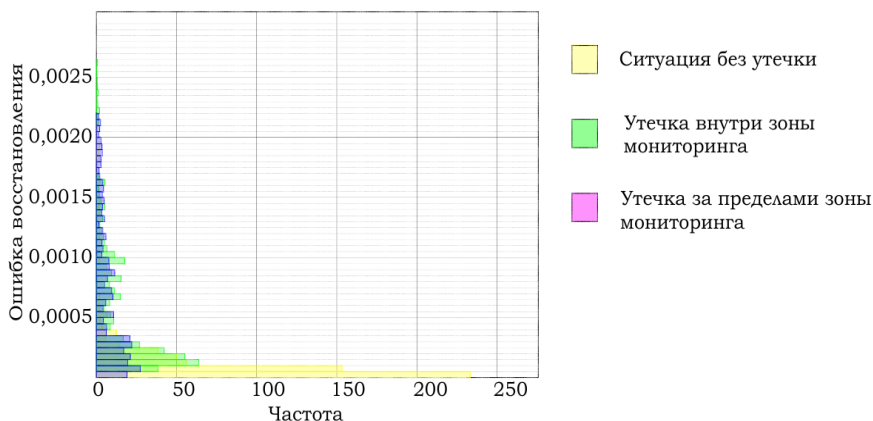


Рис. 4. Ошибка восстановления в модели ИНС-ОУ данных при нормальных условиях (отсутствие утечки) и при наличии утечки

Fig. 4. Recovery error in the ANN-LD data controller under normal conditions (no leakage) and in the presence of leakage

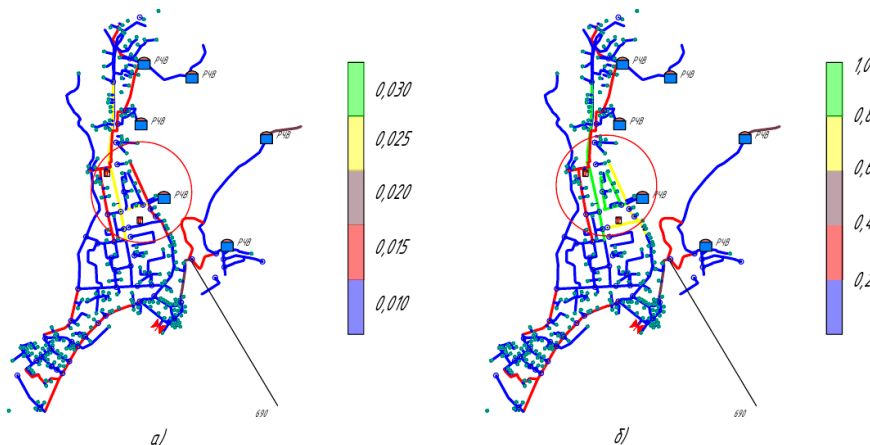


Рис.5. Вероятность ложного срабатывания модели ИНС-ОУ (указание на утечку) для отдельной трубы в сети СПРВ ГО Ялта: а) при отсутствии реальной утечки, б) в случае утечки

Fig.5. The probability of false triggering of the ANN-LD model (indicating a leak) for a separate pipe in the Yalta WSN: а) in the absence of a real leak, б) in the event of a leak

Размер утечки является еще одним важным фактором, влияющим на производительность системы обнаружения. По сути, обнаружить небольшую утечку гораздо сложнее, чем крупную, поскольку меньшая утечка оказывает меньшее влияние на состояние СПРВ и может быть перекрыта из-за колебаний водопотребления. Для исследования чувствительности размер утечки варьируется от $0,01 \text{ м}^3$ до $0,12 \text{ м}^3$.

Для каждой комбинации трёх исследуемых факторов проводилась оценка эффективности модели. В качестве исходных данных использовались два набора:

- смоделированные данные о возникновении утечки в трубе 125 (в зоне мониторинга);

- данные, соответствующие штатному режиму работы (без утечек).

Данные подвергались случайному распределению для обеспечения независимой проверки результатов. Итоговая точность определялась как среднее значение, полученное по итогам трёхкратной кросс-валидации.

