

СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

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

№ 35(87) – 2024

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»;

Маилия 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);

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);

Фесенко Л.Н., д.т.н., проф. (ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова,
Новочеркасск);

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

№ 35(87) – 2024

научно-технический журнал

Печатается по решению научно-технического
совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
(протокол № 12 от 20.12.2024)

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 23.12.2024.

Формат А4.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.
Гарнитура Times New Roman. Усл.-печ. л. 10,6.

Тираж 100 экз.

Дата выхода в свет 23.12.2024

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_cfu@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 по подписке.

Подписка по каталогу агентства «Роспечать».

Подписной индекс: 64974 (полугодовая).

Стоимость 1 экз. журнала 227,0 руб.

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1. Градостроительство

Сидорова В.В., Пчельников В.Н., Знайкина В.Г., Стрелкова А.В.

КОМФОРТНАЯ ГОРОДСКАЯ СРЕДА В КОНТЕКСТЕ РАЗВИТИЯ РЕКРЕАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РЕГИОНОВ 5

Раздел 2. Строительство

Козай Э.А., Макарова Е.С., Федоркин С.И.

МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БАЗАЛЬТОФИБРОБЕТОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОЛУСУХОГО ПРЕССОВАНИЯ ИЗ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ СЫРЬЕВЫХ СМЕСЕЙ НА КАРБОНАТНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ 13

Свищ И.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАБОРА ПРОЧНОСТИ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА В АГРЕССИВНОЙ СРЕДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУЛЬФАТОСТОЙКОГО ЦЕМЕНТА 21

Зайченко Н.М., Лахтарина С.В., Лахтарина Н.Н.

ПУЦЦОЛАНОВАЯ АКТИВНОСТЬ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ТЕРМОАКТИВИРОВАННОГО КАОЛИНА 29

Раздел 3. Инженерное обеспечение

Олехнович Я. А., Радаев А. Е.

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА В СОСТАВЕ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ КВАДРАТИЧНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ 41

Абдурахманов Р.Н., Богуцкая А.Ю., Каркищенко Я.И., Редзанова Н.М., Бекиров Э.А

ЭЛЕКТРОИНДУКЦИОННЫЙ МЕТОД РАЗМОРОЗКИ НАДЗЕМНЫХ ВОДОВОДОВ С ВНУТРЕННИМ ОБЛЕДЕНЕНИЕМ 53

Максименко А.Е., Клевец К.А.

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ КОНСТРУКТИВА СКУЛЬПТУРЫ 59

Чемодуров В.Т., Литвинова Э.В.

ПРИБЛИЖЕННАЯ ОЦЕНКА ПОЛЕЙ ДАВЛЕНИЯ В ЖИДКОСТИ С ГАЗОВЫМИ ПОЛОСТЯМИ 65

Раздел 4. Экологическая безопасность

Ветрова Н.М., Иваненко Т.А., Марунчак Д. Ю.

ОСОБЕННОСТИ СХЕМ АККУМУЛЯЦИИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ДОБРОВСКОГО СЕЛЬСКОГО ПОСЕЛЕНИЯ 73

Вурдова Н.Г., Куликова Е. Ю.

УТИЛИЗАЦИЯ ОПАСНЫХ ШЛАМОВ ЛИТИФИКАЦИЕЙ ОПОКАМИ 81

Список авторов

Руководство для авторов

CONTENT

Section 1. Town planning

- Sidorova V.V., Pchel'nikov V.N., Znaykina V.G., Strelkova A.V.*
COMFORTABLE URBAN ENVIRONMENT IN THE CONTEXT OF THE DEVELOPMENT
OF THE REGIONAL RECREATIONAL SYSTEM 5

Section 2. Construction

- Kogai E.A., Makarova E.S., Fedorkin S.I.*
FINE-GRAINED SEMI-DRY PRESSED BASALT FIBER CONCRETE MATERIALS FROM
MECHANICALLY ACTIVATED RAW MATERIALS MIXTURES ON CARBONATE
FILLERS 13

- Svishch I.S.*
INVESTIGATION OF STRENGTH GAIN OF HEAVY CONCRETE IN AN AGGRESSIVE
ENVIRONMENT. USING SULPHATE-RESISTANT CEMENT 21

- Zaichenko N.M., Lakhtarina S.V., Lakhtarina N.N.*
POZZOLANIC ACTIVITY OF MINERAL ADDITIVE BASED ON THERMOACTIVATED
KAOLIN 29

Section 3. Engineering Support

- Olekhnovich Ya. A., Radaev A. E.*
PROCEDURE FOR DETERMINATION OF THE CHARACTERISTICS FOR THE HEAT-
INSULATING MATERIAL AS PART OF THE ENCLOSING STRUCTURE
WITH THE USE OF QUADRATIC OPTIMIZATION TOOLS 41

- Abdurakhmanov R.N., Bogutskaya A.Y., Karkishchenko Ya.I., Redzanova N.M.,
Bekirov E.A.*
ELECTRO-INDUCTION METHOD OF DEFROSTING OF ABOVEGROUND AQUEDUCTS
WITH INTERNAL ICING 53

- Maksimenko A.E., Klevets K.A.*
THE TECHNIQUE OF CREATING A COMPUTER MODEL OF A SCULPTURE
STRUCTURE 59

- Chemodurov V.T., Litvinova E.V.*
APPROXIMATE EVALUATION OF PRESSURE FIELDS IN LIQUID WITH GAS CAVITIES 65

Section 4. Environmental safety

- Vetrova N.M., Ivanenko T.A., Marunchak D. U.*
FEATURES OF WATER RESOURCES ACCUMULATION SCHEMES FOR
ENVIRONMENTALLY SAFE WATER SUPPLY TO THE RURAL POPULATION DOBROE 73

- Vurdova N.G., Kulikova E. Yu.*
DISPOSAL OF HAZARDOUS SLUDGE BY LITHIFICATION WITH OPOKA 81

List of authors

Authors Guide

Раздел 1. Градостроительство

УДК 711.01/09

КОМФОРТНАЯ ГОРОДСКАЯ СРЕДА В КОНТЕКСТЕ РАЗВИТИЯ РЕКРЕАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РЕГИОНОВ

Сидорова¹ В.В., Пчельников² В.Н., Знайкина³ В.Г., Стрелкова⁴ А.В.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,
Институт «Академия строительства и архитектуры»,

295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181,

¹nucikBBC@yandex.ru, ²pchelnikov@gmail.com, ³nika.znaikina@yandex.ru, ⁴strelkova2048@mail.ru

Аннотация. В статье подобраны и проанализированы научные литературные источники по благоустройству общественных пространств. Проведён анализ мирового опыта благоустройства и современной специфики градостроительного развития общественных пространств с точки зрения взаимосвязи зеленых зон с городской застройкой. Исследованы основные планировочные проблемы общественных пространств и проблемы их реконструкции. Выявлены лучшие приемы и особенности проектов общественных пространств.

Предмет исследования: общественные пространства в границах городской среды

Материалы и методы: в ходе исследования применялся анализ мировых аналогов, сравнительный анализ отечественного и зарубежного опыта благоустройства. В работе проанализированы теоретические и практические материалы, касающиеся объекта исследования, сделаны выводы. В процессе подбора материалов по теме публикации и анализа полученных результатов применены методы: дедукции, теоретического анализа и синтеза, метод аналогии.

Результаты: Изучена научная литература и нормативно-правовые документы. Анализ данных свидетельствует о том, что вопрос реконструкции общественных пространств в границах городской среды, чрезвычайно актуален и должен быть изучен специалистами разных сфер деятельности (градостроителями, архитекторами, социологами, экономистами, инженерами, технологами и т.д.).

В результате анализа мирового опыта реконструкции общественных пространств выявлено, что преобразование общественных территорий в мировой практике может осуществляться по двум схемам:

- фокусировка на повышении рекреационного потенциала;

- создание непрерывных транспортных коридоров для пешеходов и велосипедистов, формирования динамичных общественных пространств с разными активностями.

Формирование и преобразование городских общественных рекреационных зон должно иметь продуманную стратегию планомерного, поэтапного проведения работ по строительству и благоустройству. Для этого необходимо разработать стратегию или концепцию развития территории и придерживаться ее.

Выводы: грамотная организация общественного пространства выполняет функцию фундамента для развития города, придавая ему уникальный облик и комфортную городскую среду для всех категорий граждан, способствует качественной жизни.

Ключевые слова: реконструкция, благоустройство, городские общественные пространства, парки, скверы, площади, велодорожки, озеленение, малые архитектурные формы, освещение.

ВВЕДЕНИЕ

Благоустройство общественных территорий - это важный процесс, который направлен на улучшение городской среды и создание комфортной атмосферы для жителей. Он включает в себя различные мероприятия, такие как планирование, организацию и строительство, с целью сделать населенный пункт более удобным и безопасным для проживания.

Одной из ключевых целей благоустройства является формирование положительного имиджа города. Качественное архитектурное решение и ухоженные общественные пространства могут привлечь внимание туристов и инвесторов. Красиво оформленные парки, скверы, площади и другие общественные территории создают приятное впечатление о населенном пункте и способствуют его развитию, как экономическому, так и социокультурному.

Комфортная городская среда одна из ключевых сфер, обеспечивающих устойчивое развитие и процветание города, делающая его конкурентно-способным и экономически развитым [1]. Одним из важных аспектов благоустройства является создание комфортной городской среды, которая способствует активному общению людей и улучшению их физического и психологического состояния. Для достижения этой цели проводятся работы по озеленению, установке парковой мебели, созданию площадок для отдыха и активностей. Эти меры позволяют жителям наслаждаться природой, провести время на свежем воздухе, что положительно сказывается на их здоровье и настроении.

Однако, помимо обновления городских пространств, важную роль в создании благоприятной атмосферы играют эмоциональные аспекты. Обновленные городские пространства придают городу свой характер и индивидуальность. Особенно впечатляющими могут быть масштабные

авторские проекты, которые придают городу уникальность и становятся его визитной карточкой.

Важно отметить, что благоустройство общественных территорий является постоянным процессом. Города должны непрерывно обновлять и поддерживать свои общественные пространства, чтобы они оставались привлекательными и соответствовали потребностям и ожиданиям жителей.

За последние годы по поручению президента Российской Федерации в рамках федерального проекта «Формирование комфортной городской среды» национального проекта «Жилье и городская среда» с 2018 года реализовано более 500 проектов в стране [2].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Федеральный проект «Формирование комфортной городской среды» реализуется в рамках национального проекта «Жилье и городская среда» направлен на создание нового облика городов, обновление общественных пространств, чтобы помочь регионам, сохранив свой колорит и неповторимую архитектуру, создать атмосферу комфорта и безопасности, в которой людям разного возраста одинаково приятно жить, работать и активно отдыхать. Общественные пространства нового формата помогают не просто украсить города, а формируют новый культурный и социальный уровень жизни местных жителей, открывают новые экономические возможности [3].

Кадыров Т.Э. в своей статье подчеркивает необходимость учета новых общественных тенденций в градостроительстве – возрастающей активности горожан и отмечает необходимость изменения качества мест пребывания горожан в связи с ростом их благосостояния. Автор рассматривает историко-культурные контексты с целью увеличения туристического потока в город. Недостатком современных российских городов он считает мозаичную городскую ткань, необходимость расширения общественных пространств путем реконструкции исторической части города и создания пешеходных зон [4].

Авторы статьи «Комфортная городская среда: тенденции и проблемы организации» Петриной О.А и Стадолин М.Е. отмечают, что в настоящее время формирование современной комфортной городской среды приобретает особое социально-экономическое значение, выдвигается в число приоритетных государственных масштабных программ. При этом предусматривается развитие принципиально новых подходов к организации комплексного благоустройства городских территорий на основе широкого участия населения в проектах обустройства дворовых территорий и общественных пространств, что приводит к ряду проблем организационного и информационного характера, связанных в основном с взаимодействием с территориальными органами государственного и муниципального управления.

Проблемы организации такого взаимодействия рассмотрены в статье [5].

Гогина Е.Г. в своей статье проводит исследование развития пешеходных пространств в городах и описывает методы предпроектных исследований и комплексном подходе к проектированию, о значении и роли пешеходных улиц в обогащении городского пространства. В парках и на пешеходных улицах, важной частью визуальной коммуникации является разработка дизайн – сценария пространства по принципу разнообразия с чередованием средовых «событий», который определяет алгоритм направления движения пешеходов, находящихся в этой среде, и может меняться в зависимости от погоды и времени года [6].

Бубнова А.О. и Имамвердиева М.И. в своей статье в результате ключевых конфигураций городского образа жизни сделали вывод о том, что городская среда является социальным институтом, и, следовательно, можно оказывать прямое и косвенное воздействие на формирование иных институтов и групп. Городская среда также является основой для создания образа и имиджа не только самого города, но и субъекта в целом. Позитивный образ территорий способствует наращиванию экономического потенциала, а также инвестиционной привлекательности. Выявленные в ходе исследования взаимосвязи показывают, что комфортная городская среда – комплексная категория, характеризующаяся пиритизацией раскрытия и активного применения сильных сторон территории, реализации концепции устойчивого развития и формирования благоприятной среды для повышения качества жизни населения [7].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе исследования применялся анализ мировых аналогов. Для выявления закономерности развития общественной территории применяется сравнительный анализ общественных пространств. В данном исследовании применен комплексный подход, основанный на анализе и систематизации данных, выявленных в научной и нормативной литературе, информационных ресурсах и средствах массовой информации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Согласно Ст. 98 Земли рекреационного назначения ЗК РФ, в состав земель рекреационного назначения входят: дома отдыха, пансионаты, кемпинги, трассы, детские и спортивные лагеря, объекты физической культуры и спорта, туристические базы, стационарные и палаточные туристско-оходо-восстановительные лагеря, детские туристические станции, туристские парк и учебно-туристические тропы.

Образ города складывается из множества самых разных элементов: местоположение, природные

условия, экономическое и культурное развитие, жившие и живущие в нем люди – эти и многие другие исторические, социальные и эстетические факторы влияют на городскую ткань, паттерны взаимоотношений, составляют культурно-исторический контекст формирования общественных пространств [8].

Инвестиции в общественные пространства помогают городам раскрывать экономический потенциал. Создание комфортной городской среды укрепляет социальную сплоченность, поддерживает местную экономику, стимулирует предпринимательство, привлекает инвестиции и благоприятно сказывается на здоровье городских жителей.

Мировой опыт благоустройства общественных пространств в городской среде включает различные подходы и инновационные решения, направленные на улучшение качества жизни горожан, а именно:

1. Пешеходные зоны. Создание пешеходных улиц или площадей без автомобильного движения, где горожане могут свободно передвигаться, отдыхать и социализироваться. Обеспечение доступности различных объектов инфраструктуры, таких как магазины, аптеки, школы, больницы и другие социальные и коммерческие объекты. Важно также создать безопасные условия для пешеходов и автомобилистов, создавая соответствующие условия для передвижения.

2. Парки, как многофункциональные общественные пространства. Благоустройство парков и зеленых зон, включая создание центральных парков с различными возможностями для отдыха, спорта и развлечений. Это создание эстетически привлекательной среды с использованием различных элементов природы, а именно растений, водных объектов, камней и других материалов. Элементы благоустройства, малые архитектурные формы, удобные связи и входные группы.

3. Велосипедные дорожки. Развитие велосипедной инфраструктуры, включая создание велосипедных дорожек, парковок для велосипедов и арендных пунктов. Сеть должна связывать между собой городские районы и проходить между основными зелеными зонами города.

4. Интеграция искусства. Введение элементов искусства в городскую среду для улучшения эстетического восприятия и создания уникальных общественных пространств.

5. Уличное освещение. Разработка инновационных систем уличного освещения для повышения безопасности и комфорта горожан. Важно обеспечить подсветку дорожек, установку уличных фонарей и видеонаблюдение для предотвращения преступности, и обеспечения общественной безопасности.

6. Открытые площадки. Создание общественных площадок для проведения различных мероприятий, таких как концерты, ярмарки и фестивали.

7. Реконструкция и ревитализация. Восстановление и обновление старых или запущенных зон города, чтобы создать новые возможности и привлечь жителей и туристов.

8. Устойчивая и экологическая инфраструктура. Разработка инфраструктуры, которая предлагает решения для устойчивого использования ресурсов и снижения негативного воздействия на окружающую среду. При благоустройстве территории важно учитывать экологические аспекты, включая использование экологически чистых материалов, уход за зелеными насаждениями и природными объектами, обеспечение экологического баланса в городской среде, а также установку систем хранения и переработки отходов.

Проект “Одна зеленая миля / MVRDV” в Мумбаи, Индия направлен на то, чтобы превратить властный элемент бетонной инфраструктуры в общественное пространство для всего местного сообщества. Холмистый мощный ландшафт превращает двухмерные визуальные элементы в трехмерное пространственное представление, вмещающее целый ряд различных программ и обеспечивающее динамическое физическое притяжение. Пространство разделено на ряд общественных «комнат» с различными функциями: гостиная, тренажерный зал, затененная зона отдыха, пространство для выступлений и читальный зал [9]. Озеленение простирается по всему пространству (Рис.1).



Рис. 1. Одна зеленая миля / MVRDV Мумбаи, Индия
Fig. 1. One Green Mile / MVRDV Mumbai, India

База в парке Бараике в Японии – это современное пространство для барбекю в городском парке. Структура разделенной крыши представляет собой сеть наклонных колонн без стен, призванная создать

ощущение слияния с деревьями и входа в рощу, при этом выдерживая горизонтальные силы в целом (Рис. 2).



Рис. 2. База в парке Бараике / Tomohiro Hata Architect and Associates Osaka, Japan
Fig. 2. The base in Barake Park / Architect Motohiro Hata and Partners Osaka, Japan

Общественное пространство Tapis Rouge в неформальном районе Гаити представлен в виде амфитеатра под открытым небом, предназначенный для общественных собраний [9]. Концентрические

кольца за пределами площади определяют границы зонирования из которых одно занято уличными тренажерами и сидячими местами, а другое, представляет из себя стену с граффити (Рис. 3).



Рис. 3. Общественное пространство Tapis Rouge в неформальном районе Гаити / Emergent Vernacular Architecture (EVA Studio)

Fig. 3. Tapis Rouge public space in an informal area of Haiti / Emergent Vernacular Architecture (EVA Studio)

В Российской Федерации проекты общественных территорий реализуются в рамках федерального проекта «Формирование комфортной городской среды» национального проекта «Жилье и городская среда». Проект направлен на создание нового облика городов, обновление общественных пространств, чтобы помочь регионам, сохранив свой колорит и неповторимую архитектуру, создать атмосферу комфорта и безопасности, в которой людям разного возраста одинаково приятно жить, работать и активно отдыхать.

Общественные пространства нового формата помогают не просто украсить города, а формируют новый культурный и социальный уровень жизни местных жителей, открывают новые экономические возможности [10].

В городе Дивногорске, что в 20 км от Красноярска, в октябре 2019 открылась после большой реконструкции набережная, которая разбита на несколько тематических зон и уровни (Рис. 4).



Рис. 4. Вид сверху на набережную в Дивногорске
Fig. 4. Top view of the embankment in Divnogorsk

Спуститься с одного уровня на другой вниз можно при помощи ступеней и пандусов, а для детей предусмотрено детское оборудование, размещенное на склонах. Вдоль всей набережной много уличной мебели – красивые деревянные скамейки, беседки, качели. Из необычного – барная стойка, за которой можно полюбоваться Енисеем. Сама площадь раньше представляла собой просто

залитую асфальтом площадку с клумбой по центру [11].

Площадь Азатлык в Набережных Челнах – это самое главное место в городе, здесь проходят все городские праздники [12]. Авторами общественного пространства являются: архитектурное бюро D.R.O.M. и КБ Стрелка сделали современную площадь с грамотным зонированием (Рис. 5).



Рис. 5. Площадь Азатлык в Набережных Челнах
Fig. 5. Azatlyk Square in Naberezhnye Chelny

Пространство разделено на три большие части: зелёная зона с цветниками для прогулок и отдыха на траве, культурная часть с фонтаном, кинотеатром и тематическими павильонами, и территорией для проведения мероприятий.

Безжизненный пустырь в виде площади в маленький городок Гаврилов Посад в Ивановской области превратился в шикарный променад с детскими площадками и расположенных по периметру площади торговыми рядами, которые, между прочим, являются объектом культурного наследия, и городской рынок, на который приезжают покупатели и торговцы из посёлков и деревень района [13].

В Республике Крым одними из лучшими проектами благоустройства общественных пространств является площадь Советская в г. Ялта и Курортный парк в г. Саках, которые были спроектированы проектным бюро М4.

Проект благоустройства Советской площади, является победителем во Всероссийском конкурсе лучших проектов создания комфортной городской среды в малых городах и исторических поселениях, построен на максимальном сохранении архитектурного стиля старой площади, сформированной ансамблем модернистских зданий, при этом переосмысливает его в современном ключе, наполняя актуальными функциями.

Реализация первого этапа проекта реконструкции Курортного парка в г. Саки, включало в себя детскую площадку, теневой навес с качелями и павильон с доступными туалетами и комнатой матери и ребенка.

Акцентом и главным функциональным элементом является игровой комплекс, состоящий из водного аттракциона с лабиринтом из труб в воде, различных типов горок и лазалок. Разные варианты лестниц, подъемов и горок позволяют создать множество сценариев игры с комплексом. Площадка учитывает все возрастные группы пользователей. Детская площадка учитывает людей с ограниченными возможностями. Для них предусмотрены качели, карусель, водный объект нижнего яруса. Все пути в парке являются безбарьерными [14].

Зона с тенью навесом интегрирована в существующий ландшафт. В центре площадки сохранены существующие деревья и рельеф. Для формирования уединенного места отдыха к существующему озеленению добавлена пошаговая дорожка и светящиеся скамьи.

Все эти примеры показывают, как благоустройство общественных пространств может значительно улучшить городскую среду и создать более комфортные и привлекательные города для жизни и отдыха.

В Российской Федерации среди целей нацпроекта Жилье и городская среда – рост доли городов с благоприятной средой от общего количества составляет 25% в 2019 году до 61% в 2024 году [15].

Однако уже сейчас в результате природных обследований обновленных общественных пространств в Республике Крым выявлена основная проблема – быстрый износ качества оборудования и покрытий. Таким образом, для поддержания высокой оценки качества городской среды выполнить строительство какого-либо общественного пространства мало. Необходимо постоянно поддерживать его – в хорошем рабочем, безопасном состоянии. Для этого необходимо отработать механизм передачи этих территорий на баланс города и ежеквартально выделять финансирование на мониторинг состояния оборудования, ремонт мощений и прочее, раз в 3-5 лет проводить капитальный ремонт.

Вторая выявленная особенность обновления по программе федерального проекта Формирование комфортной городской среды: оборудование для общественных пространств, заложенных в проектную документацию должно быть надлежащего качества.

ВЫВОДЫ

Благоустройство общественных территорий играет важную роль в создании комфортной и привлекательной городской среды. Оно способствует развитию города, привлечению туристов и инвестиций, а также улучшению

качества жизни и комфорта его жителей. Поэтому важно продолжать инвестировать в благоустройство и развитие общественных пространств, чтобы города стали еще лучше и приятнее для жизни.

Комфортная городская среда предполагает создание условий, которые способствуют удобной и безопасной жизни жителей.

Проведенный анализ по благоустройству общественных пространств в черте городской среды позволил выявить зависимость их формирования от традиционного сложившихся мест, мнения жителей и гостей города. При отсутствии взаимодействия между общественным пространством и населением, то оно – становится нейтральным и не воспринимается как целостная структура.

В целом, формирование комфортной городской среды требует комплексного подхода и сотрудничества различных структур и организаций. Результаты таких усилий оправдывают себя, создавая благоприятные условия для жизни и развития горожан, а также способствуя привлечению туристов и инвесторов.

Одним из ключевых аспектов формирования комфортной городской среды является благоустройство общественных пространств. Парки, скверы, площади и набережные должны быть удобными и функциональными, обеспечивать возможности для отдыха, спорта и культурных мероприятий. Наличие зеленых насаждений, цветочных клумб, фонтанов и детских площадок создает атмосферу комфорта и уюта.

Актуальной проблемой всех городов остаются пустующие территории. Освоение пустующих, изолированных территорий и их планомерная реинтеграция в городскую среду способно оказать позитивное влияние на экономическое и социальное развитие городов. Анализ наиболее эффективных мировых практик позволяет выделить основные рекомендации для территорий общественных пространств: озеленение заброшенных территорий; инфраструктура для проведения культурных мероприятий; размещение на пустующих территориях нестандартных спортивных объектов; реорганизация территорий под многофункциональные комплексы. Основой городской политики должен стать подход, согласно которому перед тем, как сосредотачиваться на освоении новых территорий, необходимо сделать привлекательными уже существующие.

Рекреационные пространства являются потенциальными местами восстановления моральных и физических сил населения, поддержания и даже восстановления здоровья. В связи с этим рекомендуется рассматривать общественные озелененные пространства как ценный здоровьесберегающий ресурс. Рекреационные пространства населенных пунктов должны быть рассмотрены и структурированы в единую градостроительную рекреационную систему и особенно важно иметь региональный подход.

Современная рекреация как система должна иметь расширенные функции, масштабность человеку, структуры и задачи с позиционирования человека как комплексного субъекта и объекта обслуживания с целью его полного восстановления и развития вместо привычного культурно-бытового обслуживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жданова А.Э. Формирование комфортной городской среды: обзор нормативно-правового поля // Научный журнал «Экономика. Социология. Право.», 2023, №2(30)
2. 508 территорий благоустроили по итогам Всероссийского конкурса создания комфортной городской среды [сайт]. — URL: <https://minstroyrf.gov.ru/press/508-territoriy-blagoustroili-po-itogam-vsrossiyskogo-konkursa-sozdaniya-komfortnoy-gorodskoy-sredy/>
3. Федеральный проект «Формирование комфортной городской среды» (ФКГС) [сайт]. — URL: <https://pdminstroy.ru/federalniy-proekt-fkgs?ysclid=lszyqdm3r194351073>
4. Кадыров Т.Э. Общественные пространства: феномены, тенденции и процессы // Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов // Известия КГАСУ, 2014, №4(30)
5. Петрина О.А., Стадолин М.Е. Комфортная городская среда: тенденции и проблемы организации // Вестник университета № 6, 2018, с. 34-38
6. Е.Г. Гогина Благоустройство общественных пешеходных пространств // Инженерный вестник Дона, №5 (2020)
7. Бубнова А.О., Имамвердиева М.И. Особенности формирования комфортной городской среды как фактор создания условий для устойчивого развития территории / А. О. Бубнова, М. И. Имамвердиева // Управление устойчивым развитием. – 2023. – № 1(44). – С. 5-13.
8. БАКЫТБЕККЫЗЫ И. Принципы организации общественных пространств в крупных городах (на примере города Алматы) // Вестник науки и образования. – 2019. - № 20-4 (74)
9. Дизайн проекты общественных пространств [сайт]. — URL: <https://designadvice.ru/dizayn-proyekty-obshchestvennykh-prostranstv/>
10. Марат Хуснуллин: Более 7,6 тыс. пространств планируется благоустроить в России в 2023 году [сайт]. — URL: <http://government.ru/news/47993/>
11. Брусененко А.Ю. Особенности функционально-пространственного взаимодействия реки и прибрежных ландшафтов, и современного города /Международный научный журнал «ВЕСТНИК НАУКИ» № 5 (26) Т.4. - май 2020 г.
12. Площадь Азатлык в Набережных Челнах [сайт]. — URL: <https://prorus.ru/projects/ploshchad-azatlyk-v-naberezhnyh-chelnah/>

13. Развитие центра города Гаврилов Посад [сайт]. — URL: <https://prorus.ru/projects/razvitie-centra-goroda-gavrilov-posad/>

14. Благоустройство Сакского курортного парка [сайт]. — URL: <https://archi.ru/projects/russia/18908/blagoustroistvo-sakskogo-kurortnogo-parka>

15. Более 49 тысяч объектов благоустроено по нацпроекту «Жилье и городская среда» [сайт]. — URL: <https://minstroyrf.gov.ru/press/bolee-49-tysyach-obektov-blagoustroeno-po-natsproektu-zhile-i-gorodskaya-sreda/>

REFERENCES

1. Zhdanova A.E. The formation of a comfortable urban environment: an overview of the regulatory field //The scientific journal "Economics. Sociology. The right.", 2023, №2(30)
2. 508 the territories were landscaped according to the results of the All-Russian competition for creating a comfortable urban environment [website]. — URL: <https://minstroyrf.gov.ru/press/508-territoriy-blagoustroili-po-itogam-vsrossiyskogo-konkursa-sozdaniya-komfortnoy-gorodskoy-sredy/>
3. The Federal project "Formation of a comfortable urban environment" (FCGS) [website]. — URL: <https://pdminstroy.ru/federalniy-proekt-fkgs?ysclid=lszyqdm3r194351073>
4. Kadyrov T.E. Public spaces: phenomena, trends and processes // Urban planning, planning of rural settlements // Izvestiya KGASU, 2014, No.4(30)
5. Petrina O.A., Stadoln M.E. Comfortable urban environment: trends and problems of organization // Bulletin of the University No. 6, 2018, pp. 34-38
6. E.G. Gogina Improvement of public pedestrian spaces // Engineering Bulletin of the Don, No.5 (2020)
7. Bubnova A.O., Imamverdieva M.I. Features of the formation of a comfortable urban environment as a factor in creating conditions for sustainable development of the territory / A. O. Bubnova, M. I. Imamverdieva // Management of sustainable development. – 2023. – № 1(44). – Pp. 5-13.
8. BAKYTBEEKYZY I. Principles of organization of public spaces in large cities (using the example of the city of Almaty) // Bulletin of Science and Education. – 2019. - № 20-4 (74)
9. Design projects of public spaces [website]. — URL: <https://designadvice.ru/dizayn-proyekty-obshchestvennykh-prostranstv/>
10. Marat Khusnullin: More than 7,6 thousand spaces are planned to be landscaped in Russia in 2023 [website]. — URL: http://government.ru/news/47993
11. Brusenenko A.Yu. Features of the functional and spatial interaction of the river and coastal landscapes, and the modern city / International Scientific Journal "BULLETIN OF SCIENCE" No. 5 (26) Vol.4. - May 2020
12. Azatlyk Square in Naberezhnye Chelny [website]. — URL: <https://prorus.ru/projects/ploshchad-azatlyk-v-naberezhnyh-chelnah/>

13. Development of the city center of Gavrilov Posad [website]. — URL: <https://prorus.ru/projects/razvitie-centra-goroda-gavrilov-posad/>

14. Improvement of the Saki Resort Park [website]. — URL: <https://archi.ru/projects/russia/18908/blagoustroistvo-sakskogo-kurortnogo-parka>

15. More than 49 thousand objects have been landscaped according to the national project "Housing and urban environment" [website]. — URL: <https://minstroyrf.gov.ru/press/bole-49-tysyach-obektov-blagoustroeno-po-natsproektu-zhile-i-gorodskaya-sreda/>

COMFORTABLE URBAN ENVIRONMENT IN THE CONTEXT OF THE DEVELOPMENT OF THE REGIONAL RECREATIONAL SYSTEM

Sidorova¹ V.V., Pchelnikov² V.N., Znaykina³ V.G., Strelkova⁴ A.V.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Academy of construction and architecture,
181, Kievskaya str., Simferopol, 295050, Russian Federation
¹nucikBBC@yandex.ru, ²pchelnikov@gmail.com, ³nika.znaikina@yandex.ru, ⁴strelkova2048@mail.ru

Abstract. The article selects and analyzes scientific literary sources on the improvement of public spaces. The analysis of the world experience of landscaping and modern specifics of urban development of public spaces from the point of view of the relationship of green areas with urban development is carried out. The main planning problems of public spaces and the problems of their reconstruction are investigated. The best techniques and features of public space projects have been identified.

Subject: public spaces within the boundaries of the urban environment

Materials and methods: The study used an analysis of world analogues, a comparative analysis of domestic and foreign landscaping experience. The paper analyzes theoretical and practical materials related to the object of research, and draws conclusions. In the process of selecting materials on the topic of publication and analyzing the results obtained, the following methods were used: deduction, theoretical analysis and synthesis, and the method of analogy.

Results: The scientific literature and regulatory documents have been studied. The analysis of the data indicates that the issue of reconstruction of public spaces within the boundaries of the urban environment is extremely relevant and should be studied by specialists in various fields of activity (urban planners, architects, sociologists, economists, engineers, technologists, etc.).

As a result of the analysis of world experience of reconstruction of public spaces it was revealed that the transformation of public territories in world practice can be carried out according to two schemes:

- focus on improving recreational potential;

- creation of continuous transport corridors for pedestrians and cyclists, formation of dynamic public spaces with different activities. The formation and transformation of urban public recreational areas should have a well-thought-out strategy for the systematic, phased implementation of construction and landscaping works. To do this, it is necessary to develop a strategy or concept for the development of the territory and adhere to it.

Conclusions: Thus, the competent organization of public space serves as the foundation for the development of the city, giving it a unique appearance and a comfortable urban environment for all categories of citizens, contributes to a high-quality life.

Key words: reconstruction, landscaping, urban public spaces, parks, squares, squares, bike paths, landscaping, small architectural forms, lighting.

Раздел 2. Строительство

УДК: 691.328.4:666.972.124

МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БАЗАЛЬТОФИБРОБЕТОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОЛУСУХОГО ПРЕССОВАНИЯ ИЗ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ СЫРЬЕВЫХ СМЕСЕЙ НА КАРБОНАТНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Когай Э.А., Макарова Е.С., Федоркин С.И.

Крымский Федеральный Университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
Email: kogay_emil@mail.ru

Анотация: Настоящая статья посвящена изучению прессованного мелкозернистого базальтофибробетона из механоактивированных сырьевых смесей на основе известняковых отходов камнедобычи. Исследована микроструктура прессованных образцов. Проведена опытно-промышленная проверка технологии механоактивации и прессования мелкоштучных изделий. Показано, что кирпич и тротуарная плитка, изготовленные по этой технологии, соответствуют максимальным требованиям ГОСТ и имеют марку по прочности при сжатии не менее М400 (В30), морозостойкость не менее F200, истираемость G1.

Предмет исследования: мелкозернистые базальтофибробетонны полусухого прессования из механоактивированных сырьевых смесей на карбонатных заполнителях.

Материалы и методы: для проведения исследований использовались известняки месторождений Крыма, портландцемент, базальтовые волокна. Приготовление базальтофибробетонных смесей осуществлялась на лопастном смесителе-активаторе, оснащенный роторной дробилкой. Частота вращения ротора – 1500 об/мин. Из полученной базальтофибросмеси прессовали на прессе цилиндры высотой и диаметром 5 см при удельном давлении прессования 5, 10, 15, 20,25 МПа. Полученные цилиндры в возрасте 28 сут испытывали на сжатие по ГОСТ 10180-2012. Микроструктуру образцов базальтофибробетона изучали с помощью электронной сканирующей микроскопии на электронном микроскопе РЭМ-106, SELMI.

Результаты: полученные результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о росте прочности образцов базальтофибробетона при увеличении давления прессования для всех видов известняковых заполнителей. По сравнению с образцами на неактивированной сырьевой смеси средняя плотность образцов на механоактивированной сырьевой смеси возрастает на 2-5%. Предел прочности при сжатии, соответственно, увеличивается в 1,22 – 1,46 раза, причем с ростом давления прессования до 15-25 МПа прирост прочности возрастает с 12 – 26% до 31 – 46%.

Выводы: Показано, что максимальная прочность материала при сжатии соответствует удельному давлению прессования 15 – 25 МПа, независимо от вида известнякового сырья, и составляет 40 – 50 МПа. Исследована микроструктура прессованных образцов и установлено, что по сравнению с базальтофибробетоном, полученным из механоактивированных сырьевых смесей вибрированием, характеризуется более плотной структурой материала и пониженным содержанием трещин, пор и других структурных дефектов.

Ключевые слова: базальтофибробетон, известняковые отходы, полусухое прессование, прочность, микроструктура, мелкоштучные изделия, механоактивация, карбонатный заполнитель, кирпич, тротуарная плитка, смеситель-активатор.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время большое внимание уделяется исследованиям и разработке технологий изготовления изделий из фибробетона. Фибробетон обладает высокой ударной прочностью, прочностью на растяжение и срез, повышенной морозостойкостью, что дает возможность выделить его в самостоятельную группу конструкционных материалов с присущими только им особенностями структуры и свойств. [1]

В настоящее время в Крыму эксплуатируется более 100 карьеров по добыче известнякового камня и стеновых блоков для строительства жилых и общественных зданий, а также других объектов различного назначения [2]. По некоторым данным, ежегодно образуется 1 млн.м³ известняковых отходов. Вопросы использования отходов известняка в качестве заполнителя для дисперсно-армированного бетона, на наш взгляд, изучены недостаточно и вызывают необходимость дополнительных исследований.

При разработке современных технологий производства строительных материалов многими специалистами используется способы механохимической активации сырьевых материалов с использованием высокоскоростных агрегатов, например, ударного действия. Механоактивация сырья приводит к качественным и количественным изменениям в характере химической связи и химическом составе твердых тел. Это открывает возможности для разработки новых методов переработки минерального сырья. Значительное увеличение реакционной способности твердых тел при механоактивации может служить методом направленного регулирования их физико-химических свойств [3].

Повышению физико-механических свойств фибробетонов, особенно для мелкоштучных изделий, является использование в технологии их изготовления способа полусухого прессования.

Создание эффективной технологии изготовления кирпича и тротуарной плитки из базальтофибробетонов на основе известняковых отходов камнедобычи с использованием

механоактивации сырья является перспективным направлением в производстве этого вида мелкоштучных изделий и позволит существенно улучшить их качественные характеристики.

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Повышение использования потенциальных прочностных и вяжущих свойств составляющих бетона является важной задачей современного строительного материаловедения. Вопросу повышения прочности и долговечности бетона посвящены работы большого количества как отечественных, так и зарубежных ученых. В числе наиболее перспективных направлений повышения прочностных показателей бетона являются уплотнение его прессованием.

Влияние прессования на прочность бетона изложено в работах Ананенко А. А., Ахвердова И. Н. [4], Бабкова В. В. [5], Бутенко С. А., Лоховицкого Г. З. [6], Мурашкина Г. В., Недосеко И. В., Рахимова Р. З., Салалкина А. В. [7], Сеськина И. Е., Alsadey S., Druta C. [8-12].

Изучению прочности и долговечности мелкоштучных изделий из прессованного фибробетона посвящены работы И.Е. Сеськина и А.С. Баранова [8-10]. Ими показано, что дисперсное армирование гиперпрессованного бетона способствует увеличению его долговечности. Опытные данные показали, что при высокой интенсивности гиперпрессования (24 МПа) образцы из гиперпрессованного фибробетона не только не имели потерь прочности при сжатии при попеременном замораживании-оттаивании, но и прослеживалось некоторое увеличение их прочности. В результате проведенных исследований применение дисперсного армирования в гиперпрессованных бетонах позволяет повысить их долговечность. Ими, также, показано, что при увеличении интенсивности гиперпрессования, в момент снятия прессующего давления, происходит нарушение структуры гиперпрессованного бетона за счет деформации упругого последействия, достигающего 9 % и экспериментально установлено снижение величины деформации упругого последействия за счет увеличения начальной прочности

гиперпрессованного бетона более чем в 3 раза при армировании его высокомодульными волокнами.

Анализ основных публикаций свидетельствует о необходимости дальнейших исследований прессованных фибробетонов, совершенствование технологии изготовления изделий из них, на основе вторичного сырья, например, известняковых отходов камнедобычи, с использованием метода механохимической активации сырьевых смесей.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью настоящей работы являлось исследование мелкозернистых базальтофибробетонов для изготовления мелкоштучных изделий, полученных полусухим прессованием из механоактивированных сырьевых смесей на основе известняковых отходов камнедобычи.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- изучено влияние полусухого прессования на структуру и физико-механические свойства базальтофибробетона из механоактивированных сырьевых смесей на основе известняковых отходов камнедобычи;
- обоснованы оптимальные технологические параметры изготовления прессованных кирпича и тротуарной плитки, в лабораторных и опытно – промышленных условиях.

Сырьевые материалы и методы исследований

В настоящем исследовании использованы известняки следующих месторождений Крыма:

- нуммулитовый известняк Скалистого месторождения;
- известняк-ракушечник Бешараньского месторождения;
- мраморовидный известняк месторождения Мраморное;

–портландцемент Новороссийского цементного завода ЦЕМ I 42,5Н (ПЦ 500ДО) и базальтовое волокно РБР-18-Т10/12 длиной 12 мм.

Физико-механические свойства известняков приведены в табл. 1. Основные характеристики базальтового волокна приведены в табл. 2.

Таблица 1. Физико-механические свойства Крымских известняков
Table 1. Physical and mechanical properties of Crimean limestones

Вид известняка	Истинная плотность, г/см ³	Средняя плотность, г/см ³	Пористость, %	Водопоглощение, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициенты	
						размягчения	Морозостойкости
Нуммулитовый известняк	2,7 – 2,73	1,5 – 2,1	23,0 – 44,3	6,9 – 19,3	4,1 – 34,6	0,46 – 0,97	0,55 – 0,99
Известняк-ракушечник	2,7 – 2,72	0,85 – 1,9	30,2 – 66,9	7,4 – 33,3	0,4 – 2,6	0,56 – 0,96	0,51 – 0,98
Мраморовидный известняк	2,7 – 2,75	2,6 – 2,7	1,4 – 4,0	0,05 – 1,3	35,7 – 182,3	0,75 – 1,0	0,74 – 0,99

Таблица 2. Основные характеристики базальтового волокна
Table 2. Main characteristics of basalt fiber

Диаметр, мм	Длина, мм	Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа	Модуль упругости, ГПа	Относительное удлинение, %
0,5	5-12	2670	3000 – 3500	70 – 90	3,0 – 3,2

Приготовление базальтофибробетонных смесей осуществлялась на лопастном смесителе-активаторе Р1-00-00, объемом 20 л, оснащенный роторной дробилкой (рис. 1). Частота вращения ротора – 1500 об/мин. Сырьевая смесь в роторной дробилке, подвергалась многократному ударному

воздействию с максимальной скоростью нагружения до 40 м/с и при этом активировалась. Время гомогенизации смеси составляло 60 с. Ввод базальтовых волокон в смеситель-активатор осуществлялся одновременно со всеми компонентами сырьевой смеси.

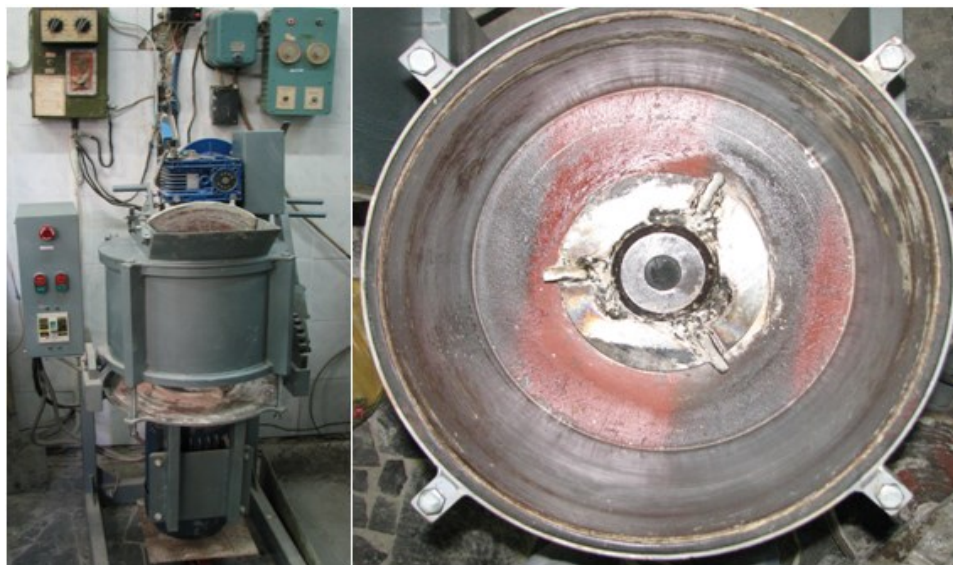


Рис. 1. Скоростной смеситель-активатор с роторной дробилкой Р1-00-00. а) общий вид смесителя; б) роторная дробилка.

Fig. 1. High-speed mixer-activator with rotary crusher P1-00-00. a) general view of the mixer; b) rotary crusher.

Для отработки технологии в смесителе-активаторе использованы следующие способы приготовления базальтофибробетонной смеси на карбонатных заполнителях:

- 1) ввод базальтового волокна в готовую бетонную смесь;
- 2) ввод базальтового волокна в сухую смесь;
- 3) ввод базальтового волокна одновременно со всеми компонентами бетонной смеси.

Состав минеральной части фибробетонной смеси было следующей: цемент:известняковый заполнитель – 1:3 (по массе). Максимальная крупность зерен карбонатного заполнителя – 5 мм. Количество вводимого базальтового волокна составляло 0,6% от массы сухой смеси. Влажность сырьевой смеси – 10% (мас.) Из полученной базальтофибросмеси прессовали на прессе П-10 цилиндры высотой и диаметром 5 см при удельном давлении прессования 5, 10, 15, 20,25 МПа. Полученные цилиндры в возрасте 28 сут испытывали на сжатие по ГОСТ 10180-2012.

Микроструктуру образцов базальтофибробетона изучали с помощью электронной сканирующей микроскопии на электронном микроскопе РЭМ-106, SELMI.

Результаты экспериментальных исследований и их анализ

Нашими предыдущими исследованиями технологии изготовления базальтофибробетона на карбонатных заполнителях с использованием механоактивации сырья [13] показана эффективность технологии приготовления базальтофибробетонных смесей на скоростном смесителе-активаторе, оснащенный роторной дробилкой, при вводе в активатор базальтового волокна одновременно со всеми компонентами бетонной смеси. Этот способ позволяет повысить прочность базальтофибробетона на 10-20 % по сравнению с другими способами. При этом «сохраняемость» базальтовых волокон при приготовлении смеси в смесителе-активаторе составила от 62 % (нуммулитовый известняк) до 60 % (известняк-ракушечник) и до 48 % (мраморовидный известняк). Оптимальное содержание базальтовых волокон в сырьевой смеси составляло 0,6% (мас.).

Физико-механические свойства базальтофибробетона в зависимости от вида известняков и давления прессования,

изготовленных по описанной выше методике с использованием смесителя-активатора с роторной дробилкой приведены в табл. 3. Для сравнения в табл. 3 приведены данные средней плотности и

предела прочности при сжатии образцов из тех же сырьевых смесей, полученных без активации при отключенном роторе в смесителе-активаторе (колонки 3 и 5)

Таблица 3. Влияние давления прессования на плотность и прочность механоактивированного и неактивированного базальтофибробетона в зависимости от вида известняков

Table 3. The effect of pressing pressure on the density and strength of mechanically activated and non-activated basalt fiber concrete, depending on the type of limestone

Вид известня-кового заполнителя	Давление прессования, МПа	Средняя плотность образцов из сырьевой смеси, кг/м ³		Предел прочности при сжатии образцов из сырьевой смеси, МПа	
		неактивированной	активированной	неактивированной	активированной
1	2	3	4	5	6
Мраморовидный известняк	5	2290	2350	28,2	36,2
	10	2410	2490	31,8	40,1
	15	2500	2600	36,0	47,3
	20	2580	2630	37,2	49,5
	25	2600	2670	37,5	49,9
Нуммулитовый известняк	5	2010	2080	25,2	33,0
	10	2060	2130	27,4	35,6
	15	2120	2230	30,1	40,9
	20	2210	2270	33,0	47,4
	25	2250	2310	33,8	49,5
Известняк-ракушечник	5	2020	2040	26,3	34,2
	10	2050	2070	29,2	35,7
	15	2100	2120	32,1	42,1
	20	2130	2180	34,6	46,5
	25	2150	2200	35,0	49,2

Полученные результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о росте прочности образцов базальтофибробетона при увеличении давления прессования для всех видов известняковых заполнителей. По сравнению с образцами на неактивированной сырьевой смеси средняя плотность образцов на механоактивированной сырьевой смеси возрастает на 2-5%. Предел прочности при сжатии, соответственно, увеличивается в 1,22 – 1,46 раза, причем с ростом давления прессования до 15-25 МПа прирост прочности возрастает с 12 – 26% до 31 – 46%. Это объясняется получением более плотной структуры образцов, удалением части несвязанной воды и улучшением сцепления базальтовых волокон и известнякового заполнителя с цементом за счет заполнения цементным молоком открытых пор и трещин в зернах заполнителя.

Следует отметить, что несмотря на существенную разницу в прочности материнской породы мраморовидного известняка и известняка – ракушечника, которая составляет 36,7 – 182,3 МПа и 0,4 – 2,6 МПа, соответственно (табл. 1), прочность образцов базальтофибробетона на этих заполнителях различается незначительно (табл. 3). Это связано с тем, что “сохраняемость” базальтовых волокон в мраморовидном известняке, как показали наши предыдущие исследования [11], составляет 48%, а в известняке – ракушечнике 60%. Снижение

количества сохраняемых волокон приводит к уменьшению прочности образцов на мраморовидном известняке.

Микроструктура образцов базальтофибробетона на основе известняковых заполнителей, полученных из механоактивированных сырьевых смесей и образцов, полученных по обычной вибрационной технологии, изготовленных методом полусухого прессования при удельном давлении 20 МПа, приведена на рис. 2.

На фотографиях сколов образцов при увеличении 500^{\times} видно, что прессованный базальтофибробетон характеризуется более плотной микроструктурой со значительно меньшим количеством микротрещин, пустот и других дефектов структуры, что объясняет его высокую прочность.

В заводских условиях была проведена опытно-промышленная проверка технологии прессования пустотелого кирпича и тротуарной плитки из механоактивированной в смесителе – активаторе P1-00-00 сырьевой смеси на основе мраморовидного известняка с влажностью 10% (мас.). Прессование изделий осуществляли на гидравлическом прессе двустороннего действия А 300 – С2 фирмы “Агрегат”. Удельное давление прессования этих изделий составляло 20 МПа.

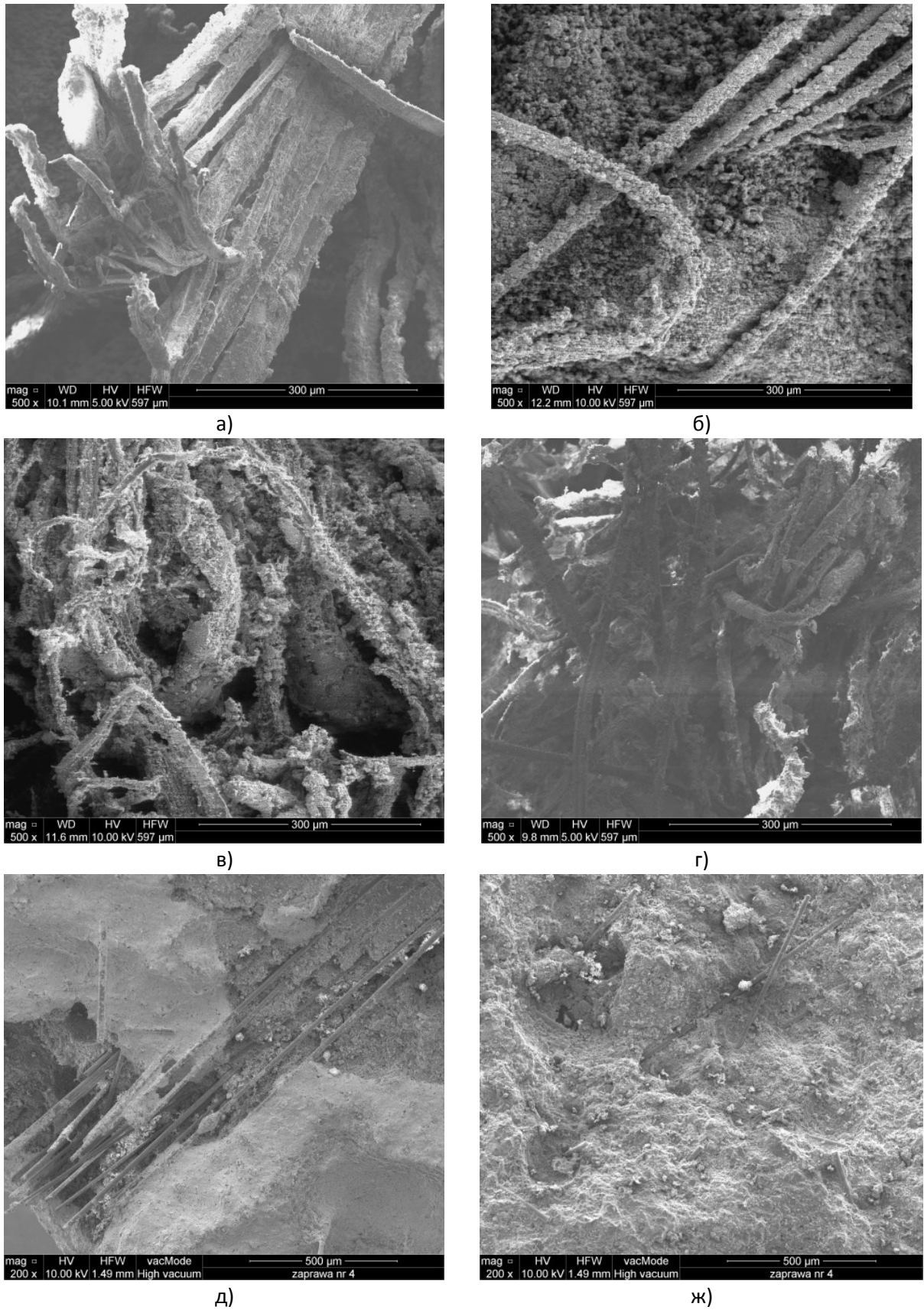


Рис.2. Микроструктура базальтофибробетона на основе мраморовидного (а, б), нуммулитового (в, г), и известняка-ракушечника (д, ж), полученного по вибрационной технологии (а, в, д) и методом полусухого прессования (б, г, ж).
Fig.2. Microstructure of basalt fibroconcrete based on marble (a, б), nummulite (в, г), and shell limestone (д, ж) obtained by vibration technology (а, в, д) and by semi-dry pressing (б, г, ж).



Рис. 3. Опытные образцы тротуарной плитки и кирпича
Fig. 3. Prototypes of paving slabs and bricks

Испытания опытных образцов кирпича и тротуарной плитки (рис. 3) показали их полное соответствие максимальным требованиям ГОСТ 6133 – 2019 и ГОСТ 17608 – 2017. Основные физико-механические характеристики базальтофибробетона на известняковых заполнителях из механоактивированных сырьевых смесей в прессованных мелкоштучных изделиях следующие: предел прочности при сжатии – не менее 40 МПа (М400, класс бетона В30), морозостойкость – не менее F200, истираемость G1.

ВЫВОДЫ

1. Изучен прессованный мелкозернистый базальтофибробетон из механоактивированных сырьевых смесей на основе известняковых отходов камнедобычи. Показано, что максимальная прочность материала при сжатии соответствует удельному давлению прессования 15 – 25 МПа, независимо от вида известнякового сырья, и составляет 40 – 50 МПа.

2. Исследована микроструктура прессованных образцов и установлено, что по сравнению с базальтофибробетоном, полученным из механоактивированных сырьевых смесей вибрированием, характеризуется более плотной структурой материала и пониженным содержанием трещин, пор и других структурных дефектов.

3. Проведена опытно-промышленная проверка технологии механоактивации и полусухого прессования мелкоштучных изделий. Показано, что кирпич и тротуарная плитка опытных партий из базальтофибробетона соответствует максимальным требованиям ГОСТ: марка прочности при сжатии – не менее М400 (В30), морозостойкость – не менее F200, истираемость G1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пустовгар А.П. Эффективность использования дисперсного армирования бетонов и строительных растворов пропиленовой и базальтовой фиброй/ А.П. Пустовгар, А.Ю. Абрамова, Н.Е. Еремина // Технологии бетонов. – 2019, №7-8. – с.34-42.
2. Любомирский Н.В. Минерально-сырьевая база строительной индустрии Крыма: Справочник/ авт. – сост. Н.В. Любомирский, С.И. Федоркин. – Симферополь: ИТ «Ариал», 2021. – 540 с.
3. Федоркин С.И. Механоактивация вторичного сырья в производстве строительных материалов/С.И. Федоркин. – Симферополь: Изд. «Таврида», 1997. – 180 с.
4. Ахвердов И. Н. Основы физики бетона / И. Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981 – 464 с.
5. Бабков В. В. Особенности структурообразования высокопрочного цементного камня в условиях длительного твердения / В. В. Бабков, Р. Р. Сахибгареев, А. Е. Чуйкин, Р. А. Анваров, П. Г. Комохов // Строительные материалы. – 2003. –N10. – С.42-43.
6. Лоховицкий Г. З. Теория гидропрессованного бетона / Г. З. Лоховицкий // Бетонные и железобетонные конструкции: Сб. тр. /ТНИСГЭИ. – Тбилиси, 1948. – С.7-12
7. Саталкин А. В. Исследование свойств прессованного бетона / А. В. Саталкин. – М.: Союзстрой, 1938. – 38 с.
8. Баранов А.С. Прочность и долговечность мелкоштучных изделий из гиперпрессованного фибробетона: диссертация кандидата технических наук: 05.23.05/ Баранов Александр Сергеевич. – Самара, 2017. – 129 с.

9. Сеськин И. Е. Прочность гиперпрессованного фибробетона / И. Е. Сеськин, А. С. Баранов // Строительные материалы. – 2012. – N10. – С.72-73.

10. Сеськин И. Е. Влияние суперпластификатора С-3 на формирование прочности гиперпрессованного бетона / И. Е. Сеськин, А. С. Баранов // Строительные материалы. – 2013. – N1. – С.32-33.

11. Alsadey S. Influence of superplasticizer on strength of concrete / S. Alsadey // International journal of research in engineering and Technology. –2012. Vol. 1, – N 3. – p.164-166.

12. Druta C. Tensile strength and bonding characteristics of self-compacting concrete: A Thesis Submitted to the graduate faculty of the Louisiana state university and agricultural and mechanical college in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of science in engineering science in department of engineering science / C. Druta. –B. s., Polytechnic university of Bucharest, August 2003. – P.125

13. Когай Э.А. Совершенствование технологии изготовления базальтофибробетона на известняковых заполнителях с использованием механоактивации сырья / Э.А. Когай, Е.С. Макарова, С.И. Федоркин // Строительство и техногенная безопасность. – 2022. – N26 (78). – с. 27 – 34.

REFERENCES

1. Pustovgar A.P. Effektivnost' ispol'zovaniia dispersnogo armirovaniia betonov i stroitel'nykh rastvorov propilenovoi i bazal'tovoi fibroi/ A.P. Pustovgar, A.IU. Abramova, N.E. Eremina // Tekhnologii betonov. 2019, Vol.7-8. p.34-42.

2. Liubomirskii N.V. Mineral'no-syr'evaia baza stroitel'noi industrii Kryma: Spravochnik/ avt. sost. N.V. Liubomirskii, S.I. Fedorkin. Simferopol': IT «Arial», 2021. 540 p.

3. Fedorkin S.I. Mekhanoaktivatsiia vtorichnogo syr'ia v proizvodstve stroitel'nykh materialov/S.I. Fedorkin. Simferopol': Izd. «Tavrida», 1997. 180 p.

4. Akhverdov I. N. Osnovy fiziki betona / I. N. Akhverdov. Moskva: Stroizdat, 1981 – 464 p.

5. Babkov V. V. Osobennosti strukturoobrazovaniia vysokoprochnogo tsementnogo kamnia v usloviakh dlitel'nogo tverdeniia / V. V. Babkov, R. R. Sakhigareev, A. E. Chuikin, R. A. Anvarov, P. G. Komokhov // Stroitel'nye materialy. 2003. –N10. pp.42-43.

6. Lkhovitskii G. Z. Teoriia gidroressovannogo betona / G. Z. Lkhovitskii // Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii: Sb. tr. /TNISGEI. Tbilisi, 1948. C.7-12

7. Satalkin A. V. Issledovanie svoistv pressovannogo betona / A. V. Satalkin. Moskva: Soiuzstroj, 1938. 38 p.

8. Baranov A.S. Prochnost' i dolgovechnost' melkoshtuchnykh izdelii iz giperpressovanogo fibrobetona: dissertatsiia kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.23.05/ Baranov Aleksandr Sergeevich. Samara, 2017. 129 c.

9. Ses'kin I. E. Prochnost' giperpressovannogo fibrobetona / I. E. Ses'kin, A. S. Baranov // Stroitel'nye materialy. 2012. N10. C.72-73.