На рисунке 6 представлена зависимость точности обнаружения утечек в моделях ИНС-ОУ от трёх параметров: степени сжатия данных; уровня неопределённости в потреблении воды; размеров утечек.

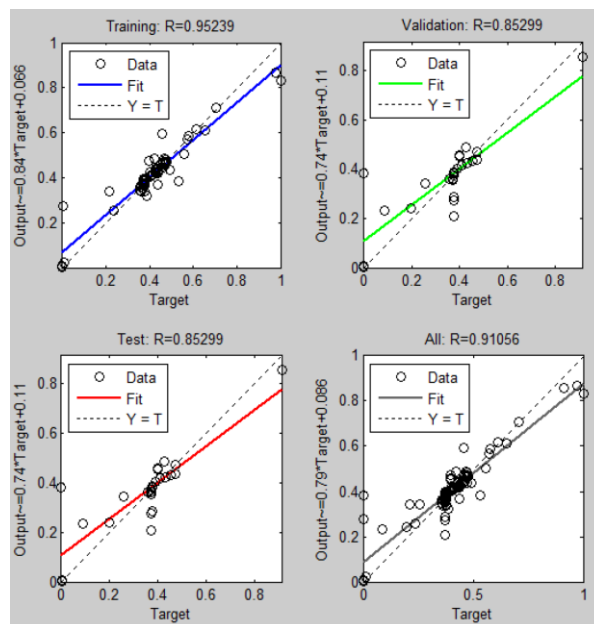


Рис.6. Регрессионные графики точности обнаружения утечек
Fig.6. Regression graphs of leak detection accuracy

Согласно данным, представленным на рисунке 6, модель ИНС-ОУ демонстрирует точность, приближающуюся к 100 %, в условиях низкой неопределённости водопотребления.

При фиксированном размере утечки наблюдается обратная зависимость между уровнем неопределённости расхода воды и точностью обнаружения утечек с использованием ИНС-ОУ. В частности, при возрастании неопределённости расхода с $0,001 \text{ л/с}$ до $0,015 \text{ л/с}$ точность модели снижается с 95 % до 85,299 %.

Важно отметить, что даже в условиях высокой неопределённости расхода (в сравнении с базовым показателем $0,012 \text{ л/с}$) модель ИНС-ОУ сохраняет приемлемый уровень точности обнаружения утечек.

На производительность модели ИНС-ОУ существенное влияние оказывает размер утечки. Небольшие утечки, как правило, не обнаруживаются, и СПРВ классифицируется как обычные ситуации без утечек (т.е. 0% правильности обнаружения). В то время как обычные случаи без утечки данных классифицируются правильно (т.е. на 100% корректное обнаружение). При

использовании сбалансированного набора данных (с равным количеством примеров наличия и отсутствия утечек) модель демонстрирует точность порядка 50 %.

Экспериментально установлено, что точность обнаружения утечек в модели ИНС-ОУ возрастает с увеличением их размера. Это объясняется физическим механизмом явления: более крупная утечка вызывает заметные изменения в распределении давления в системе питьевого водоснабжения (СПРВ) ГО Ялта, что упрощает её идентификацию средствами модели.

ВЫВОДЫ

Обнаружение утечек в СПРВ представляет собой нетривиальную задачу ввиду совокупности факторов: сложной топологической структуры сети; динамических колебаний потребительского спроса; дефицита мониторинговых данных. Применение традиционных инструментальных методов контроля сопряжено с существенными ограничениями: высокими экономическими

затратами; значительной трудоёмкостью процедур; невозможностью реализации мониторинга в режиме реального времени.

Особую проблематичность демонстрирует адаптация классических подходов к обновлению моделей мониторинга для системы водоснабжения населенных пунктов Южного берега Крыма. Это обусловлено повышенной сложностью топологии сети и существенной неопределённостью гидравлических параметров системы. В качестве перспективной альтернативы рассматривается подход, основанный на анализе данных с применением моделей ИНС-ОУ. Его теоретическое обоснование базируется на следующем постулате: пространственное распределение давления в сети и его динамические изменения при возникновении утечки детерминированы топологией системы водоснабжения. Таким образом, анализ паттернов давления позволяет косвенно оценивать текущее состояние СПРВ. Разработанные в рамках исследования модели ИНС-ОУ демонстрируют способность к обнаружению утечек даже при работе с несбалансированными данными — исключительно на основе информации о штатных режимах эксплуатации системы. Для дальнейшего развития метода рекомендуется: продолжить оптимизацию архитектуры моделей ИНС-ОУ; провести всестороннюю оценку их эффективности с привлечением реальных мониторинговых данных из СПРВ ГО Ялта.