10. Ses'kin I. E. Vliianie superplastifikatora S-3 na formirovanie prochnosti giperpressovannogo betona / I. E. Ses'kin, A. S. Baranov // Stroitel'nye materialy. 2013. N1. –C.32-33.

11. Alsadey S. Influence of superplasticizer on strength of concrete / S. Alsadey // International journal of research in engineering and Technology. –2012. Vol. 1, – N 3. – p.164-166.

12. Druta C. Tensile strength and bonding characteristics of self-compacting concrete: A Thesis Submitted to the graduate faculty of the Louisiana state university and agricultural and mechanical college in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of science in engineering science in department of engineering science / C. Druta. –B. s., Polytechnic university of Bucharest, August 2003. – P.125

13. Kogai E.A. Sovershenstvovanie tekhnologii izgotovleniia bazal'tofibrobetona na izvestniakovykh zapolniteliakh s ispol'zovaniem mekhanoaktivatsii syr'ia / E.A. Kogai, E.S. Makarova, S.I. Fedorkin // Stroitel'stvo i tekhnogennaia bezopasnost'. 2022. N 26 (78). p. 27 – 34.

FINE-GRAINED SEMI-DRY PRESSED BASALT FIBER CONCRETE MATERIALS FROM MECHANICALLY ACTIVATED RAW MATERIALS MIXTURES ON CARBONATE FILLERS

Kogai E.A., Makarova E.S, Fedorkin S.I.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Academy of construction and architecture,
181, Kievskaya str., Simferopol, 295050, Russian Federation
Email: kogay_emil@mail.ru

Abstract: This article is devoted to the study of pressed fine-grained basalt fiber concrete from mechanically activated raw materials mixtures based on limestone waste from stone mining. The microstructure of the pressed samples was investigated. A pilot test of the technology of mechanical activation and pressing of small-piece products was carried out. It is shown that bricks and paving slabs made using this technology meet the maximum requirements of GOST and have a brand of compressive strength of at least M400 (B30), frost resistance of at least F200, abrasion resistance of G1.

Subject of research: fine-grained semi-dry pressed basalt fiber concrete from mechanically activated raw materials mixtures on carbonate fillers.

Materials and methods: limestone deposits of the Crimea, Portland cement, basalt fibers were used for research. The preparation of basalt-fiber concrete mixtures was carried out on a paddle mixer-activator equipped with a rotary crusher. The rotor speed is 1500 rpm. From the resulting basalt fiber mixture, cylinders with a height and diameter of 5 cm were pressed on a press at a specific pressing pressure of 5, 10, 15, 20.25 MPa. The resulting cylinders at the age of 28 days were tested for compression according to GOST 10180-2012. The microstructure of basalt fiber concrete samples was studied using electron scanning microscopy on an electron microscope SEM-106, SELMI.

Results: the obtained results of experimental studies indicate an increase in the strength of basalt fiber concrete samples with an increase in pressing pressure for all types of limestone aggregates. Compared with samples on an inactive raw material mixture, the average density of samples on a mechanically activated raw material mixture increases by 2-5%. The compressive strength, respectively, increases by 1.22 – 1.46 times, and with an increase in pressing pressure to 15-25 MPa, the strength gain increases from 12-26% to 31-46%.

Conclusions: It is shown that the maximum compressive strength of the material corresponds to a specific pressing pressure of 15-25 MPa, regardless of the type of limestone raw material, and is 40-50 MPa. The microstructure of the pressed samples was studied and it was found that, compared with basalt fiber concrete obtained from mechanically activated raw materials mixtures by vibration, it is characterized by a denser structure of the material and a reduced content of cracks, pores and other structural defects.

Key words: basalt fiber concrete, limestone waste, semi-dry pressing, strength, microstructure, small-piece products, mechanical activation, carbonate filler, brick, paving slabs, mixer activator.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАБОРА ПРОЧНОСТИ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА В АГРЕССИВНОЙ СРЕДЕ. С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУЛЬФАТОСТОЙКОГО ЦЕМЕНТА

Свищ И.С.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,
Институт «Академия строительства и архитектуры»,
295493, г. Симферополь, ул. Киевская, 181,
e-mail: igorswishch@gmail.com

Аннотация. Представлены экспериментальные данные изменения прочности на сжатие тяжелого бетона с использованием сульфатостойкого цемента, крымских заполнителей и добавки на основе эфиров поликарбоксилатов при выдерживании их в агрессивной среде – жидкости из водоочистных сооружений пгт. Гвардейское, Симферопольского района, Республика Крым. Разработаны составы тяжелых бетонов с применением гиперпластифицирующих (поликарбоксилатных) добавок, которые способны повышать свои физико-механические характеристики во времени при эксплуатации в условиях агрессивных сред. Актуальным является, дальнейшее развитие теоретических и экспериментальных основ разработок при производстве цементных бетонов с использованием суперпластифицирующих добавок последнего поколения на основе поликарбоксилатов для очистных и рекреационных сооружений. Долговечность цементных бетонов ключевой вопрос использования их в очистных и рекреационных сооружениях. Цементные бетоны могут быть подвержены сульфатной коррозии. Сульфаты имеют сложный механизм воздействия на активный в химическом отношении компонент бетона — цементный камень. Сульфаты имеют сложный механизм воздействия на активный в химическом отношении компонент бетона — цементный камень. Коррозионное воздействие может усиливаться или ослабевать в зависимости от концентрации агрессивных компонентов, при переменном уровне воздействия растворов солей на бетон конструкции, периодическом высушивании, частичном погружении. Это обусловлено тем, что на химические процессы взаимодействия агрессивной среды и цементного камня в бетоне накладывается влияние физических процессов массопереноса растворимых компонентов и кристаллизации продуктов коррозии или растворимых компонентов, которые могут ускорять или тормозить химические процессы. Установлены параметры прочностных характеристик оптимизированных составов в разные сроки набора прочности, а также установлена средняя плотность и водонепроницаемость оптимизированных составов бетонов.

Предмет исследования: тяжелый бетон с использованием сульфатостойкого цемента, крымских заполнителей и добавок на основе сложных поликарбоксилатных эфиров

Материалы и методы: Исследование проводилось на специально подобранных составах бетонных смесей с подвижностью РЗ на основе наиболее распространенного в Крыму сырья с поликарбоксилатной пластифицирующей добавкой и без нее. Агрессивной средой служила жидкость, взятая с водоочистной станции в поселке городского типа Гвардейское Симферопольского района Республики Крым.

Результаты: 1. Использование добавки Hidetal-GP-9 означает снижение расхода воды на 15%, при этом содержание влаги снижается с 0,65 до 0,55 и сохраняется подвижность марки РЗ. 2. В результате проведенного исследования было установлено, что бетонные композиции с использованием карбоксилатов показали наилучшие результаты по повышению прочности, особенно в агрессивной среде. Так, композиция №4 показала прочность бетона на сжатие после хранения в агрессивной среде в течение 745 дней $R_{com} = 475 \text{ кг/см}^2$ (47,5 МПа). 3. После длительного хранения в агрессивной среде, в частности в течение 2920 дней, состав № 4 показал прочность бетона на сжатие, равную 519 кг/см^2 (51,9 МПа). 4. При исследовании внешнего вида образцов кубов, хранящихся в агрессивной среде в течение 2920 дней, было установлено, что состояние образцов было удовлетворительным. На поверхности образцов отсутствовали следы коррозии бетона; отсутствовали трещины или сколы бетонного камня. 5. Средняя плотность исследованных бетонов соответствует тяжелым бетонам по общей классификации. В среднем плотность бетонного камня соответствует пределам 2350 – 2450 кг/м³.

Ключевые слова: поликарбоксилат, сульфатостойкий цемент, заполнители, бетон, прочность, добавки, состав, агрессивная среда.

ВВЕДЕНИЕ. АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В Российской Федерации проектом долгосрочной стратегии является развитие производства строительных материалов и конструкций на период до 2020 г. и дальнейшую перспективу до 2030 года. Предполагается увеличить производство портландцемента в 4 раза.

Вместе с тем, производство портландцемента связано с высоким потреблением природных минеральных сырьевых и энергетических ресурсов и сопровождается высокими объемами выбросов в окружающую среду, только диоксида углерода

мировая цементная промышленность выбрасывает в окружающую среду более 7% от общего объема его выбросов всеми отраслями.

Является актуальным дальнейшее развитие теоретических и экспериментальных основ разработок при производстве цементных бетонов с использованием суперпластифицирующих добавок последнего поколения на основе поликарбоксилатов для очистных и рекреационных сооружений.

Долговечность цементных бетонов ключевой вопрос использования их в очистных и рекреационных сооружениях. Из [12,13] следует, что наибольшее значение на стойкость цементного

камня, в бетонные и железобетонные сооружения, при воздействии на него сульфатов имеют гидросульфатоалюминат кальция (эттрингит) и гидросульфокарбоксилат кальция (таумасит). Эттрингит и таумасит всегда находятся в кристаллической смеси.

Сульфатной коррозии может быть подвержен бетон, который эксплуатируется в различных условиях.

Сульфаты, вызывающие проявление процессов сульфатной коррозии, встречаются в большинстве природных вод. В пресных водоемах содержание сульфат-ионов достигает 60 мг/л, в минерализованных грунтовых водах оно составляет 200—400 мг/л, а в морской воде — 2500—2700 мг/л.

Сульфаты имеют сложный механизм воздействия на активный в химическом отношении компонент бетона — цементный камень.

Коррозионное воздействие может усиливаться или ослабевать в зависимости от концентрации агрессивных компонентов, при переменном уровне воздействия растворов солей на бетон конструкции, периодическом высушивании, частичном погружении.

Это обусловлено тем, что на химические процессы взаимодействия агрессивной среды и цементного камня в бетоне накладывается влияние физических процессов массопереноса растворимых компонентов и кристаллизации продуктов коррозии или растворимых компонентов, которые могут ускорять или тормозить химические процессы. [12,13]

В последнее время ряд ученых занимается созданием математических моделей коррозии бетонов. В частности, Б.В. Гусев и А.С. Файвусович предложили математическую модель процессов сульфатной коррозии в условиях направленного влагопереноса, которая дает возможность планирования и усовершенствования методики проведения экспериментальных исследований, для разработки инженерных методик прогнозирования долговечности сооружений, эксплуатируемых в сульфатсодержащих средах. [13]

К.И. Чижик и Н.В. Белоокая предложили модель биологической коррозии бетона в системах канализации. [15]

В процессе исследования было установлено, что активная химическая коррозия происходит за счет процессов жизнедеятельности микроорганизмов и грибов, таких как аммонифицирующих и нитрифицирующих. Установлено, что биологическое воздействие микроорганизмов существенно понижает РН среды, что так же влияет на процесс коррозии бетона. [15]

Надо отметить, то практически все эти факторы химического и биологического характера присутствуют в пробе агрессивной среды, представленной в таблице 1.

Так же, одним из факторов влияние на коррозионную стойкость бетонов является применение химических добавок.

Так, например, в строительной индустрии производства бетона широко применяются пластифицирующие и гиперпластифицирующие добавки, добавки-ускорители твердения бетона, воздухововлекающие добавки, разжижающие примеси и другие виды добавок, которые существенным образом влияют на те или иные качества бетона и бетонных смесей.

Особенно полезны пластифицирующие добавки и разжижающие примеси, так как они позволяют производителям выполнять два требования: хорошая обрабатываемость бетона во время его формирования и снижение соотношения (в/ц) между водой и вяжущими материалами, которое способствует повышению прочности, в том числе и коррозионной устойчивости затвердевшего бетона.

Термин «разжижающая примесь» используется достаточно много лет. Стандарт ASTM C 494 классифицирует разжижающие примеси на несколько категорий:

- Тип А, Разжижающая
- Тип D, Разжижающая и замедляющая
- Тип E, Разжижающая и ускоряющая
- Тип F, Разжижающая, высокоэффективная
- Тип G, Разжижающая, высокоэффективная и замедляющая

ASTM C 1017 сосредоточен на обработке бетонной смеси с использованием химической примеси с единственной целью – производство подвижного бетона без редуцирования воды для приготовления раствора.

В большинстве случаев примеси классификации C 494 Тип F или G также можно использовать способом, указанным в ASTM C 1017. Эти высокоэффективные разжижающие примеси не просто редуцируют (уменьшают в количестве) воду затвердения, но также и рассеивают частицы цемента. Подобное рассеивающее действие впоследствии позволяет уменьшить количество воды или повысить степень подвижности, или получить оба эффекта.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью работы является исследование набора прочности на сжатие тяжелого бетона с использованием сульфатостойкого цемента, крымских заполнителей и добавки на основе эфиров поликарбоксилатов при выдерживании их в агрессивной среде.

Для достижения поставленной цели была решена задача оптимизации состава бетона на местных заполнителях, сульфатостойком цементе, а также с использованием добавок на основе эфиров поликарбоксилатов и определения прочности на сжатие в кратковременные и долговременные сроки.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является тяжелый бетон с использованием сульфатостойкого цемента, крымских заполнителей и добавки на основе эфиров поликарбоксилатов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведение исследований проводилось на специально подобранных составах бетонных смесей подвижностью ПЗ на наиболее распространенных в Крыму сырьевых компонентах с поликарбосилатной пластифицирующей добавкой и без нее.

Характеристики компонентов бетонной смеси:

- вяжущее – сульфатостойкий портландцемент (ССПЦ), марка – М400 ДО, плотность – 3,1 т/м³;

- щебень – диоритовый Лозовского месторождения, фракция 5-20 мм; плотность – 2,65 г/см³; насыпная плотность – $\rho_n = 1,55$ г/см³; влажность $W = 3,3\%$;

- песок – кварцевый морской Донузлавского месторождения, темно синего цвета, $M_k = 1,8$; насыпная плотность $\rho_n = 1,4$ г/см³; влажность $W = 7,4\%$ и кварцевый речной, Донской (г. Ростов-на-Дону), $M_k = 1,6$, насыпная плотность – $\rho_n = 1,45$ г/см³; влажность $W = 10,8\%$;

- добавка в бетон – поликарбосилатная Хидетал-ГП-9;

- вода – пресная техническая.

Проектирование составов бетонов производилось по методу абсолютных объемов [1]. Получены следующие составы бетонных смесей.

Состав № 1: Цемент = 334 кг/м³; щебень = 1197 кг/м³; песок (донузлавский, темно-синего цвета) = 658 кг/м³; вода = 223 л/м³.

Состав № 2: Цемент = 334 кг/м³; щебень = 1197 кг/м³; песок (донской, желтый) = 658 кг/м³; вода = 221 л/м³.

Состав № 3: Цемент = 335 кг/м³; щебень = 1195 кг/м³; песок (донузлавский, темно-синего цвета) = 658 кг/м³; вода = 180 л/м³; добавка поликарбосилатная, $D = 3,5$ л/м³.

Состав № 4: Цемент = 335 кг/м³; щебень = 1195 кг/м³; песок (донской, желтый) = 658 кг/м³; вода = 180 л/м³; добавка поликарбосилатная, $D = 3,1$ л/м³.

В результате подборов составов бетонных смесей установлено, что добавка Хидетал-ГП-9 позволяет уменьшить расход воды на 15 % и, тем самым снизить В/Ц с 0,65 до 0,55 при сохранении подвижности бетонной смеси марки ПЗ.

Составы № 1 и № 2 изготовлены без добавок, составы № 3 и № 4 изготовлены на основе добавок эфиров карбоксилатов. Было изготовлено 8 партий кубов размеров 0,1×0,1×0,1 м, в количестве 18 шт. каждая. Часть из них была установлена на естественные (стандартные) условия набора прочности, вторая часть была установлена в агрессивную среду.

В качестве агрессивной среды служила жидкость, отобранная из водоочистных сооружений пгт. Гвардейское, Симферопольского района, Республика Крым. Основные характеристики и химический состав жидкости, определенный по результатам испытаний 118 проб представлен в табл. 1.

Прочность на сжатие ($R_{сж}$) бетонных образцов-кубов определялась разрушающим способом на гидравлическом прессе П-125 в возрасте 28, 90, 180, 365, 548, 745 и 2920 суток твердения в нормальных условиях и после выдерживания в агрессивной среде.

Таблица 1. Характеристика агрессивной среды
Table 1. Characteristics of the aggressive environment

Определяемые ингредиенты	Единицы измерения	Номер пробы
Температура	°С	19
Водородный показатель	Ед. рН	8,3
Окраска, цветность		желто-серое
Запах	бал	Фик 2
Прозрачность	см	-
Взвешенные вещества	мг/дм ³	98,4
ХПК	мг/дм ³	120
Сухой остаток	мг/дм ³	640
Хлориды	мг/дм ³	194,9
Сульфаты	мг/дм ³	98
Амний солевой	мг/дм ³	82,4
Нитриты	мг/дм ³	0,07
Нитраты	мг/дм ³	3,12
Фосфаты	мг/дм ³	14,2
Нефтепродукты	мг/дм ³	0,62
АПАВ	мг/дм ³	1,46

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Результаты определения прочности на сжатие опытных образцов кубов, выдержанных, как в агрессивной среде, так и при естественных

стандартных условиях в течение 28, 90, 180, 365, 548, 745 суток, представлены в виде графиков изменения среднеарифметических значений пределов прочности при сжатии бетонов на рис. 1 и 2. Вид бетона испытанных опытных образцов в

зависимости от вида выдерживания в возрасте 548 суток показан на рис. 3.

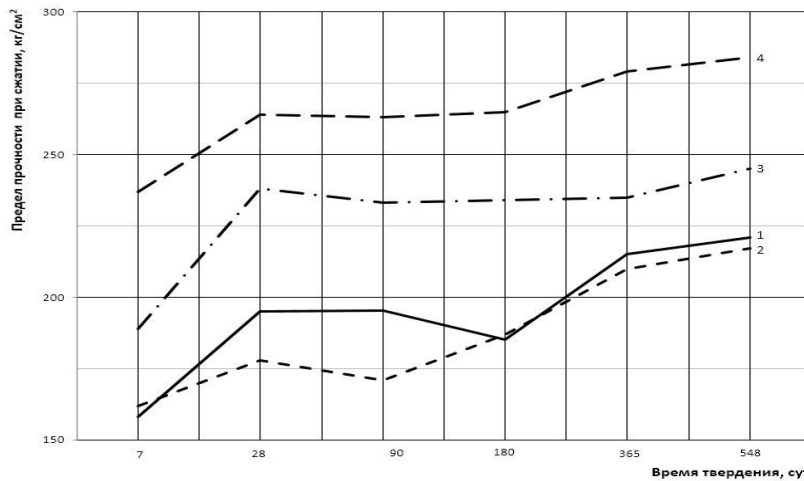


Рис 1. Изменение прочности на сжатие исследуемых составов бетона в зависимости от времени твердения и выдерживания их в естественных условиях: 1 – состав № 1; 2 – состав № 2; 3 – состав № 3; 4 – состав № 4

Fig. 1. The change in compressive strength of the studied concrete compositions depending on the time of hardening and holding them in natural conditions: 1 – composition № 1; 2 – composition № 2; 3 – composition №3; 4 – composition № 4

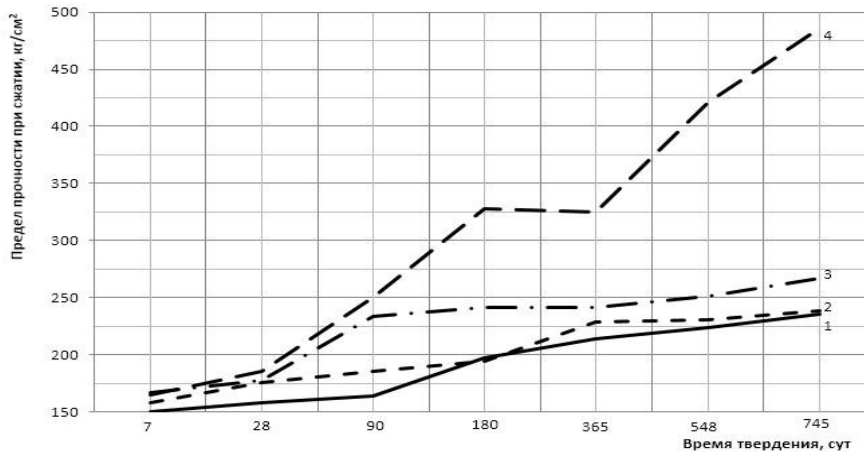


Рис. 2. Изменение прочности на сжатие исследуемых составов бетона в зависимости от времени твердения и выдерживания их в агрессивной среде: 1 – состав № 1; 2 – состав № 2; 3 – состав № 3; 4 – состав № 4

Fig. 2. Change in compressive strength of the studied concrete compositions depending on the time of hardening and holding them in an aggressive environment: 1 – composition № 1; 2 – composition № 2; 3 – composition №3; 4 – composition № 4



а

б

Рис. 3. Вид бетона опытных образцов после испытания на прочность на сжатие в возрасте 548 сут, выдерживание которых проходило: а – в нормальных условиях; б – в агрессивной среде

Fig. 3. Type of concrete prototypes after the compression strength test at the age of 548 days, which held: a – under normal conditions; b – in an aggressive environment

Как видно из экспериментальных данных, представленных на рис. 1, наибольшую прочность на сжатие показывают образцы бетона состава № 4. Так на 548 суток предел прочности при сжатии его 280 кг/см^2 , что на 13 % больше, чем у бетонных образцов, изготовленных из состава № 3 ($R_{сж.} = 248 \text{ кг/см}^2$), и на 27 % выше, чем у образцов, изготовленных из бетонных смесей составов №№ 1 и 2 ($R_{сж.} = 220$ и 218 кг/см^2 соответственно).

При выдерживании бетонных образцов на сульфатостойком цементе в агрессивной среде (см. рис. 2), динамика набора прочности на сжатие для составов №№ 1, 2 и 3, в целом, такая же, как и при выдерживании их в естественных условиях. Однако, состав № 4 отличается стремительным ростом прочностных показателей после 28 суток, показывая прочность на сжатие к 548 суткам 425 кг/см^2 , что на 52 % превышает показатели этих образцов, хранящихся в нормальных воздушно-влажных условиях. Характеризуя кривую набора прочности в агрессивной среде бетонных образцов состава № 4 можно выделить четыре этапа изменения прочности на сжатие:

-1-й – до 28 суток, отличающийся замедленным ростом прочности на сжатие $R_{сж.}$;

- 2-й – от 28 до 180 суток – стремительный рост прочности на сжатие $R_{сж.}$;

- 3-й – от 180 до 365 суток – приостановление роста прочности на сжатие $R_{сж.}$;

- 4-й – после 365 суток – продолжительный набор прочности на сжатие $R_{сж.}$, продолжающийся до 2920 суток выдерживания в агрессивной среде – крайней временной точки проведения исследований.

Необходимо отметить, что к 28 суткам твердения опытные образцы состава № 4, выдерживаемые в коррозионной среде, отличаются несколько замедленным ростом $R_{сж.}$, чем в естественных условиях. В период с 28 до 180 суток твердения рост прочности на сжатие составляет 86 %, достигая 326 кг/см^2 . В сравнении с образцами этого же состава, твердение которых проходило в естественных условиях (см. рис. 1, кривая 4), какой-либо рост прочности на сжатие не происходит, а в период с 180 до 365 суток в отличие от образцов, выдерживаемых в коррозионной среде, наблюдается незначительный прирост прочности, составляющий около 7 %.

Из приведенных графиков на рис. 2 видно, что в коррозионной среде рост прочности на сжатие у бетонных образцов без добавок и с поликарбоксилатной добавкой Хидетал-ГП-9 в количестве $3,5 \text{ л/м}^3$ бетонной смеси приостанавливается, а у опытных образцов с поликарбоксилатной добавкой Хидетал-ГП-9 в количестве $3,1 \text{ л/м}^3$ бетонной смеси набор прочностных показателей продолжается, предположительно, за счет дополнительного образования кристаллических новообразований и заполнения ими пор в структуре бетона.

Макроструктура бетонных образцов, выдерживаемых в агрессивной среде, как видно из

рис. 3, отличается более светлым цветом растворной составляющей, наблюдаются вкрапления белых кристаллов, также заметно меньшее количество микротрещин в теле бетона, что подтверждает предположение об образовании различных кристаллических новообразований.

В дальнейших исследованиях ставится задача определения кристаллических новообразований и их влияния на структуру сульфатостойкого цементного камня и бетона на его основе.

ВЫВОДЫ

1. Использование добавки Хидетал-ГП-9 предполагает снижение расхода воды на 15%, при этом В/Ц снижается с 0,65 до 0,55 и сохраняется подвижность марки ПЗ.

2. В результате исследования было установлено, что составы бетонов с использованием карбоксилатов показали наилучшие результаты набора прочности, особенно в агрессивной среде. Так состав № 4 показал прочность бетона на сжатие после хранения его в агрессивной среде 745 суток $R_{сж.} = 475 \text{ кг/см}^2$ ($47,5 \text{ МПа}$).

3. После длительного хранения в агрессивной среде, в частности в течение 2920 суток, состав №4 показал прочность бетона на сжатие 519 кг/см^2 ($51,9 \text{ МПа}$).

4. При осмотре внешнего вида образцов кубов, хранившихся в агрессивной среде 2920 суток, было установлено, что состояние образцов удовлетворительное. На поверхности образцов не наблюдалось следов коррозии бетона, отсутствовали трещины и сколы бетонного камня.

5. Показатели средней плотности исследованных бетонов соответствует тяжелым бетонам по общей классификации. В среднем плотность бетонного камня соответствует пределам $2350 - 2450 \text{ кг/м}^3$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ю.М. Баженов. Технология бетона. - М., издательство АСВ, 2003. -500с.
2. А.Е. Шейкин, Ю.В. Чеховский и др. Структура и свойства цементных бетонов. - М., Стройиздат, 1978. – 3 44с.
3. ГОСТ 24211-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия».
4. ГОСТ 7473-2010 Бетонные смеси. Технические условия.
5. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
6. ГОСТ 10181.2-12. Смеси бетонные. Методы определения плотности.
7. ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии.
8. EN 206-1:2000 Concrete - Part 1: Specification, performance, production and Conformity.

9. Химические и минеральные добавки в бетон /Под ред. А. Ушерова-Маршака. -Х.: Колорит, 2005. -280с.

10. Инструкция по применению добавки комплексной для бетонов «Хидетал-ГП-9» (гиперпластификатора). ООО «СТК-Стандарт», г. Новозыбков, 2006.

11. ГОСТ 24211-91. Добавки для бетонов. Технические требования.

12. В.А. Рязанова. Особенности сульфатной коррозии бетона в условиях направленного влагопереноса. КиберЛенинка: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-sulfatnoy-korrozii-betona-v-usloviyah-napravlenno-go-vlagoperenosa>.

13. Гусев Б.В., Файвусович А.С. Основы математической теории процессов коррозии бетона. - М., 2006.-с.

14. Б.В. Гусев, А.С. Файвусович, В.А. Рязанова Развитие фронта коррозии бетона в агрессивных средах // Бетон и железобетон. - 2005. -№5. - С. 23-28.

15. К.И. Чижик, Н.В. Белокая. Модель микробиологической коррозии бетона в системах канализации// Известия вузов. Инвестиция. Строительство. Недвижимость. 2017. Т.7, № 2, с-75-83.

16. Ю.М. Баженов «Технология бетонов». – М., Изд-во АСВ, 2003 г. 500с.

17. Свищ И.С. Пособие для лабораторных работ по «Строительному материаловедению». Симферополь, РИО НАПКС, 2011, с -273.

18. Инструкция по применению добавки комплексной для бетонов «Хидетал-ГП-9» (гиперпластификатора). ООО «СТК-Стандарт», г. Новозыбков, 2006.

19. Автор: Баженов Ю.М., Муртазаев С-А.Ю., Сайдумов М.С. «Технология бетона, строительных изделий и конструкций». –Москва.-Вологда. Издательство: Инфра-Инженерия, 2022 г.

20. Белов В. В., Курятников Ю. Ю., Новиченкова Т. Б. «Технология и свойства современных цементов и бетонов. Учебное пособие. –М., 2014г. АСВ, 278с.

4. GOST 7473-2010 Concrete mixtures. Technical conditions.

5. GOST 10180-2012 Concrete. Methods for determining the strength of control samples.

6. GOST 10181.2-12. Concrete mixtures. Methods for determining the density.

7. GOST 310.4.-81. Cements. Methods for determining the ultimate strength in bending and compression.

8. EN 206-1:2000 Concrete - Part 1: Specification, performance, production and Conformity.

9. Chemical and mineral additives in concrete / Ed. A. Usherov-Marshak. –Х.: Coloring, 2005.-280s.

10. Instructions for the use of an additive complex for concrete "Hidetal-GP-9" (hyperplasticizer). ООО "STK-Standard", Novozybkov, 2006.

11. GOST 24211-91. Additives for concrete. Technical requirements.

12. V.A. Ryazanov. Features of sulphate corrosion of concrete under conditions of directed moisture transfer. CyberLeninka:

<https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-sulfatnoy-korrozii-betona-v-usloviyah-napravlenno-go-vlagoperenosa>.

13. Gusev B.V., Faivusovich A.S. Fundamentals of the mathematical theory of concrete corrosion processes. - М., 2006.- 39 s.

14. Gusev B.V., Faivusovich A.S., Ryazanova V.A. The development of the front of corrosion of concrete in corrosive environments // Concrete and reinforced concrete. - 2005.-№5.- p. 23-28.

15. K.I. Chizhik, N.V. Belookaya. Model Microbiological Corrosion of Concrete in Sewage Systems // News of universities. Investment. Building. The property. 2017. V. 7, № 2, с-75-83.

16. Yu.M. Bazhenov “Concrete technology”. – М., Publishing House ASV, 2003, 500 p.

17. Svisch I.S. Manual for laboratory work on “Building materials science”. Simferopol, RIO NAPKS, 2011, p. -273.

18. Instructions for using the complex additive for concrete “Hidetal-GP-9” (hyperplasticizer). LLC "STK-Standard", Novozybkov, 2006.

19. Bazhenov Yu.M., Murtazaev S-A.Yu., Saidumov M.S. "Technology of concrete, building products and structures." –Moscow.-Vologda. Publisher: Infra-Engineering, 2022.

20. Belov V.V., Kuryatnikov Yu.Yu., Novichenkova T.B. “Technology and properties of modern cements and concretes. Study guide. –М., 2014 DIA, 278 p.