При этом сохраняется ряд нерешённых вопросов, требующих дополнительного исследования. В частности, выявлена потенциальная проблема: чувствительность контрольного датчика к изменениям давления, вызванным утечкой, может существенно снижаться по мере увеличения дистанции между датчиком и местом возникновения утечки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов, В. И. Роль искусственного интеллекта в предотвращении утечек воды из сетей водоснабжения / В. И. Баженов, О. Г. Примин, В. В. Баженов // Строительство: наука и образование. – 2024. – Т. 14, № 4. – С. 98-111. – DOI 10.22227/2305-5502.2024.4.98-111.
2. Примин, О. Г. Автоматизированные системы эксплуатации городской водопроводной сети / О. Г. Примин, В. И. Баженов // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования - 2024: Сб. докл. V Нац. науч. конф., Москва, 16 декабря 2024 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2025. – С. 635-642.
3. Примин, О. Г. Методика и алгоритм оценки стоимости жизненного цикла трубопроводов сетей водоснабжения и водоотведения / О. Г. Примин, В. И. Баженов, Г. А. Самбурский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2025. – № 7. – С. 13-20. – DOI 10.35776/VST.2025.07.02.
4. Баженов, В. И. Оценка и прогноз надежности сетей водоснабжения с помощью искусственного интеллекта / В. И. Баженов, О. Г. Примин, В. В. Баженов // Промышленное и гражданское строительство. – 2024. – № 10. – С. 66-74. – DOI 10.33622/0869-7019.2024.10.66-74.
5. Эминов, Р. А. Метод определения мест утечек в водопроводе путем контроля градиента давления / Р. А. Эминов, Э. И. Гусейнли, С. И. Керимова // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2020. – Т. 10, № 4(35). – С. 628-633. – DOI 10.21285/2227-2917-2020-4-628-633.
6. Уликанов, Р. Р. Анализ фронта волны давления для определения местоположения утечки жидкости в трубопроводе / Р. Р. Уликанов, В. Н. Киреев, Л. А. Ковалева // Вестник Башкирского университета. – 2023. – Т. 28, № 1. – С. 4-9.
7. Тевяшев, А. Д. Стохастическая модель и метод зонирования водопроводных сетей / А. Д. Тевяшев, О. И. Матвиенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 1, № 4(67). – С. 17-24.
8. Примин О.Г., Храменков СВ. / Пути обеспечения надежности функционирования городской водопроводной сети в условиях сокращения водопотребления в г. Москве // Сб. докл. 17-го Ольденбургского форума по трубопроводам. Институт по строительству трубопроводов при Высшей технической школе г. Ольденбург, Германия. - 2013. -т. 20.
9. Примин, О. Г. Планирование восстановления трубопроводов городской водопроводной сети / О. Г. Примин // Системные технологии. – 2024. – № 1(50). – С. 20-28. – DOI 10.48612/dniti/2024_50_20-28.
10. Чупин Р.В., Мелехов Е.С. Развитие теории и практики моделирования и оптимизации систем водоснабжения и водоотведения. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2011. 323 с.
11. Щербаков В.И. Модернизация водопроводной сети на основе оптимизации гидравлических параметров при аварии на магистральных / В.И. Щербаков, Х.К. Нгуен // Вестник МГСУ. 2015. № 10. С. 115—126.
12. Farah, E.; Shahrour, I. Water Leak Detection: A Comprehensive Review of Methods, Challenges, and Future Directions. *Water* 2024, 16, 2975. <https://doi.org/10.3390/w16202975>
13. Ekwueme, S. T., Obibuike, U. J., Mbakaogu, C. D., & Ihekoronye, K. K. (2019). Development of a New Model for Leak Detection in Pipelines. *Advances in Petroleum Exploration and Development*, 18(1), 19-26. DOI: <http://dx.doi.org/10.3968/11298>
14. Rifaai T.M., Abokifa A.A., Sela L. Integrated approach for pipe failure prediction and condition scoring in water infrastructure systems. *Reliability Engineering & System Safety*. 2022; 220:108271. DOI: 10.1016/j.res. 2021.108271
15. Fan X., Wang X., Zhang X., Yu X. Machine learning based water pipe failure prediction: The effects