REFERENCES

1. Yu.M. Bazhenov. Technology of concrete. - М., publishing house ASV, 2003. -500s.

2. A.E. Sheikin, Yu.V. Chekhovsky and others. The structure and properties of cement concretes. - М., Stroiizdat, 1978. - 3 44с.

3. GOST 24211-2008 Additives for concrete and mortar. General specifications.

INVESTIGATION OF STRENGTH GAIN OF HEAVY CONCRETE IN AN AGGRESSIVE ENVIRONMENT. USING SULPHATE-RESISTANT CEMENT

Svishch I.S.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Academy of construction and architecture,
Kievskaya st., 181, Simferopol, 295493, Russia, e-mail: igorwishch@gmail.com

Summary. Experimental data are presented on changes in the compressive strength of heavy concrete using sulfate-resistant cement, Crimean aggregates and additives based on polycarboxylate ethers when kept in an aggressive environment - liquid from water treatment facilities in an urban-type settlement Gvardeiskoe, Simferopol district, Republic of Crimea. Compositions of heavy concrete have been developed using hyperplasticizing (polycarboxylate) additives that are capable of increasing their physical and mechanical characteristics over time when operating in aggressive environments. It is relevant to further develop the theoretical and experimental foundations for the production of cement concrete using the latest generation of superplasticizing additives based on polycarboxylates for wastewater treatment and recreational facilities. The durability of cement concrete is a key issue when using it in wastewater treatment and recreational facilities. Cement concrete can be susceptible to sulfate corrosion. Sulfates have a complex mechanism of action on the chemically active component of concrete - cement stone. Sulfates have a complex mechanism of action on the chemically active component of concrete - cement stone. The corrosive effect can increase or decrease depending on the concentration of aggressive components, with varying levels of exposure to salt solutions on the concrete structure, periodic drying, and partial immersion. This is due to the fact that the chemical processes of interaction between an aggressive environment and cement stone in concrete are influenced by physical processes of mass transfer of soluble components and crystallization of corrosion products or soluble components, which can accelerate or inhibit chemical processes. The parameters of the strength characteristics of the optimized compositions at different periods of strength gain have been established, and the average density and water resistance of the optimized concrete compositions have been established.

Subject. heavy concrete using sulfate-resistant cement, Crimean aggregates and additives based on polycarboxylate esters.

Materials and methods. The research was carried out on specially selected compositions of concrete mixtures with mobility P3 on the most common raw materials in Crimea with and without a polycarboxylate plasticizing additive.

Characteristics of concrete mixture components:

The aggressive medium was liquid taken from a water treatment plant in the urban settlement of Gvardeyskoye, Simferopol district, Republic of Crimea.

Results: 1. The use of Hidetal-GP-9 additive means a 15% reduction in water consumption, while the moisture content decreases from 0.65 to 0.55 and the mobility of the P3 grade is maintained. 2. As a result of the study, it was found that concrete compositions using carboxylates showed the best results in increasing strength, especially in an aggressive environment. Thus, composition No. 4 showed the compressive strength of concrete after storage in an aggressive environment for 745 days $R_{com} = 475 \text{ kg/cm}^2$ (47.5 MPa). 3. After long-term storage in an aggressive environment, in particular for 2,920 days, composition No. 4 showed a compressive strength of 519 kg/cm^2 (51.9 MPa) of concrete. 4. When examining the appearance of cube samples stored in an aggressive environment for 2,920 days, it was found that the condition of the samples was satisfactory. There were no signs of concrete corrosion on the surface of the samples; there were no cracks or chips of concrete stone. 5. The average density of the studied concretes corresponds to heavy concretes according to the general classification. On average – the density of concrete stone corresponds to the limits of 2350-2450 kg/m³. 4. When examining the appearance of samples of cubes stored in an aggressive environment for 2920 days, it was found that the condition of the samples was satisfactory. There were no traces of concrete corrosion on the surface of the samples; there were no cracks or chips of the concrete stone. 5. The average density of the studied concretes corresponds to heavy concretes according to the general classification. On average, the density of concrete stone corresponds to the limits of 2350 – 2450 kg/m³.

Key words: polycarboxylate, sulfate-resistant cement, aggregates, concrete, strength, additives, composition.

ПУЦЦОЛАНОВАЯ АКТИВНОСТЬ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ТЕРМОАКТИВИРОВАННОГО КАОЛИНА

Зайченко¹ Н.М., Лахтарина² С.В., Лахтарина³ Н.Н.

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика,
286123, г. о. Макеевский, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2,
e-mail:¹ n.m.zaichenko@donnasa.ru, ²s.v.lahtarina@donnasa.ru, ³n.n.lahtarina@donnasa.ru

Аннотация. Исследования связаны с важным актуальным вопросом изучения процессов трансформации каолинита в метакраолин при нагреве, которые позволяют дополнить существующие положения и закономерности в части снижения энергоемкости процесса термоактивации, с одной стороны, и пуццолановой активности получаемой добавки – с другой. Определен химический состав исходной каолиновой глины, по данным лазерной дифракции, дифференциально-термического и рентгенофазового анализов, а также инфракрасной спектроскопии установлено влияние температуры обжига каолинита на гранулометрический состав, степень дегидроксилирования и аморфизации метакраолина. Авторами установлена пуццолановая активность минеральной добавки метакраолина, полученной при термоактивации каолиновой глины в диапазоне температур 450-900 °С, при введении в качестве частичной замены портландцемента. Наибольший прирост прочности при сжатии камня вяжущего, как в раннем, так и в марочном возрасте достигается при замене части цемента минеральной добавкой – термоактивированным каолином при температуре 650 °С. Отмечено повышение водопотребности композиционного цемента с добавкой полученного метакраолина. Более высокие значения показателя прочности цементного камня с добавкой метакраолина, полученной термообработкой каолиновой глины при температуре 650 °С, вероятнее всего объясняются достижением оптимального температурного режима обжига каолинита, когда при неполном дегидроксилировании достигается максимальная степень аморфизации, что и определяет пуццолановую активность добавки по показателю прочности. Полученные результаты могут представлять интерес для практической реализации задачи снижения выбросов углекислого газа, ресурсо- и энергосбережения, повышения строительно-технических свойств материалов, полученных на основе композиционного вяжущего с добавкой метакраолина.

Предмет исследования: закономерности процесса термоактивации каолиновой глины в диапазоне температур 450-900 °С, пуццолановая активность добавки метакраолина в составе композиционного вяжущего при частичной замене портландцемента.

Материалы и методы: для выполнения экспериментальных исследований в качестве исходных компонентов применялись следующие материалы: портландцемент первого типа ЦЕМ I 42,5 Н, ЗАО «Углегорск-Цемент»; каолиновая глина Владимирского месторождения, ДНР. Каолиновая глина предварительно была термоактивирована при температурах 450-900 °С (шаг 50°С) для получения метакраолина и последующего использования в качестве минеральной добавки для цемента. Процесс трансформации каолинита в метакраолин изучен комплексом методов: дифференциально-термический и рентгенофазовый анализ, инфракрасная спектроскопия. Физико-механические свойства вяжущего изучены по стандартным методикам.

Результаты: по данным лазерной дифракции установлено, что гранулометрический состав частиц полученных проб метакраолина изменяется в сторону увеличения содержания частиц в диапазоне 0,7-4 мкм на 4-6 % относительно исходного каолина, что может свидетельствовать о процессе фазового перехода каолина при термоактивации, с частичным его разрушением. По результатам комплекса методов: дифференциально-термического и рентгенофазового анализов, инфракрасной спектроскопии можно сделать заключение, что при обжиге каолинита в диапазоне температур 600-850°С образуется аморфизированный материал с различной степенью дегидроксилирования. При этом максимальные показатели пуццолановой активности по показателю прочности достигаются при обжиге каолинита при температуре 650°С, что, вероятно, связано с максимальной степенью аморфизации материала.

Выводы: полученные результаты позволяют получать высокорекреакционную минеральную добавку для портландцемента при минимальных энергозатратах. В дальнейшем исследовании будут направлены на исследование трансформации в процессе нагрева каолинита координационных связей катиона алюминия и их влияния на пуццолановую активность метакраолина.

Ключевые слова: каолинит, метакраолин, термоактивация, дегидроксилирование, аморфизация, пуццолановая активность.

ВВЕДЕНИЕ

Основными мировыми тенденциями в развитии промышленности строительных материалов в последние годы стали в том числе: переход на новый уровень энергоэффективности производства; снижение негативного влияния на окружающую среду; вовлечение отходов в производство строительных материалов и увеличение глубины переработки природных ресурсов [1]. Так, несмотря

на то, что за последние почти 200 лет процесс производства портландцемента претерпел множество изменений, его строительно-технические свойства и универсальность обеспечивают постоянство базового химико-минералогического состава, а большая часть современных инновационных решений включает частичную замену портландцементного клинкера минеральными составляющими – вспомогательными цементирующими материалами,

а не внедрение совершенно нового химического процесса [2, 3].

Минеральные добавки являются неотъемлемым компонентом современных бетонов. Их применение позволяет снизить содержание клинкерного цемента, модифицировать состав новообразований камня вяжущего, повысить плотность структуры и, как следствие, прочность, долговечность и стойкость бетона в агрессивных условиях эксплуатации. Среди таких минеральных составляющих широко применяется метакаолин – термически активированный алюмосиликатный материал с высокой пуццолановой активностью, сравнимой с активностью микрокремнезема, а при повышенной температуре даже превышающей ее [4, 5].

Метакаолин ($Al_2Si_2O_7 - AS_2$) получают путём обжига каолинита ($Al_2Si_2O_5(OH)_4 - AS_2H_2$) при температуре 600-800°C. При взаимодействии с продуктами гидратации цемента (гидроксид кальция CH) образуется гидросиликатный гель CSH, содержащий алюминий, и кристаллические гидроалюмосиликаты C_2ASH_8 , C_4AH_{13} , C_3AH_6 , состав которых зависит от соотношения AS_2/CH [6, 7].

Многочисленными исследованиями установлено, что применение метакаолина в качестве частичной замены портландцемента, за счет пуццолановой реакции с продуктами гидратации вяжущего, приводит к уплотнению структуры камня вяжущего, уменьшает его пористость [8], а также увеличивает прочностные показатели, особенно в ранние сроки твердения [9, 10].

Обильные запасы и широкая доступность каолиновых глин (оценочные запасы – более 6 Гт/год в мире), высокая реакционная способность метакаолина, обуславливают повышенный интерес специалистов к дальнейшим исследованиям технологии и свойств активной минеральной добавки как наиболее перспективной среди вспомогательных цементирующих материалов [11]. При этом, несмотря на огромный массив опубликованных работ, посвященных изучению процесса термоактивации каолинита и установленных температурных интервалов дегидратации – дегидроксилирования – кристаллизации, существуют самые различные мнения относительно наиболее оптимальных температурно-временных режимов нагрева (обжига) материала. Дальнейшие исследования в этом направлении позволят дополнить существующие положения и закономерности в части снижения энергоёмкости процесса термоактивации, с одной стороны, и пуццолановой активности получаемой добавки – с другой.

Таким образом, в связи с вышеизложенным, целью настоящего исследования является изучение пуццолановой активности добавки метакаолина, полученной при термоактивации каолиновой глины в диапазоне температур 450-900 °C.

Задачи исследования: выполнить химический анализ исходной каолиновой глины; определить

гранулометрический состав частиц каолина и термоактивированного метакаолина; комплексом методов: дифференциально-термическим, рентгенофазовым анализом, инфракрасной спектроскопией, изучить процессы преобразований, происходящих в глинистом веществе при дегидратации – дегидроксилировании; определить свойства портландцементного вяжущего с добавкой термоактивированного метакаолина.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Пуццолановая активность метакаолина зависит от многих факторов – химического состава, степени кристалличности, гранулометрии, режима термоактивации каолинита [12], кристаллическая структура которого представлена двухслойным листовым силикатом: один слой содержит алюминатные группы (октаэдры $AlO_4(OH)_2$), другой – силикатные (тетраэдры SiO_4) [13]. Структурное изменение характеризуется потерей кристалличности и сопутствующим изменением координации алюминия с октаэдрической на тетраэдрическую [14]. В работе авторов [6] отмечается, что оптимальной при обжиге каолинита является температура (700-800 °C), когда происходит полное дегидроксилирование и нарушается его структура. При температуре менее 700 °C наблюдается неполное дегидроксилирование, а при 850 °C – начинается разложение метакаолина на оксиды и образование кристаллической фазы (шпинель, муллит) [15, 16], что отражается на снижении пуццолановой активности минеральной добавки.

Установлено [17], что степень дегидроксилирования каолинита при температуре меньше 450 °C составляет менее 0,18, в интервале температур 450-570 °C достигает 0,95, при 570-700 °C – 1. При этом важно отметить, что степень дегидроксилирования каолинита связана со степенью его аморфизации, что определяет пуццолановую активность добавки. При повышении степени аморфизации более 55 % индекс пуццолановой активности (по показателю прочности) изменяется не существенно. Это можно учитывать для снижения энергоёмкости процесса обжига каолинита при температуре менее 700 °C. В диссертационной работе Thu-Ha Phung-Thi [13], установил корреляцию между степенью дегидроксилирования каолинита α и ранней прочностью камня вяжущего с добавкой метакаолина. Показано, что температуре обжига каолинита 600, 700 и 800°C соответствует коэффициент α : 0,89-1; 0,95-1; 0,97-1, однако максимальная прочность камня соответствует температуре обжига 600°C.

Еще одним фактором в реакционной способности метакаолина, в последнее время принимаемого ключевым, является деформация химических связей, вызванная термическим дегидроксилированием, благодаря которой происходит изменение координационного числа

алюминия от 6 до вариаций 4-ой, 5-ой и 6-ой координаций [18]. Во время прокаливании происходит изменение координационных связей для катиона $Al^{3+[VI]}$ до $Al^{3+[V]}$ и $Al^{3+[IV]}$. Предполагается, что максимальная активность для метакаолина получается путём получения наибольшей концентрации $Al^{3+[IV]}$ и $Al^{3+[V]}$ и минимальной концентрации $Al^{3+[VI]}$ [19].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для выполнения экспериментальных исследований в качестве исходных компонентов применялись следующие материалы:

- вяжущее – порландцемент первого типа (ПЦ) ЦЕМ I 42,5 Н, ЗАО «Углегорск-Цемент», соответствующий требованиям ГОСТ 31108-2020;

- каолиновая глина Владимирского месторождения, Донецкая Народная Республика.

Каолиновая глина предварительно была термоактивирована при температурах 450-900°C с диапазоном 50°C для получения метакаолина и последующего использования в качестве минеральной добавки для цемента. Режим обжига

для всех образцов каолиновой глины принят одинаковым и включает выход на заданную температуру термоактивации с последующей изотермической выдержкой в течение двух часов.

Анализ гранулометрического состава полученных добавок метакаолина, а также исходного каолина проводился методом лазерной дифракции – на анализаторе размера частиц Micro Sizer 201. Показатель преломления частиц – (1.800, 0.100); показатель преломления растворителя – (1.333, 0.000); положение кюветы 70.00; ультразвук – 100 W; время диспергирования – 60 с; коэффициент пропускания – 108.

Рентгенофазовый анализ выполнен при условиях съемки дифрактограмм (одинаковые для всех образцов): кобальтовое излучение $CoK\alpha$ (1,78896 Å) в диапазоне углов $10 < 2 < 80^\circ$ с шагом 0,01°.

Исследования цементных систем проводились по стандартным методикам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Химический анализ каолина показывает, что большая его часть состоит из оксидов кремния и алюминия (таблица 1).

Таблица 1. Содержание химических оксидов в каолине

Table 1. Chemical compound of kaoline

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂
53,30	42,99	0,76	0,96	0,31	0,08	0,02	0,53	0,07	0,98

Гранулометрический анализ частиц полученных проб метакаолина (рисунок 1) свидетельствует об увеличении содержания частиц в диапазоне 0,7-4 мкм, на 4-6 % относительно исходного каолина, что может свидетельствовать о процессе фазового перехода каолина при термоактивации, с частичным его разрушением. Так, в работе [20] установлено, что средний размер частиц (d_{cp}) исходного каолина 30 мкм, после термического воздействия – 19 мкм. Более дисперсный состав частиц метакаолина будет обеспечивать уплотняющий эффект в структуре цементного камня, а также повышать пуццолановую активность добавки. В исследовании [21] показано, что удельная поверхность метакаолина влияет на раннюю гидратацию вяжущего, при этом материал с большей площадью поверхности обеспечивает большую скорость выделения тепла, большую кумулятивную теплоту и большую интенсивность во время ранней гидратации. Предполагается, что метакаолин, в дальнейшем может усиливать растворение цементных минералов и/или обеспечивать дополнительными, хорошо диспергированными участками зародышеобразования, в дополнение к увеличению растворимого алюминия в системе в раннем возрасте.

По результатам РФА (рисунок 2) установлено, что кристаллическая фаза в исходной пробе каолиновой глины представлена в основном минералом каолинита – PDF 00-058-2005:

($2\theta=14,33^\circ$; $d=0,717$ нм); ($2\theta=28,94^\circ$; $d=0,358$ нм); ($2\theta=44,88^\circ$; $d=0,234$ нм). Постепенное снижение интенсивности указанных пиков наблюдается при температурах обжига каолинита 450 и 500 °C, а при температуре 550 °C – практически полное исчезновение. При этом на рентгенограмме фиксируется появление диффузного гало в диапазоне $2\theta=20-30^\circ$ [22], а на кривой дифференциально-термического анализа глубокого эндоэффекта, связанного с потерей химически связанной воды (рисунок 3). Таким образом, согласно [23], превращение каолинита в метакаолин начинается где-то между 400 и 500 °C, а образованию фазы метакаолина предшествует постепенное изменение межслоевых расстояний, которое резко возрастает сразу же, как только происходит разрушение структуры. Этот процесс продолжается даже при 600 °C и выше, пока конверсия не будет завершена. Дальнейшее повышение температуры обжига каолинита вплоть до 850 °C практически не оказывает влияния на характер рентгенограмм. В [13] отмечается, что при температуре примерно 500 °C кальцинированный каолинит теряет большую часть своей кристаллической воды (H_2O^+/OH^-), но в его структуре все ещё есть H_2O^+/OH^- группы. Эти оставшиеся группы называются остаточной водой в составе кальцинированного каолина (метакаолина). Полное превращение для удаления всей остаточной воды без образования муллита является

критическим этапом во время прокаливания. Рентгенограмма каолинита, прокаленного при температуре 900 °С (рисунок 2), представлена практически все еще аморфизированным материалом, при появлении очень слабых пиков

минерала муллита (Mineralogical Society of America – Handbook of Mineralogy): ($2\theta=30,59^\circ$; $d=0,339$ нм; $2\theta=30,25^\circ$; $d=0,343$ нм; $2\theta=47,84^\circ$; $d=0,221$ нм).

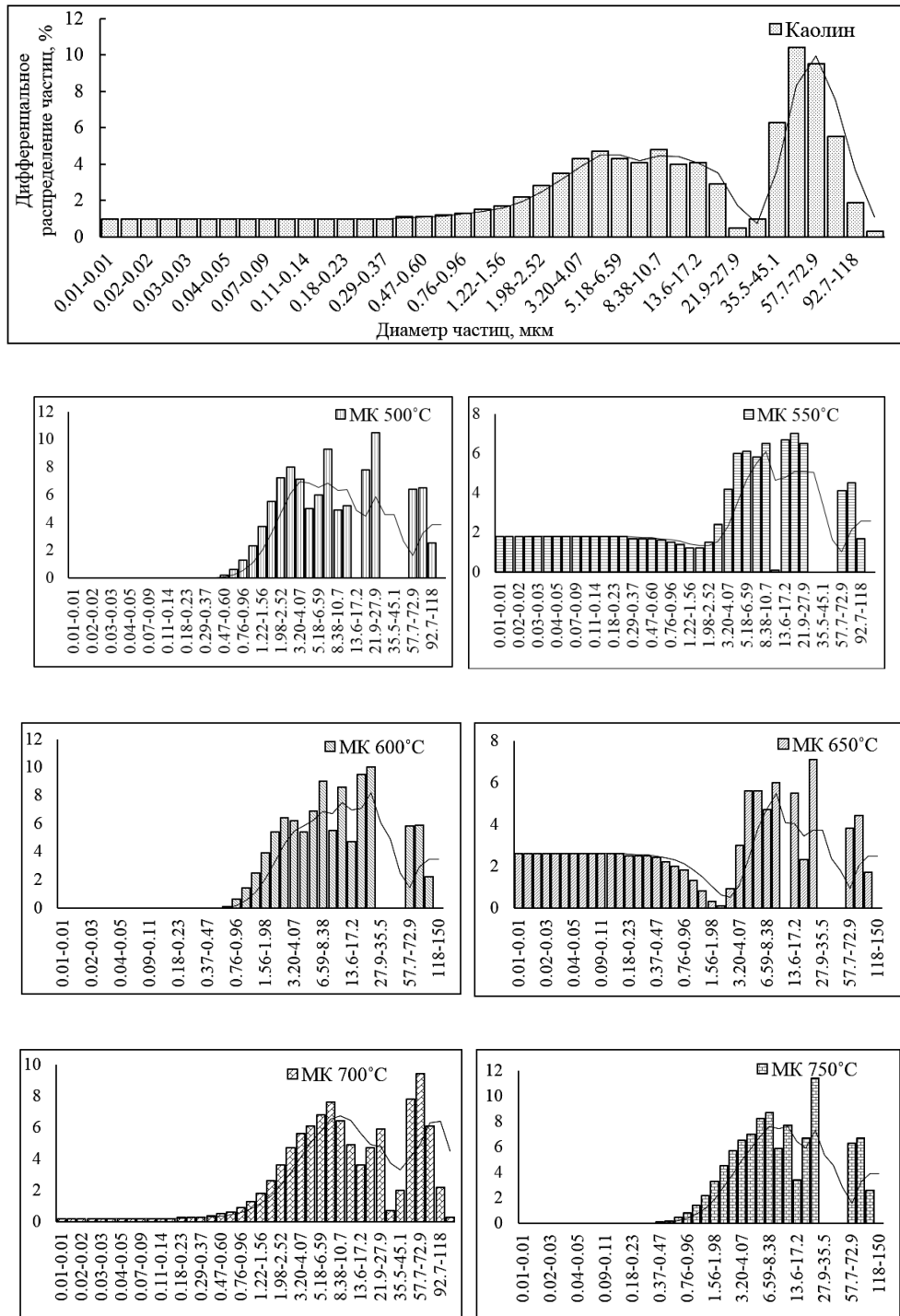


Рис. 1. Гранулометрический состав частиц исходного и термоактивированного каолина (МК) в диапазоне температур 500-750 °С

Fig. 1. Granulometric composition of original and thermal activated kaoline particles (MK) in the temperature range 500-750 °С

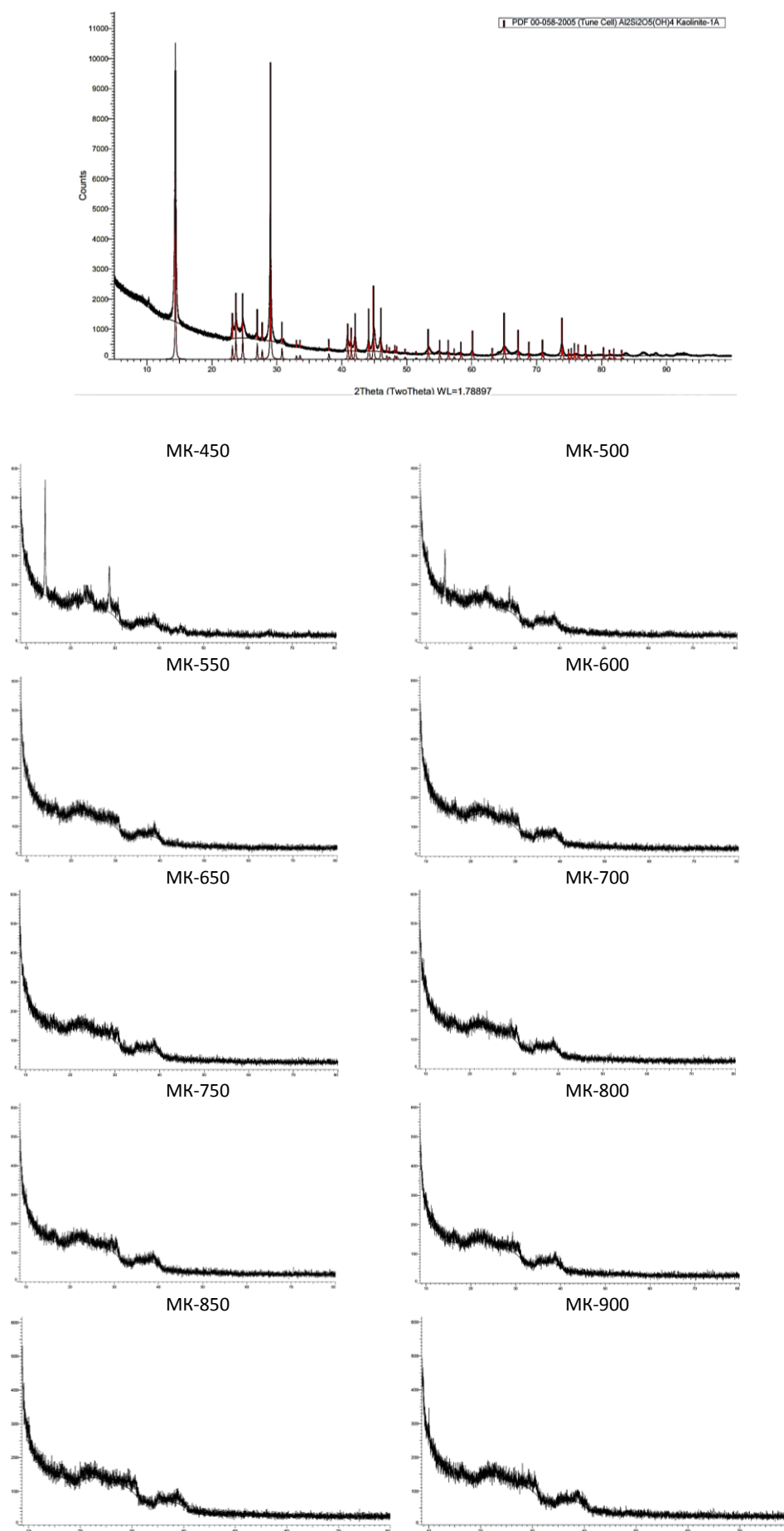


Рис. 2. Рентгенограммы образцов исходного и термоактивированного каолина (МК) в диапазоне температур 450-900 °С
 Fig. 2. X-ray of the samples of original and thermal activated kaoline (MK) in the temperature range 450-900 °C

На кривых ДТА (рисунок 3) фиксируется появление экзоэффекта при температуре свыше 950 °С, указывающее на процесс рекристаллизации с образованием муллита [24]. В этой связи,

рентгенофазовый анализ, вероятно, не может быть использован для определения оптимального температурного режима обжига, дальнейшие исследования выполнены с применением инфракрасной спектроскопии.

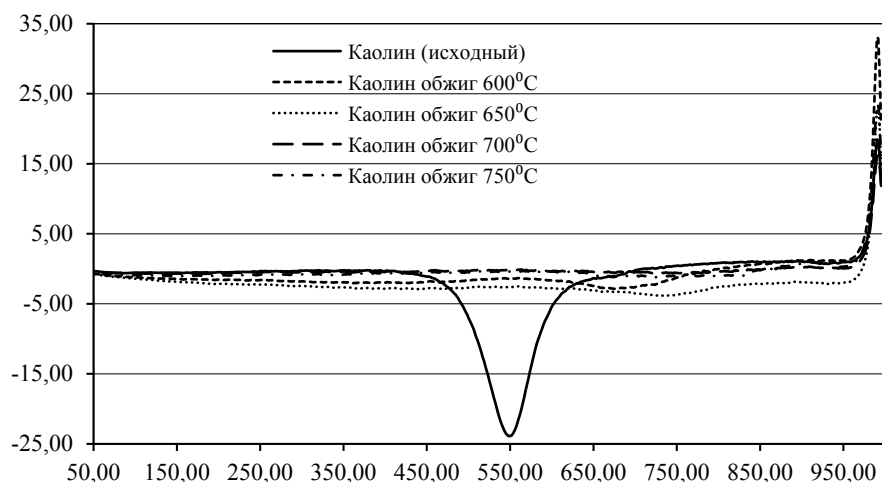


Рис. 3. Результаты дифференциально-термического анализа исходного и термоактивированного каолина в диапазоне температур 600-750 °С.

Fig. 3. The results of differential thermal analysis of original and thermal activated kaoline in the temperature range 600-750 °С.

На рисунке 4 представлены ИК-спектры в области волновых чисел 550-4000 cm^{-1} исходного и термически активированного при различных температурах каолинита. В первой высокочастотной зоне (свыше 3000 cm^{-1}) находятся полосы валентных колебаний ОН-групп, связанных с октаэдрическими катионами, а также молекул воды, ассоциированных посредством водородных связей между слоями минералов. Во второй области (550-1400 cm^{-1}) фиксируются полосы поглощения силикатной присутствующих минералов [25].

Результаты ИК-спектроскопии исходного материала показывают характерные полосы каолинита: ОН-группы при 3700, 3650, 3620 cm^{-1} ; Al-O-OH при 913 cm^{-1} ; Si-O при 1032 cm^{-1} . В области волновых чисел 950-1150 cm^{-1} фиксируется широкая полоса поглощения с пиками при 1010 и 1100 cm^{-1} , что интерпретируется как валентные колебания связей Si-O-Si в дисиликатных группах слоистой структуры. Полоса поглощения с дуплетом при 797 cm^{-1} и смещенным в область низкочастотных колебаний пиком при 759 cm^{-1} может свидетельствовать о наличии трехчленных колец из тетраэдров $[\text{SiO}_4]$, а также структурных группировок $[\text{AlO}_4]$, образующихся при замещениях в тетраэдрическом слое катиона кремния [25].

Для прокаленных проб каолина наблюдается смещение пиков данной широкой полосы поглощения в сторону больших волновых чисел, а также снижение их интенсивности по мере

увеличения температуры от 600 до 750 °С. Кроме того, для проб каолинита, прокаленных при температурах 600, 650, 700 и 750 °С, наблюдается полное исчезновение полос, ответственных за колебание ОН-групп в интервале 3690-3620 cm^{-1} и 910-750 cm^{-1} , что указывает на протекание процесса дегидроксилирования. Отсутствие полосы при 913 cm^{-1} (деформационные колебания связей Al-OH) может быть связано с изменением от октаэдрической координации катиона Al^{3+} в каолините до тетраэдрической координации в метакаолините [26, 27].