of engineering, geology, climate and socio-economic factors. *Reliability Engineering & System Safety*. 2022; 219:108185. DOI: 10.1016/j.ress.2021.108185

REFERENCES

1. Bazhenov, V. I. The role of artificial intelligence in preventing water leaks from water supply networks / V. I. Bazhenov, O. G. Primin, V. V. Bazhenov // Construction: science and education. – 2024. – Vol. 14, No. 4. – pp. 98-111. – DOI 10.22227/2305-5502.2024.4.98-111.
2. Primin, O. G. Automated systems for the operation of the urban water supply network / O. G. Primin, V. I. Bazhenov // Actual problems of the construction industry and education - 2024: Collection of reports of the V National Scientific Conference, Moscow, December 16, 2024. Moscow: National Research Moscow State University of Civil Engineering, 2025, pp. 635-642.
3. Primin, O. G. Methodology and algorithm for estimating the cost of the life cycle of pipelines of water supply and sanitation networks / O. G. Primin, V. I. Bazhenov, G. A. Sambursky // Water supply and sanitary engineering. – 2025. – No. 7. – pp. 13-20. – DOI 10.35776/VST.2025.07.02.
4. Bazhenov, V. I. Assessment and forecast of reliability of water supply networks using artificial intelligence / V. I. Bazhenov, O. G. Primin, V. V. Bazhenov // Industrial and civil engineering. – 2024. – No. 10. – pp. 66-74. – DOI 10.33622/0869-7019.2024.10.66-74.
5. Eminov R. A., Huseynli E. I., Kerimova S. I. A method for determining leakages in a water supply system by monitoring the pressure gradient / R. A. Eminov, Huseynli E. I., Kerimova S. I. // *Izvestiya vuzov. Investment. Construction. Realty*. 2020. Vol. 10, No. 4(35). pp. 628-633. – DOI 10.21285/2227-2917-2020-4-628-633.
6. Ulikanov, R. R. Pressure wave front analysis to determine the location of a liquid leak in a pipeline / R. R. Ulikanov, V. N. Kireev, L. A. Kovaleva // *Bulletin of the Bashkir University*. - 2023. – Vol. 28, No. 1. – pp. 4-9.
7. Tevyashev, A.D. Stochastic model and method of zoning of water supply networks / A.D. Tevyashev, O. I. Matvienko // *East European Journal of Advanced Technologies*. – 2014. – Vol. 1, No. 4(67). – pp. 17-24.
8. Primin O.G., Khramenkov St. / Ways to ensure the reliability of the urban water supply network in conditions of reduced water consumption in Moscow // Collection of reports of the 17th Oldenburg Pipeline Forum. Institute for Pipeline Construction at the Higher Technical School of Oldenburg, Germany. - 2013. -vol. 20.
9. Primin, O. G. Planning the restoration of pipelines of the urban water supply network / O. G. Primin // *System technologies*. – 2024. – № 1(50). – Pp. 20-28. – DOI 10.48612/dniti/2024_50_20-28.
10. Chupin R.V., Melekhov E.S. Development of theory and practice of modeling and optimization of water supply and sanitation systems. Irkutsk: Publishing house of IrGTU, 2011. 323 p.
11. Shcherbakov V.I. Modernization of the water supply network based on optimization of hydraulic parameters in case of accidents on highways / V.I. Shcherbakov, H.K. Nguyen // *Bulletin of MGSU*. 2015. No. 10. pp. 115-126.
12. Farah, E.; Shahrour, I. Water Leak Detection: A Comprehensive Review of Methods, Challenges, and Future Directions. *Water* 2024, 16, 2975. <https://doi.org/10.3390/w16202975>
13. Ekwueme, S. T., Obibuike, U. J., Mbakaogu, C. D., & Ihekoronye, K. K. (2019). Development of a New Model for Leak Detection in Pipelines. *Advances in Petroleum Exploration and Development*, 18(1), 19-26. DOI: <http://dx.doi.org/10.3968/11298>
14. Rifaai T.M., Abokifa A.A., Sela L. Integrated approach for pipe failure prediction and condition scoring in water infrastructure systems. *Reliability Engineering & System Safety*. 2022; 220:108271. DOI: 10.1016/j.ress.2021.108271
15. Fan X., Wang X., Zhang X., Yu X. Machine learning based water pipe failure prediction: The effects of engineering, geology, climate and socio-economic factors. *Reliability Engineering & System Safety*. 2022; 219:108185. DOI: 10.1016/j.ress.2021.108185

NEURAL NETWORK MODEL FOR DETECTING LEAKS IN THE WATER SUPPLY AND DISTRIBUTION SYSTEM OF THE SOUTHERN COAST OF CRIMEA

Krymov R.S.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
Institute of Biochemical Technologies, Ecology and Pharmacy
181, Kievskaya str., Simferopol, 295493, Russian Federation
E-mail: kelt_roman@mail.ru

Abstract. The water supply and distribution system often face the problem of leaks, which pose risks to the uninterrupted water supply of the population. At the same time, traditional diagnostic methods often do not allow leaks to be detected before obvious consequences appear. Within the framework of this study, a machine learning model has been developed designed for early detection of leaks in SPRW. To form a training sample, hydraulic modeling was performed using the ZuluGIS geoinformation system. During the modeling process, the following factors were taken into account: the dynamics of water consumption by users; possible distortions and interference in the data; different leakage rates and other significant factors.

The subject. The reliability of urban water supply systems, taking into account topographical features.

Materials and research methods: The analysis of the technical condition of the pipelines of the Yalta gas pipeline system was carried out. A machine learning (MMO) model for detecting leaks in the Yalta open air defense system has been investigated. Data on water pressure under leak conditions and the absence of leaks were obtained using the ZuluGIS geoinformation system, taking into account factors such as changing user requirements, data interference, the degree of leaks, etc. An artificial neural network (INS-OU) model has been developed to detect leaks. For this purpose, data on water pressure in a group of monitoring nodes was used. Unlike existing approaches using time series analysis, water pressure data is used by the INS-OU model to determine the spatial relationship between data in monitoring nodes at a given time.

Results. The conducted research has shown that an artificial neural network (ANN) is able to accurately distinguish between two states of the system — the presence or absence of leakage. However, a balanced data set that includes examples of both scenarios is crucial for the effective operation of the model. In real-world conditions, this is difficult, since the SPRV mainly operates normally, and leakage cases are relatively rare. The study also revealed that the accuracy of the models depends on the location of the leak: when leaks occur in the sensor coverage area, the models demonstrate high accuracy; outside the sensor monitoring area, the prediction accuracy decreases significantly. The results obtained allow us to formulate recommendations on the optimal placement of monitoring sensors, ensuring the necessary coverage of the controlled area.

Conclusions. A data-driven approach using ANN models is promising for fast and reliable leak detection. The rationale is that the spatial structure of water pressure and its changes during leakage depend on the structure of the water distribution network, which allows us to obtain information about the conditions in the urban water supply network.

Key words: water supply and distribution system, leakage, artificial neural networks, reliability.