Для определения пуццолановой активности добавки метакаолина были приготовлены минеральные вяжущие (таблица 2) с частичной заменой портландцемента в количестве 10 % термоактивированным каолином при температурах 500-750 °С с шагом 50 °С (составы № 2-7).

Установлено, что замена части портландцемента добавкой термоактивированного каолина оказывает существенное влияние на показатели водопотребности цементного теста, для достижения нормальной плотности относительно контрольного состава ($\text{НГ}=25\%$). Показатели водопотребности цементного теста с добавкой термоактивированного каолина в диапазоне температур 500-750 °С находятся в пределах 30-31 %, что связано с характерной пластинчатой структурой метакаолина.

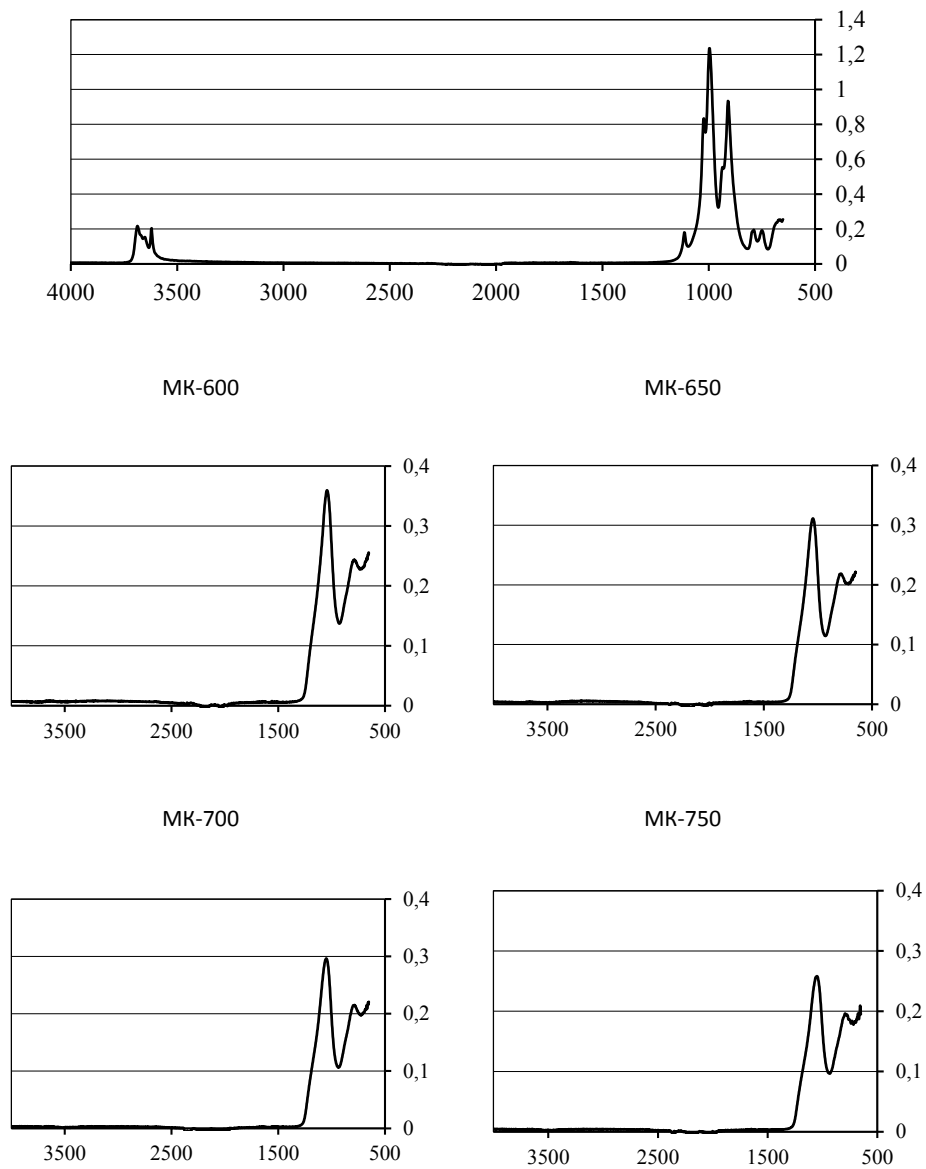


Рис. 4. Результаты инфракрасной спектроскопии исходного и термоактивированного каолина в диапазоне температур 600-750 °С.

Fig. 4. The results of infrared spectroscopy of original and thermal activated kaoline in the temperature range 600-750 °C.

Таблица 2. Состав и свойства вяжущего
Table 2. Mix proportion and properties of binder

№	Расход компонентов, %								Прочность при сжатии, МПа	
	ПЦ	МК-500	МК-550	МК-600	МК-650	МК-700	МК-750	Вода	2 сут.	28 сут.
1(К)	100	-	-	-	-	-	-	25	34,7	56,7
2	90	10	-	-	-	-	-	31	25,8	44,3
3	90	-	10	-	-	-	-	31	29,2	44,3
4	90	-	-	10	-	-	-	30	33,5	50,9
5	90	-	-	-	10	-	-	30	37,7	61,1
6	90	-	-	-	-	10	-	31	34,1	51,5
7	90	-	-	-	-	-	10	30	31,8	51,6

Наибольший прирост прочности при сжатии камня вяжущего как в раннем, так и в марочном

возрасте достигается при замене части цемента минеральной добавкой – термоактивированным

каолином при температуре 650 °С (состав № 5). Прочность камня вяжущего на вторые сутки твердения при нормальных условиях на 8 % выше контрольного состава и на 7 % выше в марочном возрасте. Более высокие значения показателя прочности цементного камня с добавкой метаксаолина, полученной термообработкой каолиновой глины при температуре 650 °С, вероятнее всего, объясняются наиболее оптимальным температурным режимом обжига каолинита, когда при неполном дегидроксилировании достигается максимальная степень аморфизации, что и определяет пуццолановую активность добавки по показателю прочности.

ВЫВОДЫ

В ходе экспериментальных исследований изучены процессы, происходящие в каолините при обжиге в интервале температур 450-900 °С (шаг 50 °С) для получения минеральной добавки с высокой пуццолановой активностью. По данным лазерной дифракции установлено, что гранулометрический состав частиц полученных проб метаксаолина изменяется в сторону увеличения содержания частиц в диапазоне 0,7-4 мкм на 4-6 % относительно исходного каолина, что может свидетельствовать о процессе фазового перехода каолина при термоактивации, с частичным его разрушением. По результатам комплекса методов: дифференциально-термического и рентгенофазового анализов, инфракрасной спектроскопии можно сделать заключение, что при обжиге каолинита в диапазоне температур 600-850°С образуется аморфизированный материал с различной степенью дегидроксилирования. При этом максимальные показатели пуццолановой активности по показателю прочности достигаются при обжиге каолинита при температуре 650°С, что, вероятно, связано с максимальной степенью аморфизации материала.

Полученные результаты позволяют получать высокорреакционную минеральную добавку для портландцемента при минимальных энергозатратах. В дальнейшем исследования будут направлены на изучение трансформации в процессе нагрева каолинита координационных связей катиона алюминия и их влияния на пуццолановую активность метаксаолина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года : [утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 10 мая 2016 г. № 868-р]. – Текст : электронный // Правительство Российской Федерации : [сайт]. 2023. URL: <http://government.ru/docs/all/106510/> (дата обращения: 03.06.2023).

2. Limestone calcined clay cement and concrete: A state-of-the-art review / M. Sharma, S. Bishnoi, F. Martirena, K. Scrivener // *Cement and Concrete Research*. 2021. vol. 149, 106564. DOI: 10.1016/j.cemconres.2021.106564.

3. Модифицированные цементы с применением отходов промышленности Донбасса / С. В. Лахтарина, Н. М. Зайченко, Е. В. Егорова [и др.] // *Современное промышленное и гражданское строительство*. 2023. Т. 19, № 2. С. 51 – 60.

4. Li C., Sun H., Li L. A review: The comparison between alkali-activated slag (Si+Ca) and metakaolin (Si+Al) cements // *Cement and Concrete Research*. 2010. vol. 40(9). PP. 1341 – 1349. DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.03.020.

5. Mitigating alkali-silica reaction induced concrete degradation through cement substitution by metakaolin and bentonite / J. Wei, B. Gencturk, A. Jain, M. Hanifehzadeh // *Applied Clay Science*. 2019. vol. 182, 105257. DOI: 10.1016/j.clay.2019.105257.

6. Sabir B. B., Wild S., Bai J. Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review // *Cement and Concrete Composites*. 2001. vol. 23(6). PP. 441 – 454.

7. Abdul Razak H., Wong H. S. Strength estimation model for high-strength concrete incorporating metakaolin and silica fume // *Cement and Concrete Research*. 2005. vol. 35. PP. 688 – 695. DOI: 10.1016/j.cemconres.2004.05.040.

8. Jiang G. Effects of metakaolin on mechanical properties, pore structure and hydration heat of mortars at 0.17 w/b ratio // *Construction and Building Materials*. 2015. vol. 93. PP. 564 – 572. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.06.036.

9. Mo Z., Wang R., Gao X. Hydration and mechanical properties of UHPC matrix containing limestone and different levels of metakaolin // *Construction and Building Materials*. 2020. vol. 256, 119454. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119454.

10. Chen X., SunPang Z. J., Pang J. A research on durability degradation of mineral admixture concrete // *Materials*. 2021. vol. 14, 1752. DOI: 10.3390/ma14071752.

11. Influence of calcined clay morphology on flow in blended cementitious systems / D. Benkeser, K. Hernandez, F. Lolli, K. Kurtis // *Cement and Concrete Research*. 2022. vol. 160, 106927. DOI: 10.1016/j.cemconres.2022.106927.

12. Рассулов В. В., Платова Р. А., Платов Ю. Т. Контроль качества метаксаолина методом спектроскопии в ближней инфракрасной области спектра // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 53 – 56.

13. Thu-Ha Phung-Thi. Metakaolin as an additive in composite cement // A thesis presented for the Degree of Doctor of Engineering at the Faculty of Civil Engineering of the Weimar Bauhaus University. 2013, 119 pp.

14. Dehydroxylation of kaolinite to metakaolin – a molecular dynamics study / S. Sperinck, P. Raiteri, N. Marks, K. Wright // *Journal of Materials Chemistry*.

2011. vol. 21. PP. 2118 – 2125. DOI: <https://doi.org/10.1039/C0JM01748E>.

15. Pozzolanic activity of metakaolins by the French standard of the modified Chapelle test: A direct methodology / E. Ferraz, S. Andrejkovicova, W. Hajjaji [et al.] // *Acta Geodynamica et Geomaterialia*. 2015. vol. 12(3179). PP. 289 – 298. DOI: 10.13168/AGG.2015.0026.

16. Salvador S. Pozzolanic properties of flash-calcined kaolinite: A comparative study with soak-calcined products // *Cement and Concrete Research*. 1995. vol. 25(1). PP. 102 – 112.

17. The effect of dehydroxylation / amorphization degree on pozzolanic activity of kaolinite / A. Shvarzman, K. Kovler, G. S. Grader, G. E. Shter // *Cement and Concrete Research*. 2003. vol. 33(3). PP. 405 – 416.

18. Formation of aluminosilicate geopolymers from 1:1 layer-lattice minerals pre-treated by various methods: a comparative study / K. J. D. MacKenzie, D. R. M. Brew, R. A. Fletcher, R. Vagana // *Journal of Materials Science*. 2007. vol. 42. PP. 4667 – 4674. DOI: 10.1007/s10853-006-0173-x.

19. TEM study of kaolinite thermal decomposition by controlled-rate thermal analysis / F. Bergaya, P. Dion, J. F. Alcover [et al.] // *Journal of Materials Science*. 1996. vol. 31. PP. 5069 – 5075. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00355907>.

20. Строганов В.Ф., Амельченко М.О., Потапова Л.И. Влияние кислотной и термической активации каолина на его дисперсность, химический состав и сорбционные свойства // *Известия КГАСУ*. 2016. № 1(35). С. 192 – 198.

21. Lagier F., Kurtis K. E. Influence of Portland cement composition on early age reactions with metakaolin // *Cement and Concrete Research*. 2007. vol. 37. PP. 1411 – 1417. DOI: 10.1016/j.cemconres.2007.07.002.

22. He C., Osbaeck B., Makovicky E. Pozzolanic reactions of six principal clay minerals: Activation, reactivity assessments and technological effects // *Cement and Concrete Research*. 1995. vol. 25, no. 8. PP. 1691 – 1702.

23. Mitra G. B., Bhattacharjee S. X-ray diffraction studies on the transformation of kaolinite into metakaolin: I. variability of interlayer spacings // *The American Mineralogist*. 1969. vol. 54. PP. 1409 – 1418.

24. Salvador S. Pozzolanic properties of flash-calcined kaolinite: A comparative study with soak-calcined products // *Cement and Concrete Research*. 1995. vol. 25, no. 1. PP. 102 – 112.

25. Дятлова Е. М., Сергиевич О. А., Бобкова Н. М. Структурные особенности природных и обогащенных каолинов месторождений Республика Беларусь // *Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук*. 2018. Т. 54, №1. С. 96 – 102.

26. Ilić B. R., Mitrović, A. A., Miličić Lj. R. Thermal treatment of kaolin clay to obtain metakaolin // *Hemijaska Industrija*. – 2010. – Vol. 64, no. 4. PP. 351 – 356. DOI: 10.2298/HEMIND100322014I.

27. Mitrović A., Zdujić M. Mechanochemical treatment of Serbian kaolin clay to obtain a highly reactive pozzolana // *Journal of the Serbian Chemical Society*. 2013. vol. 78, no. 4. PP. 579 – 590. DOI: 10.2298/JSC120829107M.

REFERENCES

1. Strategy for the development of the construction materials industry for the period up to 2020 and the further perspective up to 2030: [approved by the Order of the Government of the Russian Federation of May 10, 2016 No. 868-р]. – Text: electronic // Government of the Russian Federation: [website.]. 2023. URL: <http://government.ru/docs/all/106510/> (date of access: 03.06.2023). (In Russian)

2. Limestone calcined clay cement and concrete: A state-of-the-art review / M. Sharma, S. Bishnoi, F. Martirena, K. Scrivener // *Cement and Concrete Research*. 2021. vol. 149, 106564. DOI: 10.1016/j.cemconres.2021.106564.

3. Modified cements using industrial waste of Donbass / S. V. Lakhtaryna, N. M. Zaichenko, Ye. V. Yegorova [et al.] // *Sovremennoye promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2023. vol. 19. PP. 51 – 60. (In Russian)

4. Li C., Sun H., Li L. A review: The comparison between alkali-activated slag (Si+Ca) and metakaolin (Si+Al) cements // *Cement and Concrete Research*. 2010. vol. 40(9). PP. 1341 – 1349. DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.03.020.

5. Mitigating alkali-silica reaction induced concrete degradation through cement substitution by metakaolin and bentonite / J. Wei, B. Gencturk, A. Jain, M. Hanifehzadeh // *Applied Clay Science*. 2019. vol. 182, 105257. DOI: 10.1016/j.clay.2019.105257.

6. Sabir B. B., Wild S., Bai J. Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review // *Cement and Concrete Composites*. 2001. vol. 23(6). PP. 441 – 454.

7. Abdul Razak H., Wong H. S. Strength estimation model for high-strength concrete incorporating metakaolin and silica fume // *Cement and Concrete Research*. 2005. vol. 35. PP. 688 – 695. DOI: 10.1016/j.cemconres.2004.05.040.

8. Jiang G. Effects of metakaolin on mechanical properties, pore structure and hydration heat of mortars at 0.17 w/b ratio // *Construction and Building Materials*. 2015. vol. 93. PP. 564 – 572. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.06.036.

9. Mo Z., Wang R., Gao X. Hydration and mechanical properties of UHPC matrix containing limestone and different levels of metakaolin // *Construction and Building Materials*. 2020. vol. 256, 119454. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119454.

10. Chen X., SunPang Z. J., Pang J. A research on durability degradation of mineral admixture concrete // *Materials*. 2021. vol. 14, 1752. DOI: 10.3390/ma14071752.

11. Influence of calcined clay morphology on flow in blended cementitious systems / D. Benkeser, K. Hernandez, F. Lolli, K. Kurtis // *Cement and*

- Concrete Research. 2022. vol.160, 106927. DOI: 10.1016/j.cemconres.2022.106927.
12. Rassulov V. V., Platova P. A., Platov Yu. T. Quality control of metakaolin by infrared spectroscopy // *Stroitel'nye materialy*. 2018. N 5. PP. 53 – 56. (In Russian)
13. Thu-Ha Phung-Thi. Metakaolin as an additive in composite cement // A thesis presented for the Degree of Doctor of Engineering at the Faculty of Civil Engineering of the Weimar Bauhaus University. 2013, 119 pp.
14. Dehydroxylation of kaolinite to metakaolin – a molecular dynamics study / S. Sperinck, P. Raiteri, N. Marks, K. Wright // *Journal of Materials Chemistry*. 2011. vol. 21. PP. 2118 – 2125. DOI: <https://doi.org/10.1039/C0JM01748E>.
15. Pozzolanic activity of metakaolins by the French standard of the modified Chapelle test: A direct methodology / E. Ferraz, S. Andrejkovicova, W. Hajjaji [et al.] // *Acta Geodynamica et Geomaterialia*. 2015. vol. 12(3179). PP. 289 – 298. DOI: 10.13168/AGG.2015.0026.
16. Salvador S. Pozzolanic properties of flash-calcined kaolinite: A comparative study with soak-calcined products // *Cement and Concrete Research*. 1995. vol. 25(1). PP. 102 – 112.
17. The effect of dehydroxylation / amorphization degree on pozzolanic activity of kaolinite / A. Shvarzman, K. Kovler, G. S. Grader, G. E. Shter // *Cement and Concrete Research*. 2003. vol. 33(3). PP. 405 – 416.
18. Formation of aluminosilicate geopolymers from 1:1 layer-lattice minerals pre-treated by various methods: a comparative study / K. J. D. MacKenzie, D. R. M. Brew, R. A. Fletcher, R. Vagana // *Journal of Materials Science*. 2007. vol. 42. PP. 4667 – 4674. DOI: 10.1007/s10853-006-0173-x.
19. TEM study of kaolinite thermal decomposition by controlled-rate thermal analysis / F. Bergaya, P. Dion, J. F. Alcover [et al.] // *Journal of Materials Science*. 1996. vol. 31. PP. 5069 – 5075. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00355907>.
20. Stroganov V.F., Amel'chenko M. O., Potapova L. I. The influence of acid and thermal activation of kaolin on its dispersion, chemical composition and sorption properties // *Izvestiya KGASU*. 2016. N 1(35). PP. 192 – 198. (In Russian)
21. Lagier F., Kurtis K. E. Influence of Portland cement composition on early age reactions with metakaolin // *Cement and Concrete Research*. 2007. vol. 37. PP. 1411 – 1417. DOI: 10.1016/j.cemconres.2007.07.002.
22. He C., Osbaeck B., Makovicky E. Pozzolanic reactions of six principal clay minerals: Activation, reactivity assessments and technological effects // *Cement and Concrete Research*. 1995. vol. 25, no. 8. PP. 1691 – 1702.
23. Mitra G. B., Bhattacharjee S. X-ray diffraction studies on the transformation of kaolinite into metakaolin: I. variability of interlayer spacings // *The American Mineralogist*. 1969. vol. 54. PP. 1409 – 1418.
24. Salvador S. Pozzolanic properties of flash-calcined kaolinite: A comparative study with soak-calcined products // *Cement and Concrete Research*. 1995. vol. 25, no. 1. PP. 102 – 112.
25. Dyatlova E. M., Sergievich O. A., Bobkova N. M. Investigation of structural features of natural and enriched kaolins of Republic Belarus // *Vestsi Natsyianal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk*. 2018. vol. 54, no 1. PP 96 – 102. (In Russian)
26. Ilić B. R., Mitrović, A. A., Miličić Lj. R. Thermal treatment of kaolin clay to obtain metakaolin // *Hemijska Industrija*. – 2010. – Vol. 64, no. 4. PP. 351 – 356. DOI: 10.2298/HEMIND100322014I.
27. Mitrović A., Zdujić M. Mechanochemical treatment of Serbian kaolin clay to obtain a highly reactive pozzolana // *Journal of the Serbian Chemical Society*. 2013. vol. 78, no. 4. PP. 579 – 590. DOI: 10.2298/JSC120829107M.

POZZOLANIC ACTIVITY OF MINERAL ADDITIVE BASED ON THERMOACTIVATED KAOLIN

Zaichenko¹ N.M., Lakhtarina² S.V., Lakhtarina³ N.N.

Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture,
Russian Federation, Donetsk People's Republic, 286123, Makeevsky district, Makeyevka, Derzhavina str., 2,
e-mail: ¹n.m.zaichenko@donnasa.ru, ²s.v.lakhtarina@donnasa.ru, ³n.n.lakhtarina@donnasa.ru

Abstract. The research is related to an important topical issue of studying the processes of kaolinite transformation into metakaolin during heating, which allow supplementing the existing provisions and patterns in terms of reducing the energy intensity of the thermal activation process and the pozzolanic activity of the resulting additive, on the other hand. The chemical composition of the original kaolin clay was determined. On the base of the results of laser diffraction, differential thermal and X-ray phase analysis, as well as infrared spectroscopy, the effect of kaolinite firing temperature on the granulometric composition, degree of dehydroxylation and amorphization of metakaolin was established. The authors determined the pozzolanic activity of the metakaolin mineral additive obtained by thermal activation of kaolin clay in the temperature range of 450-900 °C, when metakaolin was used as a partial replacement of Portland cement. The greatest increase in the compressive strength of the cement paste, both at the early and grade age is achieved by replacing part of the cement with a mineral additive - thermally activated kaolin at a temperature of 650 °C. An increase in the water demand of the composite cement with the addition of the obtained metakaolin is noted. Higher values of the strength index of cement paste with the addition of metakaolin, obtained by heat treatment of kaolin clay at a temperature of 650 °C, are most likely explained by achieving the optimal temperature regime for firing kaolinite. In this case incomplete dehydroxylation, but the maximum degree of amorphization that determines the pozzolanic activity of the additive in terms of strength is achieved. The results obtained may be of interest for the practical implementation of the problem of reducing carbon dioxide emissions, resource and energy conservation, improving the construction and technical properties of materials obtained on the basis of a composite cement with the addition of metakaolin.

Subject: regularities of the process of thermal activation of kaolin clay in the temperature range of 450-900 °C, pozzolanic activity of metakaolin additive in the formulation of composite binder with partial replacement of Portland cement.

Materials and methods: the following materials as initial components for the experimental studies were used: OPC CEM I 42.5 N, Uglegorsk-Cement; kaolin clay of the Vladimir deposit, DPR. Kaolin clay was preliminarily thermally activated at temperatures of 450-900 °C (step 50 °C) to obtain metakaolin and subsequent use as a mineral additive for cement. The process of kaolinite transformation into metakaolin was studied using a set of methods: differential thermal and X-ray phase analysis, infrared spectroscopy. The physical-mechanical properties of the binder were studied using standard methods.

Results: according to the laser diffraction data, it was found that the granulometric composition of the particles of metakaolin samples changes towards an increase in the content of particles in the range of 0.7-4 µm by 4-6 % relatively to the original kaolin, which may indicate a phase transition process of kaolin during thermal activation with its partial destruction. Based on the results of a set of methods: differential thermal and X-ray phase analysis, infrared spectroscopy it can be concluded that when firing kaolinite in the temperature range of 600-850 °C, an amorphized material with varying degrees of dehydroxylation is formed. At the same time, the maximum indicator of pozzolanic activity in terms of strength is achieved when firing kaolinite at a temperature of 650 °C. This is probably due to the maximum degree of amorphization of the material.

Conclusions: the obtained results allow obtaining a highly reactive mineral additive for Portland cement with minimal energy costs. In the future, the research will be aimed at studying the transformation of the coordination bonds of the aluminum cation during the heating of kaolinite and their effect on the pozzolanic activity of metakaolin.

Key words: kaolinite, metakaolin, thermal activation, dehydroxylation, amorphization, pozzolanic activity.

Раздел 3. Инженерное обеспечение

УДК 692.23

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА В СОСТАВЕ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ КВАДРАТИЧНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Олехнович¹ Я. А., Радаев² А. Е.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
E-mail: ¹oyanis@list.ru; ²radaev_ae@spbstu.ru

Аннотация: Актуальность исследования определяется важностью проблем обоснования характеристик конструктивных решений, применяемых при возведении или реконструкции зданий и сооружений (с учетом показателей энергетической и экономической эффективности), а также относительно невысокой практической значимостью соответствующих научных разработок.

Постановка задачи. Необходимо определить наиболее предпочтительный вариант (модель) теплоизоляционного материала, используемого в качестве дополнительного слоя в составе стенового ограждения, на основе критериев обеспечиваемого сопротивления теплопередаче и срока окупаемости соответствующего конструктивного решения.

Цель работы. Разработка инструментальных средств обоснования характеристик теплоизоляционного материала в составе стенового ограждения в рамках жилого здания.

Задачами исследования являются: 1. Обзор и сравнительный анализ научных разработок в области исследования. 2. Разработка методики обоснования характеристик теплоизоляционного материала в составе стенового ограждения с использованием средств квадратичной оптимизации. 3. Реализация разработанной методики на практическом примере.

Результаты. Разработана методика обоснования характеристик теплоизоляционного материала в составе стенового ограждения с использованием средств квадратичной оптимизации. Осуществлена реализация методики на практическом примере, выполнен анализ полученных результатов.

Выводы. Результаты реализации методики на практическом примере подтверждают высокую практическую значимость разработанного инструментального средства. Таким образом, средства квадратичной оптимизации могут быть эффективно использованы для решения задачи обоснования характеристик теплоизоляционного материала в составе стенового ограждения.

Ключевые слова: стеновое ограждение, оптимизационная модель, энергоэффективность, теплоизоляционный материал, сопротивление теплопередаче, характеристики материала.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из ключевых задач, решаемых при проектировании новых и реновации существующих объектов строительства, является обеспечение показателей энергетической эффективности, способствующих сокращению затрат на отопление зданий и сооружений. Важность решения упомянутой задачи также подтверждается наличием требований к теплотехническим показателям стеновых ограждений в составе здания, приведенных в отечественной нормативной документации.

Решение задачи обеспечения показателей энергетической эффективности здания, способствующих сокращению затрат на отопление, в общем случае производится посредством формирования конструктивных решений по отношению к соответствующим стеновым ограждениям, предполагающих использование различных теплоизоляционных материалов, с использованием различных критериев предпочтительности вариантов решений. Трудность решения указанной задачи обусловлена широким разнообразием производителей и моделей теплоизоляционных материалов, а также сложным

характером взаимосвязей между техническими характеристиками материала, используемого в составе стенового ограждения, и показателями, описывающими энергетическую эффективность и экономическую целесообразность соответствующего конструктивного решения. Также важно отметить, что результаты предварительного обзора работ зарубежных и отечественных авторов в области обоснования характеристик теплоизоляционного материала (далее – утеплителя) в составе ограждающих конструкций засвидетельствовали относительно невысокую практическую значимость соответствующих научных разработок. Вышеуказанные обстоятельства определили целесообразность проведения исследования, целью которого является разработка инструментальных средств обоснования характеристик утеплителя в составе стенового ограждения в рамках жилого здания.

Объектом исследования является конструктивное решение, формируемое по отношению к стеновому ограждению в составе жилого здания, предполагающее использование утеплителя в качестве отдельного слоя..

Предметом исследования являются характеристики вышеупомянутого конструктивного решения в части применяемого утеплителя, а также соответствующие показатели энергетической эффективности.

На начальных этапах исследования выполнен обзор и сравнительный анализ научных разработок в области обоснования характеристик утеплителей в составе ограждающих конструкций в рамках жилых зданий. На основе результатов выполнения указанной процедуры были сделаны следующие выводы:

1. Научные разработки, относящиеся к рассматриваемой предметной области, классифицируются по следующим основным признакам:

– *разновидность научных результатов, относящихся к разработкам методического характера:* рекомендации по доработке и актуализации нормативно-технической документации РФ, основанные на анализе действующих нормативных требований в области тепловой защиты зданий и сооружений [1-4]; экономический анализ показателей различных конструктивных решений в области тепловой защиты зданий, позволяющий делать выводы о полезности (общей и предельной) применения тех или иных конструктивных решений [5]; выявление факторов, определяющих допустимую степень оптимизации (уменьшения) затрат, связанных с повышением тепловой защиты зданий [6-8]; практические рекомендации в части теплоизолирующих материалов для различных вариантов стеновых ограждений [9]

– *математическое описание теплотехнических свойств и характеристик различных категорий ограждающих конструкций, определяемых в том числе условиями эксплуатации:* экспериментальное обоснование теплотехнических характеристик (в частности, приведенного сопротивления теплопередаче) светопрозрачных конструкций [10-12]; анализ теплотерь ограждающих конструкций при их контакте с грунтовыми массивами [13,14]; исследования теплотехнических свойств конструкций, выполненных из материалов – отходов теплоэнергетики [15], численное моделирование поведения вентилируемых фасадов в экстремальных климатических условиях [16];

– *категория инструментальных средств математического моделирования для определения оптимального конструктивного решения в области тепловой защиты здания:* квадратичное программирование [17], линейная многофакторная оптимизация [18,19].

2. Подавляющее большинство разработок обладают относительно невысокой практической значимостью ввиду следующих особенностей:

– отсутствие математического описания взаимосвязей между характеристиками конструктивных решений и показателями энергетической эффективности зданий;

– отсутствие учета взаимосвязи между характеристиками конструктивного решения в части используемых строительных материалов и сроком окупаемости упомянутого решения;

– существенная степень зависимости получаемых результатов от объема и качества исходных статистических данных.

Для достижения указанной цели исследования в процессе исследования были сформулированы следующие задачи:

1. Разработка методики обоснования характеристик теплоизоляционного материала в составе ограждающей конструкции с использованием средств квадратичной оптимизации.

2. Реализация разработанной методики на практическом примере.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В рамках промежуточных этапов исследования была разработана методика обоснования характеристик утеплителя в составе стенового ограждения с использованием средств квадратичной оптимизации.

Разработанная методика базируется на следующих основных положениях:

1. Объектом моделирования является внешнее стеновое ограждение, по отношению к которому реализуется проектное решение в области обеспечения требуемого значения сопротивления теплопередаче в рамках реализации мероприятий по повышению энергетической эффективности соответствующего жилого здания на этапе реновации.

2. Реализуемое проектное решение предполагает применение утеплителя в качестве дополнительного слоя в составе рассматриваемого стенового ограждения и подразумевает наличие капитальных затрат, связанных с приобретением материала и его монтажом.

3. Результатом реализации проектного решения является сопротивление теплопередаче рассматриваемого стенового ограждения, обуславливающее уменьшение периодических затрат на отопление объекта строительства за счет уменьшения коэффициента теплопередачи стенового ограждения при увеличении его сопротивления теплопередаче до требуемого значения.

4. Существует функциональная взаимосвязь между удельными – относящимися к единице площади поверхности стенового ограждения – затратами на приобретение утеплителя и его отдельными техническими характеристиками, в состав которых обязательно входят коэффициент теплопроводности и толщина материала. Коэффициент теплопроводности является основной технической характеристикой, все остальные характеристики являются дополнительными. При этом аналогичная взаимосвязь между затратами на

монтаж утеплителя и его техническими характеристиками отсутствует.

5. Удельные затраты на приобретение утеплителя линейно зависят от следующих категорий: обратное значение основной технической характеристики материала; отношение значения каждой отдельной дополнительной технической характеристики к значению основной технической характеристики.

6. Аналитическая модель взаимосвязи между удельными затратами на приобретение утеплителя и его техническими характеристиками определяется выражением вида

$$\tilde{y} = \beta_0 + \sum_{j=1}^n \beta_j \cdot \theta_j$$

где \tilde{y} – прогнозируемое значение удельных затрат на приобретение утеплителя, руб./м²;

j – индекс независимой категории, учитываемой в составе аналитической модели (технической характеристики утеплителя); $j = 1, 2, \dots, n$;

j_λ – значение индекса независимой категории, соответствующей основной технической характеристике утеплителя, в составе аналитической модели; $j_\lambda \in \{1; 2; \dots; n\}$;

n – количество независимых категорий, учитываемых в составе аналитической модели, ед.;

θ_j – значение независимой категории (учитываемой в составе аналитической модели) с индексом j ($j = 1, 2, \dots, n$), ЕИ_{θj};

$$\theta_j = \begin{cases} \frac{1}{\chi_j}, & j = j_\lambda; \\ \frac{\chi_j}{\chi_{j'=j_\lambda}}, & j \neq j_\lambda; \end{cases} \quad 2$$

χ_j – значение технической характеристики, соответствующей независимой категории (учитываемой в составе аналитической модели) с индексом j ($j = 1, 2, \dots, n$), ЕИ_{χj};

ЕИ_{θj}, ЕИ_{χj} – единица измерения соответственно независимой категории аналитической модели и технической характеристики теплоизоляционного материала с индексом j ($j = 1, 2, \dots, n$);

β_j – параметр аналитической модели – коэффициент пропорциональности прогнозного

значения удельных затрат на приобретение утеплителя от значения независимой категории с индексом j ($j = 1, 2, \dots, n$), (руб./м² · ЕИ_{θj});

β_0 – дополнительный параметр аналитической модели – условно-независимые (от значений технических характеристик материала) удельные затраты на приобретение утеплителя, руб./м².

7. Формирование аналитической модели,

о
п
р
е
е
д
е
л
я

8. Для оценки статистической значимости сформированной аналитической модели взаимосвязи между удельными затратами на приобретение утеплителя и его техническими характеристиками целесообразно использовать следующие расчетные характеристики: расчетное значение критерия Фишера; расчетная вероятность ошибочного признания статистической значимости сформированной модели.

9. Для оценки степени адекватности аналитической модели взаимосвязи между удельными затратами на приобретение утеплителя и его техническими характеристиками целесообразно использовать коэффициент детерминации.

10. Требуется определить наиболее предпочтительный вариант утеплителя, при котором обеспечивается минимальное значение срока окупаемости (отношения удельных затрат на приобретение и монтаж утеплителя к соответствующей экономии периодических затрат на отопление здания) рассматриваемого проектного решения при условии, что фактическое отклонение расчетного значения сопротивления теплопередаче (вычисленного для стенового ограждения) от нормативного значения не превысит максимально допустимую величину.

Структура разработанной методики описывается блок-схемой, представленной на рисунке 1. Описание исходных данных, неизвестных переменных и расчетных характеристик, учитываемых в рамках разработанной методики, представлено в таблицах № 1 и 2.

е
п
а
р
а
м
е
т
р
о
в

β_0 – целесообразно осуществлять с использованием метода наименьших квадратов в рамках процедуры многофакторной линейной

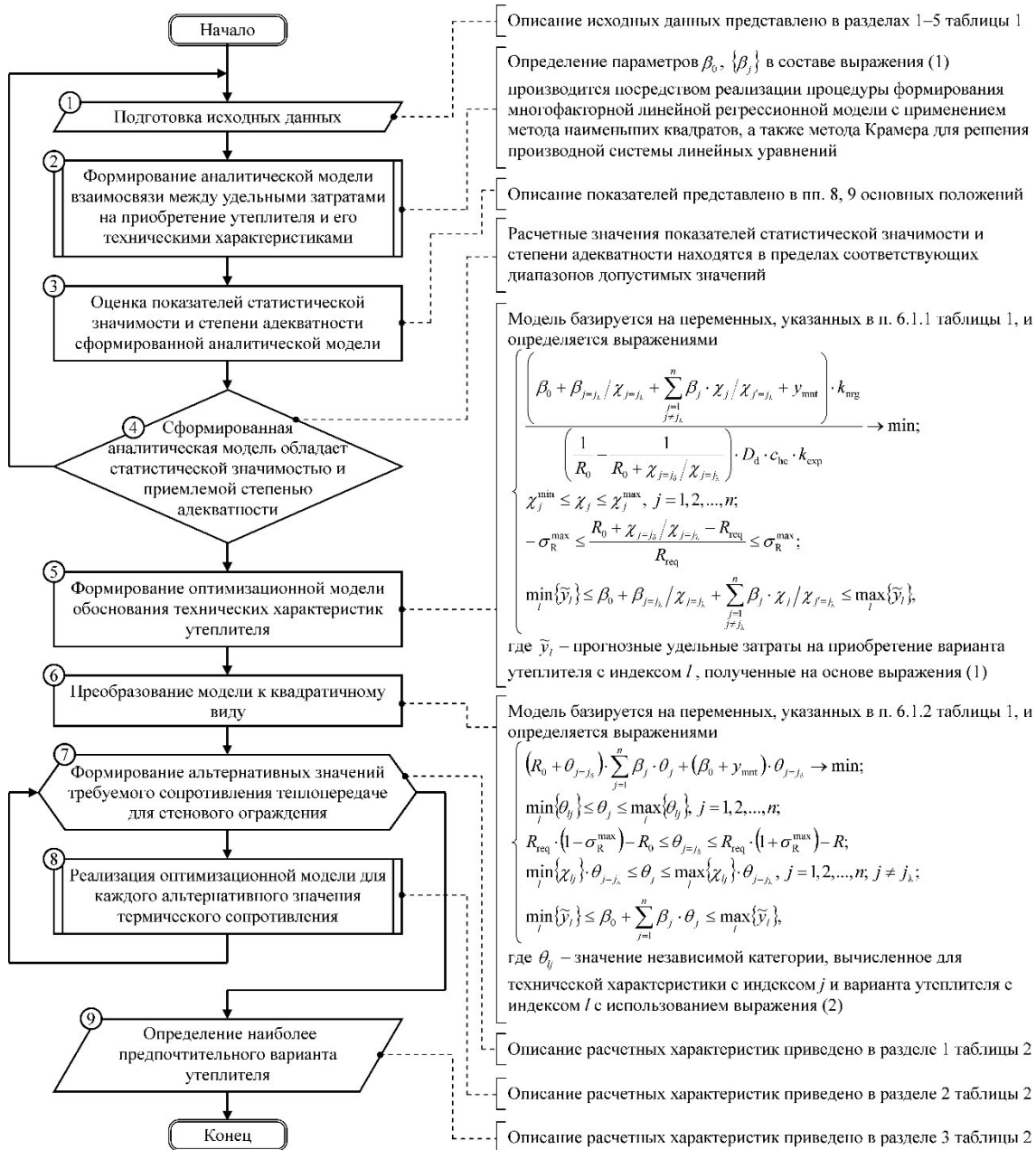


Рис. 1. Блок-схема, описывающая структуру разработанной методики
 Fig. 1. – Block diagram describing the structure of the developed procedure

Таблица 1. Исходные данные и неизвестные переменные, учитываемые в рамках разработанной методики
 Table 1. Initial data and unknown variables taken into account within the developed procedure

№ п.п.	Наименование элемента исходных данных	Ед. изм.	Обознач-е / выражение
1	2	3	4
1	Индексы		
1.1	Индекс технической характеристики утеплителя ^(1)	-	$j = 1, 2, \dots, n$
1.2	Индекс параметра, соответствующего коэффициенту теплопроводности утеплителя	-	$j_\lambda \in \{1, 2, \dots, n\}$
1.3	Индекс параметра, соответствующего толщине утеплителя	-	$j_\delta \in \{1, 2, \dots, n\}$
1.4	Индекс варианта утеплителя ^(2)	-	$l = 1, 2, \dots, g$
1.5	Индекс вычислительного эксперимента ^(3)	-	$p = 1, 2, \dots, z$
1.6	Индекс критерия выбора наиболее предпочтительного варианта утеплителя ^(4)	-	$h = 1, 2, \dots, u$

2	Исходные данные, используемые при формировании взаимосвязи между удельными затратами на приобретение утеплителя и его техническими характеристиками		
2.1	Общие исходные данные		
2.1.1	Количество технических характеристик утеплителя	ед.	n
2.1.2	Количество вариантов утеплителя	ед.	g
2.2	Исходные данные, задаваемые для каждого отдельного варианта утеплителя с индексом l ($l = 1, 2, \dots, g$)		
2.2.1	Наименование варианта утеплителя	-	-
2.2.2	Фактические удельные затраты на приобретение утеплителя	руб./м ²	y_l
2.3	Исходные данные, задаваемые для каждого отдельного варианта утеплителя с индексом l ($l = 1, 2, \dots, g$) в части каждой технической характеристики материала с индексом j ($j = 1, 2, \dots, n$)		
2.3.1	Значение технической характеристики утеплителя	EI_{χ_j}	χ_{lj}
3	Исходные данные, используемые при формировании оптимизационной модели обоснования технических характеристик утеплителя ^(7)		
3.1	Общие исходные данные		
3.1.1	Исходное значение сопротивления теплопередаче для стенового ограждения ^(8)	м ² ·°C/Вт	R_0
3.1.2	Требуемое значение сопротивления теплопередаче для стенового ограждения ^(9)	м ² ·°C/Вт	R_{req}
3.1.3	Максимальное относительное отклонение фактического значения сопротивления теплопередаче для стенового ограждения от требуемого значения	-	σ_R^{max}
3.1.4	Удельные затраты на монтаж утеплителя	руб./м ²	y_{mt}
3.1.5	Тариф на использование тепловой энергии	руб./Гкал	c_{he}
3.1.6	Показатель градусо-суток отопительного периода ^(8)	°C·сут.	D_d
3.1.7	Коэффициент пересчета энергетических единиц измерения	Вт·ч/Гкал	k_{nrg}
3.1.8	Коэффициент пересчета временных единиц измерения	ч/сут.	k_{exp}
4	Исходные данные, используемые при планировании последовательности процедур построения и реализации оптимизационной модели		
4.1	Общие исходные данные		
4.1.1	Шаг изменения требуемого значения сопротивления теплопередаче для стенового ограждения	м ² ·°C/Вт	Δ_R
5	Исходные данные, используемые при определении наиболее предпочтительного варианта утеплителя ^(9)		
5.1	Общие исходные данные		
5.1.1	Количество критериев выбора наиболее предпочтительного варианта утеплителя ^(10)	ед.	u
5.1.2	Нормативное значение сопротивления теплопередаче для стенового ограждения	м ² ·°C/Вт	R_{norm}
6	Неизвестные переменные		
6.1	Неизвестные переменные, учитываемые по отношению к каждой отдельной технической характеристике утеплителя с индексом j ($j = 1, 2, \dots, n$)		
6.1.1	Значение технической характеристики утеплителя	EI_{χ_j}	χ_j
6.1.2	Значение независимой категории (в составе аналитической модели взаимосвязи между удельными затратами на приобретение утеплителя и его техническими характеристиками), соответствующей технической характеристике утеплителя ^(5)	EI_{θ_j}	θ_j

Примечание:

- (1) верхнее значение индекса определяется элементом исходных данных п. 2.1.1 таблицы;
- (2) верхнее значение индекса определяется элементом исходных данных п. 2.1.2 таблицы;
- (3) верхнее значение индекса определяется элементом исходных данных п. 5.1.1 таблицы;
- (4) верхнее значение индекса определяется элементом исходных данных п. 1.2.3 таблицы 2;
- (5) взаимосвязь с переменной п. 6.1.1 таблицы описывается выражением (2).

Таблица 2. Расчетные характеристики, вычисляемые в рамках разработанной методики
Table 2. Design characteristics calculated within the developed procedure

№ п.п.	Наименование расчетной характеристики	Ед. изм.	Выражение
1	2	3	4
1	Расчетные характеристики, вычисляемые при формировании последовательности вычислительных экспериментов		
1.1	Расчетные характеристики, вычисляемые для каждого отдельного варианта утеплителя с индексом l ($l=1,2,\dots,g$)		
1.1.1	Сопротивление теплопередаче для стенового ограждения	$\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	$R_l = R_0 + \theta_{l=j_s}$
1.2	Обобщенные расчетные характеристики		
1.2.1	Предельное значение требуемого сопротивления теплопередаче для стенового ограждения	минимальное ^(1)	$R_{\text{req}}^{\text{min}} = \left[\frac{\min \{R_l\}}{\Delta_R} \right] \cdot \Delta_R$
1.2.2		максимальное ^(2)	$R_{\text{req}}^{\text{max}} = \left[\frac{\max \{R_l\}}{\Delta_R} \right] \cdot \Delta_R$
1.2.3	Количество вычислительных экспериментов	ед.	$z = \frac{R_{\text{req}}^{\text{max}} - R_{\text{req}}^{\text{min}}}{\Delta_R} + 1$
1.3	Расчетные характеристики, формируемые для каждого отдельного вычислительного эксперимента с индексом p ($p=1,2,\dots,z$)		
1.3.1	Альтернативное значение требуемого сопротивления теплопередаче для стенового ограждения ^(3)	$\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	$R_{\text{req}p} = R_{\text{req}}^{\text{min}} + (p-1) \cdot \Delta_R$
2	Расчетные характеристики, формируемые по результатам реализации каждого отдельного вычислительного эксперимента с индексом p ($p=1,2,\dots,z$)		
2.1.1	Значение каждой неизвестной переменной с индексом j ($j=1,2,\dots,n$) в найденном оптимальном решении	$EИ_{\theta_j}$	θ_{pj}^{opt}
2.1.2	Значение целевой функции, соответствующее найденному оптимальному решению	руб. $\cdot \text{°C}/\text{Вт}$	Θ_p^{opt}
3	Расчетные характеристики, вычисляемые при определении наиболее предпочтительного варианта утеплителя		
3.1	Расчетные характеристики, вычисляемые по отношению к каждому отдельному вычислительному эксперименту с индексом p ($p=1,2,\dots,z$)		
3.1.1	Оптимальное значение технической характеристики утеплителя с индексом j ($j=1,2,\dots,n$)	$EИ_{\chi_j}$	$\chi_j^{\text{opt}} = \begin{cases} \theta_j^{\text{opt}}, & j = j_\lambda; \\ \theta_{j=j_\lambda}^{\text{opt}}, & j \neq j_\lambda. \end{cases}$
3.1.2	Срок окупаемости реализуемого проектного решения (критерий с индексом $h=1$)	ед.	$Q_{h=1,p} = \frac{R_0 \cdot k_{\text{нрг}}}{c_{\text{he}} \cdot D_d \cdot k_{\text{exp}}} \times \frac{\Theta_p^{\text{opt}} + R_0 \cdot (\beta_0 + y_{\text{нт}})}{\theta_{pj=j_s}^{\text{opt}}}$
3.1.3	Абсолютное отклонение фактического значения сопротивления теплопередаче для стенового ограждения от нормативного значения (критерий с индексом $h=2$)	$\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	$Q_{h=2,p} = R_0 + \theta_{pj=j_s}^{\text{opt}} - R_{\text{норм}} $
3.1.4	Нормированное значение каждого отдельного критерия выбора варианта утеплителя с индексом h ($h=1,2,\dots,u$) ^(4)	-	$Q_{hp}^N = \frac{Q_{hp} - Q_h^{\text{worst}}}{Q_h^{\text{best}} - Q_h^{\text{worst}}}$
3.1.5	Значение комплексного критерия (показателя предпочтительности) ^(5)	-	$Q_p^{N\Sigma} = \sum_{h=1}^u w_h \cdot Q_{hp}^N$
3.2	Расчетные характеристики, вычисляемые для каждого критерия выбора варианта утеплителя с индексом h ($h=1,2,\dots,u$)		

3.2.1	Экстремальное значение критерия	наиболее предпочтительное	-	$Q_h^{best} = \min_p \{Q_{hp}\}$
3.2.2		наименее предпочтительное	-	$Q_h^{worst} = \max_p \{Q_{hp}\}$
3.2.3	Балансировочный весовой коэффициент значимости учета критерия		м ² ·°C/Вт	$w_h = \frac{z - \sum_{p=1}^z Q_{hp}^N}{u \cdot z - \sum_{h=1}^u \sum_{p=1}^z Q_{hp}^N}$
3.3	Расчетные характеристики, вычисляемые для каждого отдельного варианта утеплителя с индексом l ($l = 1, 2, \dots, g$)			
3.3.1	Срок окупаемости реализуемого проектного решения (критерий с индексом $h = 1$)		ед.	$Q_{h=1,l} = \frac{k_{nrg}}{D_d \cdot c_{he} \cdot k_{exp}} \times \left(\beta_0 + \sum_{j=1}^j \beta_k \cdot \theta_{lj} + y_{mnt} \right) \times \left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_0 + \theta_{lj=j_s}} \right)$
3.3.2	Абсолютное отклонение фактического значения сопротивления теплопередаче для стенового ограждения от нормативного значения (критерий с индексом $h = 2$)		м ² ·°C/Вт	$Q_{h=2,l} = R_0 + \theta_{lj=j_s} - R_{norm} $
3.3.3	Нормированное значение каждого отдельного критерия выбора экземпляра теплоизоляционного материала с индексом h ($h = 1, 2, \dots, u$)		-	$Q_{hl}^N = \frac{Q_{hl} - Q_h^{worst}}{Q_h^{best} - Q_h^{worst}}$
3.3.4	Значение комплексного критерия (показателя предпочтительности)		-	$Q_l^{N\Sigma} = \sum_{h=1}^u w_h \cdot Q_{hl}^N$
3.4	Агрегированные расчетные характеристики			
3.4.1	Индекс вычислительного эксперимента с наиболее предпочтительным результатом		-	$p^{best} : Q_{p=p^{best}}^{N\Sigma} = \max_p \{Q_p^{N\Sigma}\}$
3.4.2	Индекс наиболее предпочтительного варианта утеплителя		-	$l^{best} : Q_{l=l^{best}}^{N\Sigma} = \max_l \{Q_l^{N\Sigma}\}$

Примечание:

- (1) обозначение [...] в составе математического выражения определяет результат округления соответствующего значения до ближайшего большего целого;
- (2) обозначение [...] в составе математического выражения определяет результат округления соответствующего значения до ближайшего меньшего целого;
- (3) значение расчетной характеристики присваивается элементу исходных данных, определяемому п. 3.1.2 таблицы 1 ($R_{req} = R_{req,p}$), непосредственно перед каждой отдельной реализацией модифицированной оптимизационной модели.
- (4) вычисление расчетной характеристики производится после вычисления характеристик пп. 3.2.1 и 3.2.2 таблицы;
- (5) вычисление расчетной характеристики производится после вычисления характеристики п. 3.2.3 таблицы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для объективной оценки практической значимости разработанного инструментального средства в рамках заключительных этапов исследования была произведена реализация разработанной методики на практическом примере для следующих значений основных исходных данных: $R_0 = 1,073$ м²·°C/Вт; $y_{mnt} = 1,073$ руб./м²; $c_{he} = 1,073$ руб./Гкал; $D_d = 1,073$

°C·сут.; $k_{nrg} = 1163000$ кВт·ч/Гкал; $k_{exp} = 24$ ч/сут. При этом в качестве дополнительных технических характеристик утеплителя рассматривались следующие: толщина, средняя плотность, водопоглощение за 24 часа (по объему), индекс группы горючести. Минимальное и максимальное значения требуемого сопротивления теплопередаче для стенового ограждения, вычисленные на основе предварительно подготовленной выборки вариантов утеплителя, составили соответственно 1,74 м²·°C/Вт и 3,93

$\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$. Шаг изменения требуемого значения сопротивления теплопередаче для стенового ограждения при выполнении вычислительных экспериментов был принят равным $0,01 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$. Нормативное значение сопротивления теплопередаче принималось равным $3,08 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$. В процессе реализации методики было использовано следующее программное обеспечение: «Microsoft Excel» – для задания исходных данных и анализа результатов реализации

оптимизационной модели; программное обеспечение «Matlab» – непосредственно для построения и реализации оптимизационной модели. Графическое описание результатов выполнения вычислительных экспериментов – зависимость значения срока окупаемости конструктивного решения в оптимальном решении оптимизационной модели от значения требуемого сопротивления теплопередаче для стенового ограждения – представлены на рисунке 1.

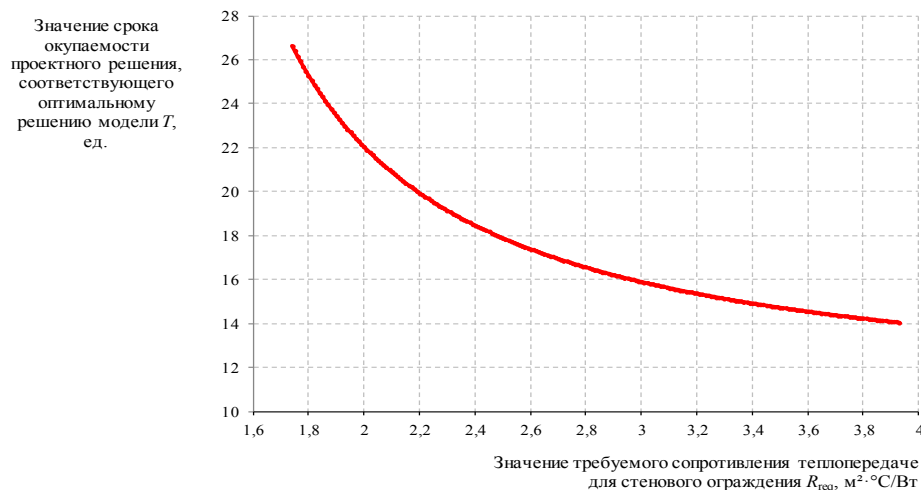


Рис. 2. Графическое описание результатов выполнения вычислительных экспериментов в рамках реализации методики на практическом примере (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Graphic interpretation of the completed calculating experiments results as part of the method realization by practical example (illustration by the authors)

Как видно из рисунка, упомянутая зависимость имеет гиперболический характер, обусловленный более высокой скоростью роста экономии периодических затрат на отопление здания в сравнении с ростом капитальных затрат на реализацию конструктивного решения при увеличении требуемого значения сопротивления теплопередаче для стенового ограждения. В процессе реализации методики был выбран наиболее предпочтительный вариант утеплителя. На основе полученных результатов был сделан вывод о высокой практической значимости разработанного инструментального средства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в рамках исследования были получены следующие результаты:

1. Выполнен обзор и сравнительный анализ научных разработок в области обоснования характеристик теплоизоляционных материалов в составе стеновых ограждений в рамках жилых зданий. По результатам выполнения указанной процедуры выявлены недостатки существующих инструментальных средств для решения соответствующих прикладных задач.

2. Разработана методика обоснования характеристик утеплителя в составе ограждающей

конструкции с использованием средств квадратичной оптимизации. Методика предполагает выполнение серии вычислительных экспериментов для объективной оценки значимости критериев обоснования наиболее предпочтительного варианта утеплителя..

3. Разработанная методика была реализована на практическом примере. На основе полученных результатов сделан вывод о высокой практической значимости разработанного инструментального средства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшков, А.С. Анализ действующих требований и методик по тепловой защите зданий / А.С. Горшков, С.В. Корниенко // Энергосбережение. – 2018. – №3. – С. 28-37.

2. Горшков, А.С. Замечания и предложения по корректировке свода правил «Тепловая защита зданий» / А.С. Горшков, С.В. Корниенко // Кровельные и изоляционные материалы. – 2018. – № 5. – С. 42-47.

3. Горшков, А.С. Предложения по совершенствованию нормативных требований к ограждающим конструкциям / А.С. Горшков // Строительные материалы, оборудование,

технологии XXI века. 2017. – № 1-2 (216-217). – С. 49-52.

4. Крышов, С.И. О фактических показателях энергоэффективности зданий. Причины и пути устранения несоответствия нормативам / С.И. Крышов, И.С. Курилков // Энергосбережение. – 2018. – № 4. – С. 38-45.

5. Стахов, А. Е. Экономическая оценка конструктивных решений тепловой защиты зданий / А. Е. Стахов, А. А. Андреев // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2018. – № 4. – С. 42-47. – EDN UQQGPG.

6. Ковалев, И. Н. Особенности оптимизации толщины утеплителя наружных стен зданий. Системные аспекты / И. Н. Ковалев, Ю. А. Табунщиков // Энергосбережение. – 2017. – № 8. – С. 22-32. – EDN ZUGGLL.

7. Мальцев А.Н. Определение оптимальной степени усиления элементов теплозащитной оболочки малоэтажных жилых домов / А.Н. Мальцев // Инженерный вестник Дона. - 2021. - №7.

8. Окунев А.Ю. Оптимизация утепления наружных стен на примере частных жилых домов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 1. С. 126–139.

9. Increasing the Energy Efficiency of Ventilated Facades Using Different Insulators / D. Kraynov, G. Medvedeva, R. Sadykov, A. Ibragimova // Proceedings of STCCE : International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering 2022 : Lecture Notes in Civil Engineering, Kazan, 21–29 апреля 2022 года. Vol. 291. – Switzerland: Springer Nature, 2022. – P. 299-309. – DOI 10.1007/978-3-031-14623-7_26. – EDN PPGKMS.

10. Крайнов, Д. В. Сравнение оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам / Д. В. Крайнов, Д. Р. Гарифуллина // Экологическая безопасность и устойчивое развитие урбанизированных территорий : Сборник докладов II Международной научно-практической конференции, Нижний Новгород, 23–25 апреля 2019 года / Редколлегия: А.А. Лапшин [и др.]. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. – С. 313-317. – EDN CUBZOE.

11. Крайнов, Д. В. Теплопоступление и теплопотери через стеклопакеты / Д. В. Крайнов, А. О. Салеева // Экологическая безопасность и устойчивое развитие урбанизированных территорий : Сборник докладов II Международной научно-практической конференции, Нижний Новгород, 23–25 апреля 2019 года / Редколлегия: А.А. Лапшин [и др.]. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. – С. 347-351. – EDN DRMZSA.

12. Крайнов, Д. В. Расчет приведенного сопротивления теплопередачи светопрозрачных конструкций из алюминиевых профилей / Д. В. Крайнов, И. А. Масленников // Известия Казанского

государственного архитектурно-строительного университета. – 2020. – № 4(54). – С. 35-43. – EDN KRRCUK.

13. Liu H., Maghoul P., Shalaby A. Optimum insulation design for buried utilities subject to frost action in cold regions using the Nelder-Mead algorithm // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2019. (130). С. 613 639. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.10.107

14. Hoffmann C., Geissler A. The prebound-effect in detail: Real indoor temperatures in basements and measured versus calculated U-values // Energy Procedia. 2017. (122). С. 32-37. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.07.301

15. Kraynov, D. Research of thermal performance properties of the wall construction products made of materials using heat power engineering waste / D. Kraynov, G. Medvedeva // E3S Web of Conferences Volume 274 (2021) : 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021), Kazan, 21–28 апреля 2021 года. Vol. 274. – France: EDP Sciences, 2021. – P. 7001. – DOI 10.1051/e3sconf/202127407001. – EDN YMXDFC.

16. Numerical simulation of ventilated facades under extreme climate conditions / M. R. Petrichenko, E. V. Kotov, D. V. Nemova [et al.] // Magazine of Civil Engineering. – 2018. – No. 1(77). – P. 130-140. – DOI 10.18720/MCE.77.12. – EDN XPKZPN.

17. Гамаюнова О.С. Обоснование характеристик многослойной стеновой конструкции с использованием средств квадратичного программирования / А.Е. Радаев, О.С. Гамаюнова // Строительство и техногенная безопасность. 2021. №22(74). С. 111-127.

18. Гамаюнова О.С. Обоснование стоимости утеплителей от их теплофизических характеристик // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2019. № 1 (76). С. 19-29.

19. Радаев, А.Е. Использование средств оптимизационного моделирования для обоснования характеристик энергоэффективного конструктивного решения / А. Е. Радаев, О. С. Гамаюнова, Г. А. Бардина // Строительство и техногенная безопасность. – 2022. – № 27(79). – С. 5-25. – EDN EXVSFS.

REFERENCES

1. Gorshkov A.S., Kornienko S.V. Analysis of current requirements and methods for thermal protection of buildings. – 2018. – №3. P. 28-37.

2. Gorshkov A.S., Kornienko S.V. Remarks and Suggestions for Correction of the Code of Rules "Thermal Protection of Buildings" / A.S. Gorshkov, S.V. Kornienko // Roofing and Insulation Materials. – 2018. – № 5. P. 42-47.

3. Gorshkov, A.S. Proposals for the improvement of regulatory requirements for enclosing constructions / A.S. Gorshkov // Construction materials, equipment, technologies of the XXI century. 2017. – № 1-2 (216-217). P. 49-52.