СПИСОК АВТОРОВ

Ангелюк И.П.	к.т.н., Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
Бекирова З.Р.	обучающийся, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Белавский В.А.	ассистент кафедры строительных конструкций, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Богущий Ю.Г.	старший преподаватель, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
Будюк Е.О.	аспирант, Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар
Дихтярь М.С.	обучающийся, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Дихтярь Т.В.	к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Зайцев О.Н.	д.т.н., профессор, Юго-Западный государственный университет им. И.И. Ишутина, г. Курск
Замша О.Н.	аспирант, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Калафатов Д.А.	к.т.н., Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь.
Крымов Р.С.	старший преподаватель, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Курунин И.К.	обучающийся, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Маяцкая И.А.	к.т.н., доцент, Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону
Мовчан С.И.	к.т.н., доцент, Мелитопольский государственный университет имени А.С. Макаренко, г. Мелитополь
Николенко И.В.	д.т.н., профессор, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь.
Пономарев А. Ю.	аспирант, Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар
Родин С.В.	к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь.
Савенко А. А.	к.э.н., доцент, Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар
Сидорова В.В.	кандидат архитектуры, доцент, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Таджиев А.Ш.	аспирант, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
Топорен С.С.	к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
Федюшко Ю.М.	д.т.н., профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
Чемодуров В.Т.	д.т.н., профессор Академии строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского,
Шаленный В.Т.	д.т.н., профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Прием статей в редакцию и состав сопроводительных документов

Прием статей для публикации в журнале осуществляется в постоянном режиме. Процесс рассмотрения статьи, рецензирования и редакционно-издательской обработки занимает достаточно длительное время, в связи с чем поступившая и допущенная редколлегией к публикации статья будет, как правило, опубликована не ранее, чем через 4 месяца со дня ее поступления. Датой поступления статьи будет считаться дата ее получения от автора в окончательном варианте после всех доработок и исправлений по замечаниям рецензентов и редактора.

Просим авторов тщательно готовить свои материалы с целью сокращения сроков их рассмотрения и обработки.

Неправильно оформленные материалы не рассматриваются, не рецензируются и не возвращаются! Также не возвращаются авторам рукописи статей и электронные копии на локальных носителях. При этом редакция по собственной инициативе в переговоры с авторами не вступает.

1.1. Прием статей на рассмотрение и рецензирование осуществляется через онлайн систему приема статей.

Прием статей на рассмотрение и рецензирование через онлайн систему приема статей производится на сайте журнала по адресу: <https://stroyjournal-asa.ru>. Инструкция по использованию системы доступна на сайте. Автор имеет возможность следить за продвижением статьи в редакции в личном кабинете и получает соответствующие уведомления по электронной почте.

Все поступившие в редакцию статьи проходят обязательное двойное слепое рецензирование. По результатам рецензирования автору сообщается решение о публикации, замечания рецензента и редактора или решение об отклонении статьи.

1.2. Прием к публикации окончательного варианта статьи. Окончательный (после внесения правки по замечаниям рецензентов и редактора) вариант статьи автор также загружает через систему или направляет на электронный адрес ger_bilenko@cfuv.ru для ее редактирования, корректуры, верстки и публикации в журнале.

1.3. Прием пакета сопроводительных документов осуществляется через онлайн систему приема статей и по электронному адресу ger_bilenko@cfuv.ru.

Автор, пройдя регистрацию в системе, загружает статью в формате .doc или .docx, форматированную по шаблону (см. п. 2), вместе с файлами отсканированных документов: экспертного заключения о возможности опубликования в открытой печати (далее – экспертного заключения) и информации об авторах статьи.

Экспертное заключение оформляется по требованиям, установленным в организации – работодателе автора. Редакция исходит из того, что авторы добровольно предоставляют сведения о себе в анкете автора в требуемом объеме и составе (в соответствии с правилами для публикаций научных статей в журналах, включенных в Перечень ВАК) для их открытого опубликования. Также к загружаемой статье может быть приложен файл отсканированной внешней (т.е. из сторонней организации) рецензии (1 экз.), оформленной и заверенной в организации по месту работы рецензента. Оригинал рецензии присылать в редакцию по почте не требуется.

Сопроводительные документы можно направить по электронной почте по адресу ger_bilenko@cfuv.ru. Все вопросы и пожелания относительно пакета документов необходимо отправлять на этот адрес электронной почты редакции.

Пакет оригиналов сопроводительных документов, включающий информационную карту статьи на публикацию сведений об авторе и экспертное заключение, должен поступить в редакцию по почте не позднее 3 недель со дня уведомления автора (письмом на адрес электронной почты) о положительном решении по поводу публикации статьи.

Бланки сопроводительных документов и требования:

Информация об авторах статьи. Информация об авторах статьи загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты ger_bilenko@cfuv.ru в электронном виде в виде файла с расширением .doc или .docx;

Бланк экспертного заключения и авторской справки (только для авторов – работников КФУ им. В.И. Вернадского (распечатывается и заполняется вручную)

Бланк экспертного заключения и Внешняя рецензия – загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты ger_bilenko@cfuv.ru в сканированном виде (файл PDF).

2. Требования к оформлению статей

Статья будет рассмотрена редколлегией и рецензентами только при условии полного соответствия ее оформления изложенным ниже требованиям, предъявляемым к публикациям в научных журналах, индексируемых международными базами научного цитирования.

Все статьи, поступившие в редакцию журнала, получившие положительную оценку рецензентов и рекомендованные к публикации, проходят обязательную редакционную обработку (редактирование, корректуру, техническое редактирование). Внесение правки по замечаниям редактора согласовывается с автором.

Датой поступления статьи в редакцию считается дата поступления и регистрации в редакции окончательного авторского оригинала с учетом всех внесенных изменений по замечаниям рецензентов и редактора.

Общие требования для подготовки статей

Объем статьи, включая таблицы, рисунки и фотографии должен быть не менее 6 страниц и не превышать 10 страниц.

Язык статьи: русский, английский.

Шрифт. Нормальный Times New Roman (TNR), размер шрифта – 10 пт, одинарный интервал; интервал шрифта – обычный (без растяжения или уплотнения). Варианты шрифта в тексте статьи: типа курсива или жирного шрифта допускаются, подчеркивание слов и предложений не допускаются.

Параметры страницы: верхнее поле – 2,5 см, нижнее – 2,5 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см.

Таблицы. Таблица озаглавляется словом Таблица 1 (шрифт – обычный TNR 10 пт, по центру) со следующим за ним номером с точкой. Далее помещается название таблицы с прописной буквы (не более 3-х строк), без заключительной точки. Ниже приводится название таблицы на английском языке. Размер таблиц и рисунков не должен превышать размер В5 (12,5 × 19,5 см). Шрифт заголовков столбцов и строк, содержания таблицы – обычный TNR 9 пунктов. Таблицы нумеруются арабскими цифрами.

Рисунки и графики. Рисунки и графики озаглавляются словом Рис.1 (шрифт – обычный TNR 9 пунктов) со следующим за ним номером с точкой. Рисунки выполняются в графических редакторах, совместимых с Word и размещаются по тексту. Под рисунком помещается подпись на русском и английском языках. Короткая подпись центрируется, а если длинная – форматируется с абзацем первой строки. Качество рисунков и графиков должно обеспечивать прочтение и тиражирование. Рисунки и графики нумеруются арабскими цифрами.

Формулы. Формулы набираются в редакторе формул Equation или Math Type. Использовать для набора формул графические объекты, кадры и таблицы запрещается. Формула располагается по центру строки, номер формулы (в круглых скобках, TNR 10 пт) – по правому краю страницы, от окружающего текста отделяется пустыми строками. Формульное окно принудительно растягивать или сжимать нельзя. Применение единиц измерений в международной системе СИ – обязательно.

Обязательный порядок статьи.

- **УДК** в левом верхнем углу страницы, шрифт TNR 12 пт, прописными буквами
- **Название статьи шрифт** TNR 12 пт все прописными.
- **Имя и фамилия** автора(ов), шрифт обычный TNR 12 пт.
- **Место работы** авторов, шрифт обычный TNR 9 пт., адрес места работы, e-mail
- **Аннотация статьи (Abstract)** 200 – 250 слов, шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Предмет исследования (Subject of research):** шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Материалы и методы (Materials and methods):** шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Результаты (Results):** шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Выводы (Conclusions):** шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Ключевые слова (Key words)** до 6 слов и словосочетаний, необходимых для поиска или классификатора, шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Текстовая часть.** Статья должна содержать следующие разделы:
 - ВВЕДЕНИЕ;
 - АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ;
 - МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ;
 - РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ;
 - ВЫВОДЫ;
 - СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

Заголовки разделов набираются строчными буквами, шрифт TNR 11 пунктов и центрируются.