4. Kryshov, S.I. On Actual Indicators of Energy Efficiency of Buildings. Causes and ways of eliminating non-compliance with standards / S.I. Kryshov, I.S. Kurylyuk // *Energy saving*. – 2018. – № 4. P. 38-45.
5. Stakhov A. E., Andreenko A. A. Ekonomicheskie otsenka konstruktivnykh resheniya teplovoy zashchita zdvizheniya [Economic assessment of constructive solutions of thermal protection of buildings] / A. E. Stakhov, A. A. Andreenko // *AVOK: Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and construction thermophysics*. – 2018. – № 4. P. 42-47. – EDN UQQGPG.
6. Kovalev, I. N. Features of Optimization of Thickness of Insulation of External Walls of Buildings. Sistemnye aspekty / I. N. Kovalev, Y. A. Tabunshchikov // *Energoberezhenie [Energy saving]*. – 2017. – № 8. P. 22-32. – EDN ZUGLL.
7. Maltsev A.N. Opredelenie optimal'noy speneniya elementov teplozashchitel'noy oshell [Determination of the optimal degree of strengthening the elements of the heat protective shell of low-rise residential houses] / A.N. Maltsev // *Inzhenernyy vestnik Dona*. - 2021. - №7.
8. Okunev A.Y. Optimization of Insulation of External Walls on the Example of Private Residential Houses // *Bulletin of the Tomsk State Architectural and Construction University*. 2019. T. 21. № 1. Pp. 126–139.
9. Increasing the Energy Efficiency of Ventilated Facades Using Different Insulators / D. Kraynov, G. Medvedeva, R. Sadykov, A. Ibragimova // *Proceedings of STCCE : International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering 2022 : Lecture Notes in Civil Engineering, Kazan, 21–29 апреля 2022 года*. Vol. 291. – Switzerland: Springer Nature, 2022. – P. 299-309. – DOI 10.1007/978-3-031-14623-7_26. – EDN PPGKMS.
10. Kraynov D. V., Garifullina D. R. Ekologicheskaya bezopasnosti i ustoychivogo razvitie urbanizatsionnykh territorii: Sbornik dokladov II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Nizhny Novgorod, 23–25 april 2019 goda / Editorial board: A.A. Lapshin [i dr.]. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 2019. P. 313-317. – EDN CUBZOE.
11. Kraynov D. V., Saleeva A. O. Teploposteniya i teplopoterya perez glazoponoky [Heat Supply and Heat Loss through Double-glazed Windows] / D. V. Kraynov, A. O. Saleeva // *Ekologicheskaya bezopasnosti i ustoychivogo razvitie urbanizatsionnykh territorii: Sbornik dokladov II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoy konferentsii, Nizhny Novgorod, 23–25 april 2019 goda [Electronic Safety and Sustainable Development of Urbanized Territories: Collection of Reports of the II International Scientific and Practical Conference, Nizhny Novgorod, 23–25 April 2019]*. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 2019. P. 347-351. – EDN DRMZSA.
12. Krainov D. V., Maslennikov I. A. Raschet priducennogo protivnosti teplopredstavleniya translucenitnykh konstrukttsii iz aluminivnykh profili [Calculation of the reduced resistance of heat transfer of translucent structures from aluminum profiles] / D. V. Kraynov, I. A. Maslennikov // *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. – 2020. – № 4(54). P. 35-43. – EDN KRRCUK.
13. Liu H., Maghoul P., Shalaby A. Optimum insulation design for buried utilities subject to frost action in cold regions using the Nelder-Mead algorithm // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2019. (130). C. 613-639. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.10.107
14. Hoffmann C., Geissler A. The prebound-effect in detail: Real indoor temperatures in basements and measured versus calculated U-values // *Energy Procedia*. 2017. (122). C. 32-37. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.07.301
15. Kraynov, D. Research of thermal performance properties of the wall construction products made of materials using heat power engineering waste / D. Kraynov, G. Medvedeva // *E3S Web of Conferences Volume 274 (2021) : 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021), Kazan, 21–28 апреля 2021 года*. Vol. 274. – France: EDP Sciences, 2021. – P. 7001. – DOI 10.1051/e3sconf/202127407001. – EDN YMXDFC.
16. Numerical simulation of ventilated facades under extreme climate conditions / M. R. Petrichenko, E. V. Kotov, D. V. Nemova [et al.] // *Magazine of Civil Engineering*. – 2018. – No. 1(77). – P. 130-140. – DOI 10.18720/MCE.77.12. – EDN XPKZPN.
17. Gamayunova O.S. Justification of the characteristics of multi-layer wall construction with the use of quadratic programming tools / A.E., Radaev, O.S. Gamayunova // *Stroitelstvo i tekhnosfermaya bezopasnost'*. 2021. №22(74). P. 111-127.
18. Gamayunova O.S. Justification of the cost of insulation from their thermophysical characteristics // *Construction of unique buildings and structures*. 2019. № 1 (76). P. 19-29.
19. Radaev A.E., Gamayunova O.S., Bardina G.A. Ispol'zovanie sredstva optimizatsionnogo modelirovaniya dlya osnovaniyu kharakteristiki energoturnocheskogo konstruktivnogo resheniya [Use of means of optimization modeling for the justification of the characteristics of an energy efficient constructive solution]. – 2022. – № 27(79). P. 5-25. – EDN EXVSFS.

PROCEDURE FOR DETERMINATION OF THE CHARACTERISTICS FOR THE HEAT-
INSULATING MATERIAL AS PART OF THE ENCLOSING STRUCTURE
WITH THE USE OF QUADRATIC OPTIMIZATION TOOLS

Olekhnovich¹ Ya. A., Radaev¹ A. E.

¹Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russian Federation
E-mail: ¹oyanis@list.ru; ²radaev_ae@spbstu.ru

Abstract: Relevance of the research is connected to the importance of the problems related to the determination of the characteristics for structural solutions used in the construction or reconstruction of buildings and structures (taking into account the indicators of energy and economic efficiency), as well as the relatively low practical significance of the relevant scientific developments.

Problem statement. It is necessary to determine the most preferred variant (model) of heat-insulating material used as an additional layer in the wall structure on the basis of the criteria related to the provided heat transfer resistance and the payback period of the corresponding design solution.

Research aim. Development of tools for determination of the characteristics for thermal insulation material as part of wall structure within a residential building.

Research tasks are the following: 1. Review and comparative analysis of scientific developments in the field of research. 2. Development of the procedure for determination of the characteristics for the heat-insulating material as part of the wall structure with the use of quadratic optimization tools. 3. Implementation of the developed procedure on a practical example.

Results. Procedure for determination of the characteristics for the heat-insulating material as part of the wall structure with the use of quadratic optimization tools has been developed. The procedure has been implemented using a practical example, and the received results have been analyzed.

Findings. The results of the procedure's implementation on a practical example confirm the high practical significance of the developed tool. Thus, quadratic optimization tools can be effectively used to solve the problem related to the determination of the characteristics for heat-insulating material as part of an wall structure.

Key words: wall structure, optimization model, energy efficiency, thermal insulation material, heat transfer resistance, material's characteristics.

ЭЛЕКТРОИНДУКЦИОННЫЙ МЕТОД РАЗМОРОЗКИ НАДЗЕМНЫХ ВОДОВОДОВ С ВНУТРЕННИМ ОБЛЕДЕНЕНИЕМ

Абдурахманов ¹ Р.Н., Богущкая ² А.Ю., Каркищенко ³ Я.И., Редзанова ⁴ Н.М., Бекиров Э.А ⁵

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского

295007, Республика Крым, г. Симферополь, просп. Академика Вернадского, д. 4.

E-mail: ¹ rechator@gmail.com; ² abogutskaya2004@mail.ru; ³ yaroslav.karkischenko@yandex.ru; ⁴ n.redzanova@gmail.com,
⁵ bekirov.e.a@cfuv.ru.

Аннотация. Целью работы является определение тепловых полей в стенке трубы разного диаметра от поверхностного нагрева и нахождение вкладываемой и изменяющейся со временем мощностей.

Предмет исследования: теплофизические процессы в стальной неограниченной пластине изучение распределения температурных полей в стенке трубы разного диаметра, при использовании уравнений Фурье.

Материалы и методы: в основу положены методы математического моделирования теплофизических процессов. Метод заключается в использовании модернизированной математической модели уравнения теплопроводности Фурье, при этом, в ходе расчета и для его упрощения стальная труба мысленно разрезается и представляется в виде неограниченной пластины. При построении графика распределения температур по толщине трубы использовалось ПК ЛИРА САПР-2022.

Результаты: метод позволяет быстро определять вкладываемую и изменяющиеся со временем мощностей.

Выводы: методика определения распределения тепла на основе модернизированного метода тепловых источников Фурье позволяет гибко моделировать и быстро решать практические задачи по оценке распределения тепловых полей в стенке трубы большого диаметра под поперечными полосовыми участками поверхностного нагрева и охлаждения с заданными вкладываемыми положительными удельными мощностями.

Ключевые слова: тепловые расчеты, термообработка труб, индукционный нагрев, метод тепловых источников, положительные тепловые источники.

ВВЕДЕНИЕ

Важной частью логистики и транспортной инфраструктуры является система водоснабжения. При транспортировке жидких веществ в трубопроводе на открытых участках при отрицательных температурах окружающей среды, неизбежно изменение физических свойств транспортируемой жидкости. Появляется риск, связанный с опасностью их замерзания и разрушения, вследствие которого транспортировка становится затруднительной. При этом, после достижения критического уровня, транспортировка перестает быть возможной, что приводит к понижению эффективности водоснабжения, а также вызывает дополнительные затраты, которые связаны с очисткой труб. Так как при индукционном нагреве теплота выделяется в проводящем теле — слое, равном глубине проникновения электромагнитного поля, то появляются возможности точного управления температурой для обеспечения качественного нагрева при высокой производительности. Другим преимуществом является бесконтактность нагрева.

Индукционный нагрев основан на явлении магнитной индукции, открытой Майклом Фарадеем еще в 1831 году. При этом развили эту теорию О. Хевисайд, С. Ферранти, С. Томпсон, Ивинг.

При проведении местной термообработки сварных соединений технологических трубопроводов и оборудования применяют следующие способы нагрева:

- радиационный (электронагревателями сопротивления и газопламенным нагревом);
- индукционный (токами промышленной частоты 50 Гц и средней частоты 1000-8000 Гц);
- комбинированный;
- термохимический.

Радиационный способ заключается в том, чтобы переносить тепло посредством излучения от источника нагрева к телу за счет нагретого воздуха. К недостаткам этого метода, как следует из краткого описания можно отнести неравномерный нагрев трубы (то есть тела).

При комбинированном нагреве применяют электронагреватели комбинированного действия, в которых используется способ нагрева электрическим сопротивлением и нагревом индукционным током частотой 50 Гц.

При термохимическом методе нагрев осуществляется путем образования теплоты посредством сгорания экзотермических смесей, в основном в состав которых входит оксид алюминия, соединения серы и фосфора, однако способ имеет существенный недостаток в виде невозможности полноценного контроля температуры при проведении нагрева, из-за чего возможен значительный перепад температур.

С каждым днем становится все более актуальной разработка технологий и средств, которые были бы направлены на устранение появления замерзших участков. Необходимость в постоянном источнике воды может быть представлена как со стороны

бытовых нужд населения, так для поддержания функционирования предприятий.

В настоящее время, индукционный нагрев находит большее применение. Электрический нагрев позволяет контролировать температуру, так же электрический нагрев трубопроводов проще, чем прочие методы нагрева.

Индукционный нагрев характеризуется выделением тепла в проводящем нагреваемом объекте и бесконтактной передачей энергии, поэтому индукционный метод нагрева труб является предпочтительным.

В статье решается проблема разморозки стальных труб с внутренним обледенением и предлагается способ, основанный на методе тепловых источников Фурье для определения распределения температур в стенке стальных труб разных диаметров путем поперечного поверхностного нагрева.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Для комплексного исследования данной темы был проведен анализ отечественной и международной научной литературы. В работах Fourier J. B. [1], Лыкова А. В. [3], Luikov A. V. и др. [4, 5, 6, 7, 8], рассматривается метод тепловых источников Фурье при определении распределения температур в плоских неограниченных пластинах. В работе Рыкалина Н. Н. [2] приводятся, также, Эти данные по изучению тепловых процессов при сварке. Вопросом решения задач определения распределения тепла в стенках труб большого диаметра при узком полосовом поверхностном нагреве поперечных сварных соединений индуктором посвящены работы А. С. Письменный, О. М. Иванцов и др. [11, 12, 13]. Эти исследования заложили основу для понимания тепловых процессов при сварке и предоставили методики для расчета температурных полей в различных условиях. Благодаря труду известного французского математика и физика Жана-Батиста Фурье [1], которым был сформулирован закон теплопроводности, показывающий взаимосвязь между передаваемым количеством теплоты, градиентом температуры, времени, за которое происходит процесс передачи энергии по площади и ввели понятие коэффициента теплопроводности (1).

Основываясь на этих знаниях, понимание процессов, происходящих при передаче тепла в разных условиях развивалось, в результате были получены уравнения для математической физики, позволяющие описать процесс теплопроводности, основываясь на трудах по математическому анализу О. Коши и Ж. Б. Фурье.

Понятие дифференциальных уравнений, выраженных вышеупомянутыми математиками, сыграло огромную роль в математической физике, многократно дополнив и позволив решить еще несколько веков назад абсолютно невозможные задачи аналитическим способом [6, 9].

В последствие, основываясь на трудах Пентегова И. В [4, 5], в статье представлен расчет мощности, рассчитанной для поверхностного нагрева по диаметру трубы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Равномерное нагревание вдоль всего участка трубы ведет к разогреву прилегающих слоев льда, вызывающих его таяние. Во время всего процесса необходимо контролировать температуру нагреваемой трубы, не допуская превышения 60°C (появление накипи).

Данные размеров труб приняты по ГОСТ 3262-75 Трубы стальные водогазопроводные [10] и представлены в таблице 1. Сечение показано на рисунке 1. Длина отрезка трубы $l = 1$ м. Расчетное время нагрева $t = 1$ ч.

Таблица 1. Параметры выбранных стальных труб

Table 1. Parameters of selected steel pipes

Условный проход	Наружный диаметр d, мм	Толщина стенки труб Δ, мм	Масса 1 м труб, кг
10	17,0	2,2	0,80
25	33,5	3,2	2,39
50	60,0	3,5	4,88
100	114,0	4,5	12,15

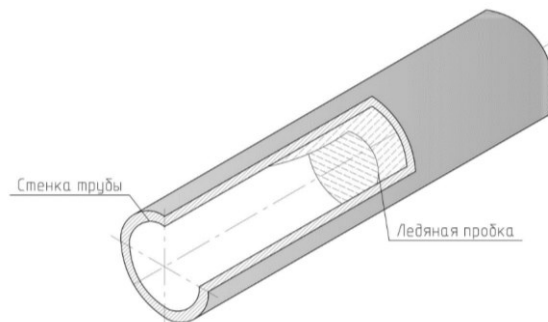


Рис. 1. Сечение трубы
Fig. 1. Pipe section

Труба имеет наружный диаметр d и толщину стенки Δ , смотри таблицу 1. Поверхностный нагрев труб осуществляется с внешней стороны трубы по ее периметру с шириной нагрева 1 м: $X_1 = -500$ мм, $X_2 = 500$ мм. На рисунке 2 показан участок стенки трубы 1, распрямленной по образующей - вдоль оси z , направленной перпендикулярно вглубь рисунка.

Представление таким образом исходной трубы имеет смысл, так как задача сводится к интегрированию лишь по времени, что облегчает расчет.

При индукционном нагреве токами высокой частоты глубина проникновения будет мала.

Этого достаточно для того, чтобы при переходе от объемного распределения источников тепла к приближению с плоским расположением источников тепла не изменялось количество

тепла, которое поступает в нагреваемое тело. Так же мы пренебрегаем кривизной трубы [14].

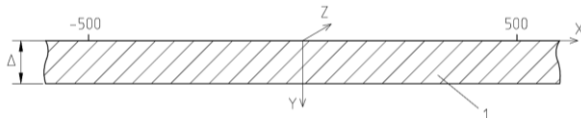


Рис. 2. Участок стенки трубы, распрямленной по образующей (вдоль оси z)

Fig. 2. A section of the pipe wall straightened along the generatrix (along the z axis)

В расчете используем средние значения теплофизических параметров за время нагрева. Средние значения коэффициентов теплопроводности и температуропроводности на интервале нагрева от начальной температуры T_0 до температуры T_1 , где λ_{st} – теплопроводность стали, Вт/(м•К), α_{st} – температуропроводность стали, м²/с:

$$\lambda = \frac{1}{T_1 - T_0} \cdot \int_{T_0}^{T_1} \lambda_{st}(T) dT;$$

$$\alpha = \frac{1}{T_1 - T_0} \cdot \int_{T_0}^{T_1} \alpha_{st}(T) dT \quad (1)$$

В ходе расчета пренебрегаем потерями на конвекцию и излучение с поверхности трубы.

Распределяемая температура описывается уравнением Фурье, для получения значения истинной температуры вводится коэффициент τ , который представляет собой распределение приращения температур с координатами x и y в пространстве, в которой вводится функция ошибок Erf.

Чтобы рассчитать приращение распределения температуры, воспользуемся формулой:

$$\theta(x, y, X_1, X_2, t) = \frac{p_s(\tau)}{2\lambda} \cdot \sqrt{\frac{a}{\pi}} \cdot \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \cdot e^{-\frac{(y-2\Delta)^2}{4a(t-\tau)}} \cdot Erf(x, y, X_1, X_2, a, t, \tau) d\tau, \quad (2)$$

где t - время, которое прошло с момента введения в систему источника тепла, τ - время, которое потребовалось для возникновения импульса энергии, отсчитываемое от момента введения в систему источника тепла, $(t - \tau)$ - время, которое распространяется тепло от текущего импульса энергии, $p_s(\tau)$ - вкладываемая постоянная мощность, x, y - координаты в пространстве [3, 6].

$$\theta = \Delta T$$

В свою очередь, при необходимости вместо нагрева трубы прибегнуть к её охлаждению, то знак функции θ изменится на противоположный, вследствие чего значение p_s (3) будет отрицательным.

Для упрощения расчета введем функцию F , которая будет являться отношением распределения приращения температур к постоянной удельной мощности p_s (2), тогда дополнительная функция $F(x, y, X_1, X_2, t)$ будет иметь вид:

$$p_s = \frac{\theta}{F(x, y, X_1, X_2, t)} \quad (3)$$

Преобразуя выражение (3), выразим $F(x, y, X_1, X_2, t)$:

$$F(x, y, X_1, X_2, t) = \frac{1}{2\lambda} \cdot \sqrt{\frac{a}{\pi}} \cdot \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t-\tau}} \cdot e^{-\frac{(y-2\Delta)^2}{4a(t-\tau)}} \cdot Erf(x, y, X_1, X_2, a, t, \tau) d\tau \quad (4)$$

Преобразование функции $F(x, y, X_1, X_2, t)$, позволит вычислить мощность при известных значениях коэффициентов теплоемкости, температуропроводности и длины отрезка трубы.

При $X \rightarrow \infty$ функция $Erf(x, y, X_1, X_2, a, t, \tau)$ будет равна 2. Исходя из формулы (3), при повышении значения $F(x, y, X_1, X_2, t)$, значение постоянной мощности будет уменьшаться. Значение p_s вкладываемой удельной мощности, и, как следствие, вкладываемой постоянной мощности p'_s будет напрямую зависеть от выбора времени, необходимого для нагрева внешней стороны трубы по периметру (8).

Задача (4) сводится к вычислению интеграла Пуассона для неоднородного уравнения теплопроводности [8].

Нетрудно заметить, что функция ошибок (4) будет равна:

$$Erf(x, y, X_1, X_2, a, t, \tau) = erf\left[\frac{x-X_1}{2\sqrt{a\pi(t-\tau)}}\right] - erf\left[\frac{x-X_2}{2\sqrt{a\pi(t-\tau)}}\right] \quad (5)$$

С учетом выражения (3) выражение (4) примет вид:

$$F(x, y, X_1, X_2, t) = \frac{T_1 - T_0}{p_s(x, y, X_1, X_2, t)} \quad (6)$$

Выразим значение p_s :

$$p_s(x, y, X_1, X_2, t) = \frac{T_1 - T_0}{F(x, y, X_1, X_2, t)} \quad (7)$$

С учетом выражения (3), подставив значение $F(x, y, X_1, X_2, t)$ в формулу (6), находим значение постоянной, неизменяемой во времени мощности.

Тогда вкладываемая мощность для участка трубы будет равна:

$$p'_s = p_s \cdot \pi \cdot l \cdot d, \quad (8)$$

где l - длина участка трубы, p_s - вкладываемая постоянная мощность, d - внешний диаметр трубы.

Фазовый переход «вода– лед» возникает в результате охлаждения воды, когда её температура будет совпадать с температурой кристаллизации. Между молекулами воды возникают более устойчивые для данных термодинамических условий конфигурации водородных связей, так как вода представляет собой жидкость, молекулы в которой связаны водородной связью. Наличие минимального количества примесей в воде будет существенно повышать её температуру кристаллизации.

В соответствии с современными представлениями кристаллизация воды начинается в некоторых дискретных локальных объемах, для которых выполняются соответствующие термодинамические условия [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В статье определяются мощности для четырех труб разного диаметра с условным проходом 10, 25, 50, 100, в каждой из которых соблюдается соотношение $d \gg \Delta$. Значения длины, l и функции $F(x, y, X_1, X_2, t)$ являются постоянными величинами, что позволяет провести расчет $p_s(\tau)$ для стальных труб. Способ Фурье, предлагаемый в расчете является крайне быстрым за счет упрощения, заключающегося в обязательном интегрировании тела в соответствии его координатам в пространстве, а лишь используя интеграл Пуассона (4), для нахождения функции F , и как следствие, удельной вкладываемой мощности (7), облегчающей весь расчет и позволяя найти значение при нагреве стальной или любой другой трубы, начиная от значения температуры T_0 до отметки T_1 , за время, заданное параметром t в декартовом пространстве. Так же, в случае необходимости охлаждения материала в результате перегрева, по определению вкладываемой мощности, значение p_s будет отрицательным.

После нахождения постоянной вкладываемой мощности удельной мощности (7), мы можем перейти на нахождение мощности с учетом площади поверхностного нагрева (8), и, с учетом выражения (4), сможем сделать расчет:

$$p_s(\tau) = p'_s \cdot \theta(x, y, X_1, X_2, t) \quad (9)$$

Результаты вкладываемой мощности для каждой трубы приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчета постоянной вкладываемой мощности и силы тока для выбранных стальных труб

Table 2. The results of calculating the constant input power and current strength for selected steel pipes

Условный проход	Мощность p_s , кВт*ч	Сила тока I , А	Установка
10	1,63	54,3	Трансформаторы СТЭ-24-У
25	3,1	103	
50	6,05	201,6	
100	12	400	

По нашим значения постоянной вкладываемой мощности и силы тока сделали вывод и определились с трансформаторной установкой. На основе полученных значений, представленных в таблице 2, постоянной вкладываемой мощности p_s , кВт*ч, и силы тока I , А, мы пришли к следующему выводу, что трансформаторы СТЭ-24-У обеспечивают оптимальную производительность и эффективность.

На рисунке 3-6 показаны результаты расчета стенок труб с условным проходом 10, 25, 50 и 100 в ПК ЛИРА САПР 2022. Температура на поверхности трубы – 60°C, на нижней части стенки трубы температура достигает - 60°C и не превышает ее, что соответствует нашим требованиям. Результаты, получаемые в процессе определения распределения температур в стенке трубы методом

тепловых источников Фурье, соотносятся с результатами расчета в программе.

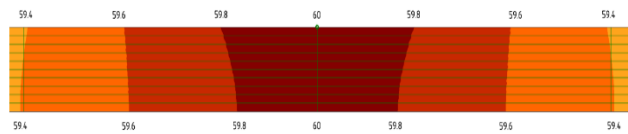


Рис. 3. Распределение температур по толщине трубы с условным проходом 10 мм

Fig. 3. Temperature distribution over the thickness of a pipe with a nominal passage of 10 mm

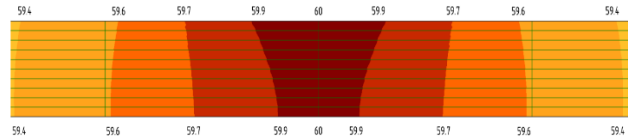


Рис. 4. Распределение температур по толщине трубы с условным проходом 25 мм

Fig. 4. Temperature distribution over the thickness of a pipe with a nominal passage of 25 mm

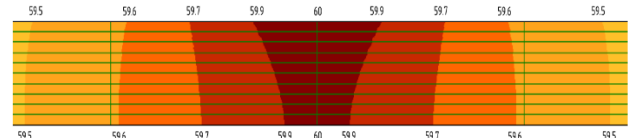


Рис. 5. Распределение температур по толщине трубы с условным проходом 50 мм

Fig. 5. Temperature distribution over the thickness of a pipe with a nominal passage of 50 mm

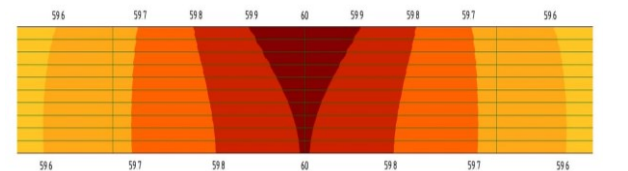


Рис. 6. Распределение температур по толщине трубы с условным проходом 100 мм

Fig. 6. Temperature distribution over the thickness of a pipe with a nominal passage of 100 mm

ВЫВОДЫ

1. Методика определения распределения тепла на основе модернизированного метода тепловых источников Фурье позволяет гибко моделировать и быстро решать практические задачи.

2. Выполнен ручной расчет и расчет численной модели фрагмента стенки трубы разного диаметра при распределении тепловых полей под поперечными полосовыми участками поверхностного нагрева с заданными вкладываемыми положительными удельными мощностями.

3. Результаты расчета могут быть использованы проектировщиками для предотвращения аварийных ситуаций в регионах Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fourier J.B. Théorie analytique de la chaleur. – Paris: Chez Firmin Didot, père et fils 1822. – 639 p.
2. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке [Текст] / Н.Н. Рыкалин. – М.: Машгиз, 1951. – 297 с.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности [Текст] / А.В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
4. Пентегов И.В., Рymar С.В., Губатюк Р.С. Применение модернизированного метода тепловых источников Фурье в случае поперечного полосового поверхностного нагрева и охлаждения трубы // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2019. №2.
5. Пентегов Игорь Владимирович, Рymar Сергей Владимирович, Петриенко Ольга Игоревна Сокращение времени счета в методе тепловых источников Фурье // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2017. №4.
6. Luikov A. V. and Mikhhalloy Y. A. Theory of Energy and Mass Transfer, Prentice — Hall Inc., New York, 1961; Pergamon Press, London.
7. Luikov.A. V. Heat and mass transfer in capillary-porous bodies, Advances in Heat Transfer, V.I Academic Press, 1964.
8. Свешников А. Г., Боголюбов А. Н., Кравцов В. В. Лекции по математической физике. – М.: Наука, 2004. – 416 с.
9. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 2004. – 798 с.
10. ГОСТ 3262-75 Трубы стальные водогазопроводные.
11. Индукционный нагрев для сварки и родственных технологий / А.С. Письменный / Под ред. Б.Е. Патона. - Киев: Ин-т электросварки им. Е.О. Патона, 2005. - 140 с.
12. Письменный А.С. Расчет индукционных систем электротермической гибки сварных трубопроводов // Автоматическая сварка. — 1991. - № 10. - С. 39-42.
13. Электротермическая гибка труб в полевых условиях / О.М. Иванцов, В.К. Лебедев, А.С. Письменный, М.Е. Шинлов // Строительство трубопроводов. - 1992. - 8. - С. 18-19.
14. Пентегов Игорь Владимирович К теории метода тепловых источников, используемого при анализе тепловых процессов в электротехнических системах // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2014. №3.
15. Сазонов К.Е., Лукьянов С.В, Учебное пособие «Основы физики морского льда». Для высших учебных заведений. – СПб.: РГГМУ, 2023. – 148 с.

REFERENCES

1. Fourier J.B. Théorie analytique de la chaleur. – Paris: Chez Firmin Didot, père et fils 1822. – 639 p.
2. Rykalin N.N. Calculations of thermal processes in welding [Text] / N.N. Rykalin. – M.: Mashgiz, 1951. – 297 p.
3. Lykov A.V. Theory of thermal conductivity [Text] / A.V. Lykov. – M.: Higher School, 1967. – 600 p
4. Pentegov I.V., Rymar S.V., Gubatyuk R.S. Application of the modernized method of Fourier thermal sources in the case of transverse strip surface heating and cooling of pipes // Electrotechnical and information complexes and the systems. 2019. №2.
5. Pentegov Igor Vladimirovich, Rymar Sergey Vladimirovich, Petrienko Olga Igorevna Reduction of counting time in the method of thermal Fourier sources // Electrotechnical and information complexes and systems. 2017. №4.
6. Luikov A. V. and Mikhhalloy Y. A. Theory of Energy and Mass Transfer, Prentice — Hall Inc., New York, 1961; Pergamon Press, London.
7. Luikov.A. V. Heat and mass transfer in capillary-porous bodies, Advances in Heat Transfer, V.I Academic Press, 1964.
8. Sveshnikov A. G., Bogolyubov A. N., Kravtsov V. V. Lectures on mathematical physics. – M.: Nauka, 2004. – 416 p.
9. Tikhonov A.N., Samarsky A.A. Equations of mathematical physics. – M.: Nauka, 2004. – 798 p.
10. GOST 3262-75 Steel water and gas pipes.
11. Induction heating for welding and related technologies / A.S. Pisny / Ed. by B.E. Paton. - Kiev: E.O. Paton Electric Welding Institute, 2005. - 140 p.
12. Pisny A.S. Calculation of induction systems of electrothermal bending of welded pipelines // Automatic welding. — 1991. - № 10. - С. 39-42.
13. Electrothermal bending of pipes in the field / O.M. Ivantsov, V.K. Lebedev, A.S. Pisny, M.E. Shinlov // Construction of pipelines. - 1992. - 8. - pp. 18-19.
14. Pentegov Igor Vladimirovich On the theory of the method of thermal sources used in the analysis of thermal processes in electrotechnical systems // Electrotechnical and information complexes and systems. 2014. №3.
15. Sazonov K.E., Lukyanov S.V., Textbook "Fundamentals of sea ice physics". For higher education institutions. – St. Petersburg: RGGMU, 2023. – 148 p.