В конце статьи размещается **Название статьи, Имя и фамилия автора(ов), Место работы авторов, Аннотация статьи, Предмет исследований, Материалы и методы, Результаты, Выводы, Ключевые слова** на английском языке с сохранением редакторских требований, указанных выше к каждому структурному элементу статьи.

Рекомендации по подготовке аннотации статьи

Аннотация выполняет следующие основные функции:

- дает возможность читателю быстро оценить основное содержание статьи с тем, чтобы решить, следует ли ему обращаться к ее полному тексту;
- предоставляет читателю самую общую информацию о статье, устраняя необходимость чтения ее полного текста в случае, если статья представляет для читателя второстепенный интерес;
- используется в научных, библиотечных и поисковых информационных системах.

Аннотация к статье должна быть:

- информативной (не содержать общих слов);
- содержательной (отражать основное содержание статьи);
- структурированной (следовать логике изложения материала в статье);

Аннотация должна включать в себя:

- предмет и цель работы (если они не следуют из названия статьи);
- используемый метод или методы исследования;
- основные результаты исследования;
- отличия данной публикации от других, схожих по теме;
- область применения результатов;
- выводы, рекомендации, перспективы развития работы.

В аннотации следует избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...», «автор полагает...» и т.д.), а также сложных грамматических конструкций. Аннотацию следует писать как можно более лаконичным, точным и простым языком. Должна быть понятна широкому кругу читателей, поэтому не должна изобиловать научными терминами. Следует избегать общеизвестных сведений и штампов. Аннотация не должна включать в себя цитаты из текста статьи. В аннотации обычно используются конструкции констатирующего характера (автор анализирует, доказывает, излагает, обосновывает и т. д.), а также оценочные стандартные словосочетания (уделяет основное внимание, важный актуальный вопрос, проблема, детально анализирует, убедительно доказывает).

Список литературы оформляется на русском и английском языках.

Библиографическое описание выполняется по:

- ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание;
- ГОСТ 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления;
- ГОСТ 7.82-2001. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов;
- Регламент включения научных журналов в Российский индекс научного цитирования. – М., 2008.

Не менее 12 источников, с ссылками на статьи в предыдущих выпусках сборника «Строительство и техногенная безопасность», в которых не участвовали авторы представленной статьи.

Рекомендации по подготовке списка литературы

- Цитирование двух или более источников под одним номером, одного и того же источника под разными номерами не допускается.
- Во всех источниках необходимо указывать фамилии и инициалы всех авторов.
- Ссылки на книги, переведенные на русский язык, должны сопровождаться ссылками на оригинальные издания с указанием выходных данных оригинального издания.
- Ссылки на книги должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название книги, город, год, количество страниц.

- Ссылки на статьи в журналах должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название статьи, название журнала, год, том (если указан), номер, страницы (первая и последняя, разделенные тире).
- Ссылки на сборники (конференции, симпозиумы) должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название сборника (конференции, симпозиума), город (место проведения), год, том (если указан), номер (если указан), количество страниц.
- Ссылки на статьи в сборниках (материалах конференций, симпозиумов) должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название статьи, название сборника (конференции, симпозиума), город (место проведения), год, том (если указан), номер (если указан), страницы (первая и последняя, разделенные тире).
- Ссылки на электронные ресурсы удаленного доступа должны содержать следующую обязательную информацию: название ресурса, режим доступа, дата обращения.
- В инициалах авторов между именем и отчеством пробел не ставится.
- В заголовке описания запятая после фамилии автора перед его инициалами может быть опущена.
- Если в документе один, два или три автора, то в сведениях об ответственности (т.е. за косой чертой после названия документа) они могут не повторяться.
- При наличии **четырёх и более** авторов в сведениях об ответственности (т.е. за косой чертой после названия документа) приводят фамилии **всех** авторов.
- Допускается предписанный знак точку и тире, разделяющий области библиографического описания, заменять точкой.
- Допускается не использовать квадратные скобки для сведений, заимствованные не из предписанного источника информации.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать в список литературы ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНИПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях или расчетах или аргументации лучше делать непосредственно по тексту статьи.
2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.
3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.
4. Самоцитирование, т.е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных показателей автора.