ELECTRO-INDUCTION METHOD OF DEFROSTING OF ABOVEGROUND AQUEDUCTS WITH INTERNAL ICING

Abdurakhmanov ¹ R.N., Bogutskaya ² A.Y., Karkishchenko ³ Ya.I., Redzanova ⁴ N.M., Bekirov E.A. ⁵

V.I. Vernadsky Crimean Federal University

295493, Republic of Crimea, Prospekt Vernadskogo 4

E-mail: ¹ rechatfor@gmail.com; ² abogutskaya2004@mail.ru; ³ yaroslav.karkischenko@yandex.ru; ⁴ n.redzanova@gmail.com;

⁵ bekirov.e.a@cfuv.ru.

Abstract. The purpose of the work is to determine the thermal fields in the wall of a pipe of different diameters from surface heating and to find the capacities invested and changing over time.

Subject: thermophysical processes in a steel unlimited plate study of the distribution of temperature fields in the wall of a pipe of different diameters, using Fourier equations.

Materials and methods: the methods of mathematical modeling of thermophysical processes are based on. The method consists in using an upgraded mathematical model of the Fourier thermal conductivity equation, while, during the calculation and to simplify it, the steel pipe is mentally cut and represented as an unlimited plate. When plotting the temperature distribution over the thickness of the pipe, the Lira CAD PC 2022 software was used.

Results: the method allows you to quickly determine the capacity invested and changing over time.

Conclusions: the method of determining heat distribution based on the modernized Fourier method of thermal sources allows you to flexibly model and quickly solve practical problems of estimating the distribution of thermal fields in the wall of a large-diameter pipe under transverse strip sections of surface heating and cooling with specified embedded positive specific capacities.

Key words: thermal calculations, heat treatment of pipes, induction heating, method of thermal sources, positive thermal sources.

УДК 658.512.23

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ КОНСТРУКТИВА СКУЛЬПТУРЫ

Максименко А.Е., Клевцев К.А.

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

Аннотация. Уровни внутренней динамики скульптуры предложены в статье с учетом положения четырех основных осей каркаса скульптуры. Это дает нам возможность моделировать каркас скульптуры с помощью компьютерной программы Poseg, учитывая исторический опыт создания скульптуры.

Предмет исследования: Исследовать динамику формы на примере скульптурных композиций, передающих динамику живых объектов, на основе формализации динамических свойств скульптуры.

Материалы и методы: Анализ геометрических аспектов художественного формообразования произведен на основе определения ведущих принципов организации целостной композиции (принцип соподчинения элементов), характеристики методических приемов графической формализации объектов искусства и обоснования компьютерного моделирования композиционных формообразований.

Результаты: Динамические свойства круглой скульптуры реализуются в ее внешних проявлениях в результате смещения центра тяжести свободно стоящей фигуры относительно композиционной оси и характеризуются положением центра тяжести (за пределами опоры или в пределах опоры).

Выводы: Разработка алгоритма создания компьютерной модели каркаса скульптуры с учетом её внутренней динамики представляется необходимой для деятельности скульпторов и дизайнеров, выполняющих архитектурные и ландшафтные проекты с применением компьютерных технологий.

Ключевые слова: скульптура, динамика, модель, компьютерные технологии.

ВВЕДЕНИЕ

Поиск гармонии между динамичным стилем жизни и статикой форм активно осуществляется современными архитекторами и специалистами в области паркового дизайна.

Представляется актуальным исследовать динамику формы на примере скульптурных композиций, передающих динамику живых объектов, на основе формализации динамических свойств скульптуры.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В работах [1,2] анализ геометрических аспектов художественного формообразования произведен на основе определения ведущих принципов организации целостной композиции (принцип соподчинения элементов), характеристики методических приемов графической формализации объектов искусства и обоснования компьютерного моделирования композиционных формообразований.

Широкое использование компьютерных технологий при проектировании внешних и внутренних составляющих окружающего человека пространства нередко приводит к тому, что проектировщик с помощью готового модуля механично включает скульптуру в ландшафт или интерьер. При этом не анализируется, насколько эффективна художественно-образная составляющая того пространства, в котором доминирует скульптура. Это, в свою очередь, снижает эстетический эффект от восприятия скульптурного образа, разрушает стилистическую и смысловую

гармонию между скульптурой и пространством. Формализация внешней динамики скульптуры была рассмотрена в статье [3].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В связи с этим разработка алгоритма создания компьютерной модели каркаса скульптуры с учетом её внутренней динамики представляется необходимой для деятельности скульпторов и дизайнеров, выполняющих архитектурные и ландшафтные проекты с применением компьютерных технологий.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Визуализация в графическом редакторе основных параметров показателей внешней динамики скульптуры позволяет представить формирование тех динамических характеристик, которые были изучены путем формализации и моделирования. Такая визуализация должна использоваться для следующей экспериментальной проверки формально-смысловых качеств заданного образа с целью сохранения его семантического содержания.

Методика создания компьютерной модели каркаса скульптуры:

1. Выбор природы в соответствии с заданием на проектирование.

2. Выполнение эскиза из природы или измерения необходимых параметров природы.

3. Построение диаграмм и графиков динамики скульптуры по ее эскизам.

4.Определение уровня внутренней и внешней динамики по гистограммам [4,5].

5.Построение базовой модели с использованием рекомендованных значений смещения центра тяжести и углов поворота главных осей.

6.Компьютерное моделирование каркаса будущей скульптуры.

7.Проверка полученного уровня динамики по диаграмме компьютерной модели скульптуры.

Динамические свойства круглой скульптуры реализуются в ее внешних проявлениях в результате

смещения центра тяжести свободно стоящей фигуры относительно композиционной оси и характеризуются положением центра тяжести (за пределами опоры или в пределах опоры).

Проявление внутренней динамики скульптурной формы определяются изменением пропорциональных отношений между главными осями фигуры, так что, предложив разные углы соотношения между этими осями можно проследить изменения динамических состояний скульптуры (рис. 1).

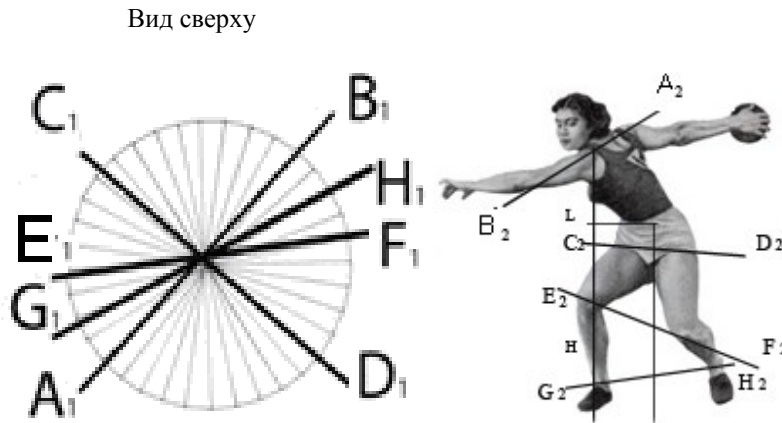


Рис. 1. Спортсменка, метательница диска.
Fig. 1. Athlete, discus thrower.

Методика формообразования компьютерной модели круглой скульптуры с учётом внешней и внутренней динамики рассмотрим на примере создания компьютерной модели спортсменки, метательницы диска.

По фотографии спортсменки построена диаграмма положений главных осей каркаса скульптуры и график внутренней динамики скульптуры

Заданному образу соответствует критерий: интенсивно выраженная динамика, где диапазон углов поворота осей А – В, С – D, Е – F, G – H варьируется в пределах 70⁰ - 120⁰.

Из таблицы соответствующего динамического состояния используем данные для построения компьютерной модели в программе Poser.

Таблица 1. Таблица состояний максимальное напряжение.
Table 1. The table of states is the maximum voltage.

Состояние	Ось	αX	αY	αZ	ΔX	ΔY , см	ΔZ
Максимальное напряжение, гротеск							
Напряжение,	A-B	0	15..18°	45..64°	0	-7..-9	0
Разрядка	C-D	0	-13-15°	-16-19°	0	10-15	0
Возмущение, Стресс.	E-F	0	-7..-9°	7..9°	0	-12-15	0
От 70 ⁰ до 120 ⁰ .	G-H	0	0	-13-17°	0	0	0

Таким же образом используем данные из таблицы рекомендуемых значений поворотов и смещений осей по состоянию максимальное напряжение, гротеск. Переносим выбранные данные в программу Poser.

В правой выплывающей панели библиотеки в разделе «Figures» выбираем модель будущей скульптуры по типу, возрасту и полу, одетую или обнаженную (рис. 2).

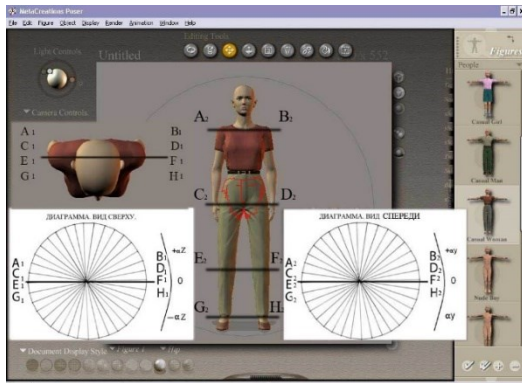


Рис. 2. Статика.
Fig. 2 Static



Рис. 3. Смещение центра тяжести.
Fig. 3. Displacement of the center of gravity

В разделе «Poses» моделируем исходную позу или наиболее приближенную к задуманному образу. На диаграмме изображено статическое состояние, выраженное параллельным расположением главных осей А–В, С–D, E–F, G–H.

Статичным силуэтом характеризуется скульптура, чей центр тяжести приближен к композиционной оси. Получаем постановку фигуры с опорой на одну ногу (рис. 3).

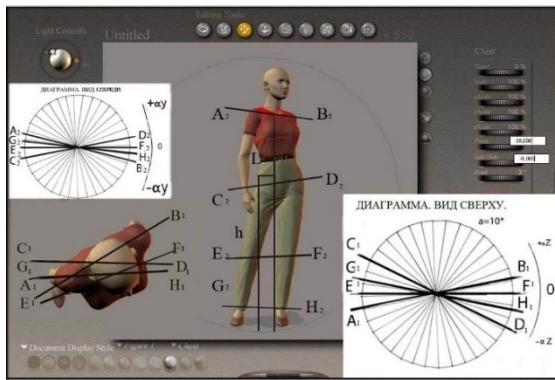


Рис. 4. Построение фигуры с опорой на одну ногу
Fig. 4. Building a shape with support on one leg.

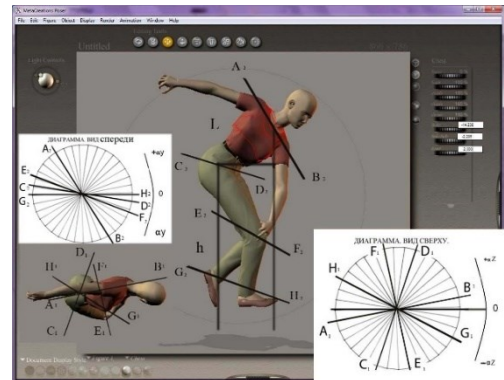
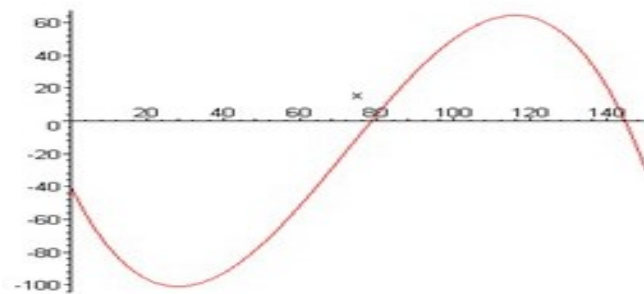


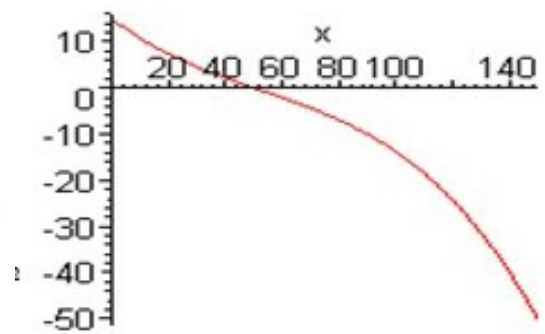
Рис. 5. Винтовое закручивание главных осей.
Fig. 5. Screw twisting main axes

Поэтапно вводим углы поворота главных осей. В результате получаем модель с винтовым поворотом осей и смещением центра тяжести в пределах объекта (рис. 4, 5). У дискобола скульптора Мирона график поворота главных осей имеет два экстремума (рис. 6, а). Это говорит о том, что главные оси закручены

в разные стороны, что не соответствует позиции спортсмена перед метанием. Можно предположить, что автор преследовал другие цели: пластическую выразительность и усиление воспринимаемого зрителем образа.



а)



б)

Рис. 6. Графики поворота главных осей: а) скульптуры дискобола Мирона; б) спортсменки, метательницы диска.
Fig. 6. Graphs of the rotation of the main axes: а) sculptures of the discobolus Myron; б) athletes, discus throwers

Анализ расположения главных осей каркаса скульптуры дискобола говорит о том, что атлет, изображённый в этой скульптуре, не может далеко метнуть диск. Положение главных осей, соответствующих заряженности спортсмена на дальней метание диска, должно быть, как показано

на диаграмме (рис. 7). Главные оси, начиная от стоп и до плечевого пояса должны быть в винтовом закручивании в одном направлении. График поворота главных осей в этом случае не должен содержать экстремумов (рис. 6, б)).

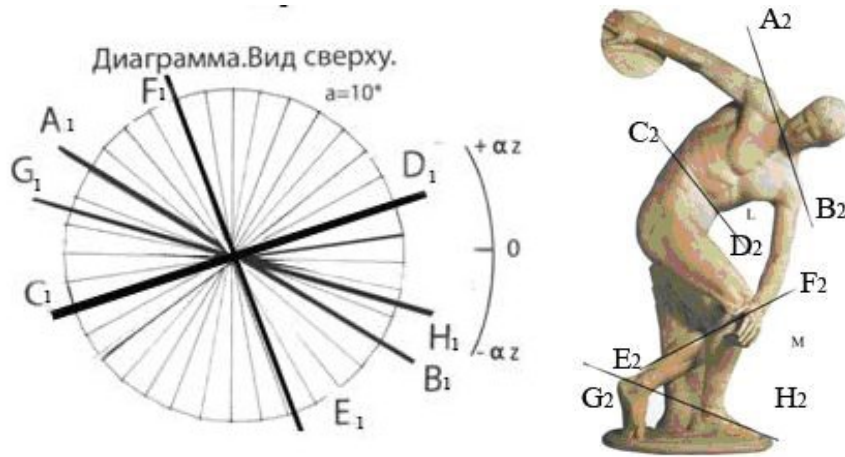


Рис. 7. Динамика дискобола скульптуры Мирона.
Fig. 7. The dynamics of the Myron sculpture discobolus.

Однако Ю.Д. Колпинсий в своем труде Искусство древней Греции пишет: «В «Дискоболе» действительно взят момент наибольшего усилия при метании диска. Характерно, что, несмотря на это, фигура производит устойчивое впечатление. Это определяется тем, что мастер изобразил момент, когда движение заносимой назад руки с диском достигло своей кульминационной точки и через долю мгновения будет направлено в противоположную сторону. Таким образом, взят момент равновесия между двумя противоположными движениями, составляющими вместе законченное единое действие. Это и определяет устойчивость статуи, ее внутреннюю законченность и то чувство большого усилия, которое так поражает в этом образе, утверждающем красоту сильного человеческого тела» [6].

Очевидно, что этот, на наш взгляд, ошибочный вывод сделан автором этих строк по причине отсутствия у него формализации динамических свойств скульптуры, описанной в настоящей статье.

ВЫВОДЫ

На основе формализации, предложенной в работе, сравнивая движение фигуры спортсмена и скульптуры дискобола Мирона можно сделать следующие выводы:

В угоду пластической выразительности и усилению воспринимаемого зрителем образа, автор произведения утрировал динамику движения фигуры дискобола, нарушив винтовое закручивание главных осей (рис.7).

Следовательно, имея на вооружении методику построения динамической модели каркаса скульптуры, проектировщик (дизайнер) изначально

создает образ, приближенный к реальности, а скульптор усиливает, добавляет, обобщает, детализирует в пользу более яркого звучания задуманного произведения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Михайленко В. С. Яковлев М. И. Основы композиції (геометричні аспекти художнього формотворення) : навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів / В. С. Михайленко, М. І. Яковлев. – К. : Каравела, 2004. – 304 с.
2. Товбыч В. В. Интерактивное графическое моделирование архитектурной среды с учетом особенностей ее визуального восприятия : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.01.01 / В. В. Товбыч. – К., 2986. – 18 с.
3. Максименко А. Е. Геометрическое моделирование эмоционального воздействия внешней динамики скульптуры / А. Е. Максименко // Прикладна геометрія та інженерна графіка : міжвідомчий науково-технічний збірник / від. ред. В. С. Михайленко. – Мелітополь, 2009. – Вип. №4. Том 44. – С.136 - 141.
4. Дворецкий А. Т. Внешние проявления признака статика–динамика в садово-парковой скульптуре / А. Т. Дворецкий, А. Е. Максименко, Е. И. Максименко // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – 2008. - Вип.4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Том 38. - Наукове фахове видання. - Мелітополь. – С. 59–65.
5. Максименко А.Е., Верба Г.Э. Технологии внедрения инноваций в архитектуре / Максименко А.Е., Верба Г.Э. / Методология безопасности среды жизнедеятельности Программа и тезисы IV Крымской Международной научно-практической

конференции. Под редакцией: А.Т. Дворецкого, Т.В. Денисовой, А.Е. Максименко. 2017. С. 52.

6. Максименко А.Е., Максименко Н.А. Проектирование парковых скульптурно-архитектурных форм с учетом оптических коррективов в дворцово-парковых ансамблях Крыма / Максименко А.Е., Максименко Н.А. научно-практическая конференция / Евпатория 29-30.11.2019

7. Максименко А.Е. «Компьютерное моделирование пространства при проектировании архитектурно-ландшафтной среды» /А.Е. Максименко. // Проектирование и строительство автономных, энергоэффективных зданий. // Сборник статей Международной научно-практической конференции. ISBN978-5-907069-42-8. (31 мая-2 июня 2018г, г. Краснодар). - Уфа: ОМЕГА САЙНС,2018. – 232. ФГБОУ ВО «КубГТУ», С.111-116.

REFERENCES

1. Mikhailenko V. Y. Yakovlev M. I. Fundamentals of composition (geometric aspects of artistic shaping) : navch. pos. for students. vishikh navch. pawn / V. E. Mikhailenko, M. I. Yakovlev. – K. : Karavela, 2004. – 304 p.

2. Tovbych V. V. Interactive graphical modeling of the architectural environment, taking into account the peculiarities of its visual perception : abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences : 05.01.01 / V. V. Tovbych. – K., 2986. – 18 p.

3. Maksimenko A. E. Geometric modeling of the emotional impact of the external dynamics of sculpture / A. E. Maksimenko // Applied geometry and

engineering graphics : the World of science and technology / ed. by V. Mikhailenko. – Melitopol, 2009. – Vip. No.4. Volume 44. – pp.136 - 141.

4. Dvoretzky A. T. External manifestations of the sign of statics–dynamics in landscape sculpture / A. T. Dvoretzky, A. E. Maksimenko, E. I. Maksimenko // Prati Tavriysk state agrotechnical Academy. – 2008. - Vip.4. Applied geometry and engineering graphics. – Volume 38. - Naukove fakhove vidannya. - Melitopol. – pp. 59-65.

5. Maksimenko A.E., Verba G.E. Technologies for introducing innovations in architecture / Maksimenko A.E., Verba G.E. / Methodology of environmental safety Program and abstracts of the IV Crimean International Scientific and Practical Conference. Edited by: A.T. Dvoretzky, T.V. Denisova, A.E. Maksimenko. 2017. p. 52.

6. Maksimenko A.E., Maksimenko N.A. Designing park sculptural and architectural forms taking into account optical adjustments in the palace and park ensembles of the Crimea / Maksimenko A.E., Maksimenko N.A. scientific and practical conference / Yevpatoria 29-30.11.2019

7. Maksimenko A.E. "Computer modeling of space in the design of architectural and landscape environment" / A.E. Maksimenko. // Design and construction of autonomous, energy-efficient buildings. // Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. ISBN978-5-907069-42-8. (31 May-June 2, 2018, Krasnodar). Ufa: OMEGA SCIENCES,2018. 232. KubSTU, pp.111-116.

THE TECHNIQUE OF CREATING A COMPUTER MODEL OF A SCULPTURE STRUCTURE

Maksimenko A.E., Klevets K.A.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University.
Institute "Academy of Construction and Architecture"
295493, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya str., 181
E-mail: nucikBBC@yandex.ru

Abstract. The levels of internal dynamics of the sculpture are proposed in the article, taking into account the position of the four main axes of the sculpture frame. This gives us the opportunity to model the frame of a sculpture using the Poser computer program, taking into account the historical experience of creating a sculpture.

Subject of research: To study the dynamics of form on the example of sculptural compositions that convey the dynamics of living objects, based on the formalization of the dynamic properties of sculpture.

Materials and methods: The analysis of geometric aspects of artistic shaping was carried out on the basis of determining the leading principles of the organization of an integral composition (the principle of subordination of elements), characteristics of methodological techniques for graphic formalization of art objects and substantiation of computer modeling of compositional formations.

Results: The dynamic properties of a circular sculpture are realized in its external manifestations as a result of the displacement of the center of gravity of a free-standing figure relative to the compositional axis and are characterized by the position of the center of gravity (outside the support or within the support).

Conclusions: The development of an algorithm for creating a computer model of the sculpture frame, taking into account its internal dynamics, seems necessary for the activities of sculptors and designers performing architectural and landscape projects using computer technology.

Key words: sculpture, dynamics, model, computer technology.

ПРИБЛИЖЕННАЯ ОЦЕНКА ПОЛЕЙ ДАВЛЕНИЯ В ЖИДКОСТИ С ГАЗОВЫМИ ПОЛОСТЯМИ

Чемодуров В.Т., Литвинова Э.В.

Институт «Агротехнологическая академия» (структурное подразделение)
Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,
295492, Российская Федерация, Республика Крым, г. Симферополь, п. Аграрное
Chens_mu1@mail.ru, EllaLit@mail.ru

Аннотация. Изучаются вопросы защиты подводных объектов при помощи воздушных полостей цилиндрической формы. В ряде задач принципиально важно иметь не только распределение поля давления в жидкости в результате движения границ деформируемой системы, но и параметры движения самой жидкости. В этом случае параметры движения жидкости оказывают существенное влияние на условия крепления газовых полостей. Ударная волна, распространяясь в воде с газовыми включениями, претерпевает значительную деформацию. Предварительные эксперименты, проведенные по определению параметров ПУВ в воде с воздушными полостями, показали возможность управления пиками давления и, следовательно, создания условий для безопасности подводной конструкции. Анализируя теоретические исследования видно, что внутри жидкой области с газовыми полостями происходит дисперсия волнового процесса. Начальный пик давления резко уменьшается. В районе защищаемого объекта он уменьшается практически на два порядка по сравнению с максимальным давлением в исходной ударной волне. Давление в основном определяется пульсацией газовых полостей, сгенерированных взрывом ВВ. Время действия нагрузки при наличии газовых полостей резко возрастает.

Предмет исследования. Определение нагрузок от взрыва в воде с газовыми полостями. Организация защиты объекта по конкретным параметрам самого объекта и предполагаемым мощностям диверсионных взрывов.

Материалы и методы. С целью прогнозирования нагрузок на подводный объект в воде с газовыми включениями разработана математическая модель деформации ударной волны, проходящей через систему газовых полостей.

Результаты. Под влиянием воздушной полости цилиндрической формы давление во фронте ударной волны снижается примерно в 3,5 раза. При этом фронт волны несколько растягивается. Чистая ударная волна подводного взрыва через газовую полость не проходит. Основным параметром, определяющим нестационарное поле давления на глубине защищаемого объекта, является полный импульс давления, а не само быстро меняющееся во времени давление в падающей волне.

Выводы. Предложено одно из приближений уравнений гидродинамики, позволяющее производить на простых моделях прогноз качественных закономерностей протекающих процессов в жидкости в условиях наличия в ней системы газовых полостей, аппроксимируемых цилиндрами. Предложена методика физического моделирования процессов взаимодействия подводной ударной волны с защищаемым объектом.

Ключевые слова: воздушные полости цилиндрической формы, математическая модель деформации ударной волны, инерционность системы «жидкость – газовые полости», масса модельных зарядов.

ВВЕДЕНИЕ

Газовые полости в воде существенно изменяют ее динамические свойства. Ударные волны отражаются от поверхностей газовых полостей в виде волн разряжения, что приводит к срезанию прямой ударной волны. Колебания газовых полостей, вызванные их взаимодействием с ударными волнами, приводят к пульсации давления в окружающей среде, затухающей во времени. Величина полного импульса давления в падающей волне слабо зависит от наличия в воде газовых полостей. Этот вывод непосредственно следует из закона сохранения количества движения, если считать, что после завершения переходных процессов в жидкой среде, длящихся в течение весьма малого промежутка времени, картина газовых включений в воде не успевает существенно измениться. Однако динамические свойства воды с газовыми полостями меняются таким образом, что это изменение приводит к резкому увеличению продолжительности действия импульса и

существенному снижению пика давления. При этом нагрузка на находящийся в зоне прохождения ударных волн объект становится более «мягкой».

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В работах [1-13] на основе разработанных аналитических моделей деформации ударной волны, проходящей через систему газовых пузырей сферической и цилиндрической формы, показаны возможности снижения пиковых значений подводной ударной волны. На практике наибольший интерес, с точки зрения защиты подводных объектов, представляют газовые пузыри цилиндрической формы.

Описанная в работе [1] модель динамики газовой полости цилиндрической формы представляет определенную сложность в процессе ее исследования, связанную с вычислением несобственных интегралов на каждом этапе численного интегрирования дифференциальных уравнений. Малая пригодность модели в

наибольшей степени проявляется при исследовании взаимодействий системы газовых полостей в виду своей громоздкости. Имея в виду последующие приложения теории вопроса, существует настоятельная необходимость в проведении упрощений уравнений модели гидродинамики, используя аналогию с известным точным решением динамики сферического газового пузыря и руководствуясь здравым смыслом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Приведем основные уравнения нелинейной модели гидродинамики газовых полостей цилиндрической формы [14]:

$$\left. \begin{aligned} \bar{m}^* \left(\ddot{R} + \frac{3\dot{R}^2}{2R} \right) + \left(\frac{2v\dot{R}}{L} - \frac{\dot{R}^2}{R} \right) B &= \frac{\Delta p}{\rho}, \\ \frac{\Delta p^-}{\rho} &= (\ddot{R}R + \dot{R}^2)A + \left(\dot{R}v - \frac{\dot{R}^2 L}{R} \right) \frac{\partial A}{\partial l} - \frac{\dot{R}^2 r}{R} \frac{\partial A}{\partial \bar{r}} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial A}{\partial \bar{r}} \right)^2; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$A = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{K_0(\omega \bar{r})}{K_1(\omega)} \cdot \frac{\text{Sin}(\omega l)}{\omega^2} d\omega, \quad B = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \frac{K_0(\omega)}{K_1(\omega)} \cdot \frac{\text{Sin}(2\omega l)}{\omega^2} d\omega. \quad (2)$$

Прежде всего, как показали исследования, коэффициент присоединенных масс жидкости при колебании в ней деформируемой системы зависит от ее удлинения l и хорошо аппроксимируется зависимостью $\bar{m}^* = \sqrt{l}$. Ошибка такого приближения в расчете \bar{m}^* не превышает 2% в пределах $l \leq 7$. Причем, при $l = 1$ осуществляется полное совпадение \bar{m}^* и \sqrt{l} .

Рассмотрим далее известное выражение для гидродинамического давления, генерируемого колебанием газовой сферы (задача Ламба) [15-16]

$$\frac{\Delta p^-}{\rho} = (\ddot{R}R + 2\dot{R}^2) \frac{R}{r} - \frac{R^4}{2r^4} \dot{R}^2. \quad (3)$$

Сравнение первых членов уравнений (3) и (1) приводит к гипотезе

$$A = \frac{R}{r} \bar{m}^* = \frac{\bar{m}^*}{\bar{r}}. \quad (4)$$

Проведем ряд преобразований

$$A \approx \frac{l}{\bar{r}} = \frac{L}{R}; \quad \frac{\partial A}{\partial l} = \frac{1}{\bar{r}} = \frac{R}{r}; \quad \frac{\partial A}{\partial \bar{r}} = -\frac{l}{\bar{r}^2} = -\frac{LR}{r^2}.$$

Тогда, с учетом допущения $\bar{m}^* = \sqrt{l}$, получим

$$A = \frac{\sqrt{l}}{\bar{r}}; \quad \frac{\partial A}{\partial l} = \frac{1}{2\bar{r}\sqrt{l}}; \quad \frac{\partial A}{\partial \bar{r}} = -\frac{\sqrt{l}}{\bar{r}^2}. \quad (5)$$

Используя выведенные ранее уравнения для частных производных

$$\frac{\partial \bar{m}^*}{\partial t} = \frac{\partial \bar{m}^*}{\partial l} \left(v - \frac{\dot{R}L}{R} \right); \quad \frac{\partial \bar{m}^*}{\partial R} = -\frac{L}{R^2} \frac{\partial \bar{m}^*}{\partial l},$$

уравнение (3) перепишем в следующем виде

$$\ddot{R} + \frac{\dot{R}^2}{R} + \frac{\dot{R}v}{L} + \frac{1}{\bar{m}^*} \cdot \frac{\partial \bar{m}^*}{\partial l} \left(v\dot{R} - \frac{\dot{R}^2 L}{2R} \right) = \frac{\Delta p}{\rho R \bar{m}^*}. \quad (6)$$

С учетом принятого допущения $\partial \bar{m}^* / \partial l = 1 / (2\sqrt{l})$ окончательно будем иметь

$$\ddot{R} + \frac{3\dot{R}^2}{4R} + \frac{3\dot{R}v}{2L} = \frac{\Delta p}{\rho \sqrt{LR}}. \quad (7)$$

Далее переходим к второму уравнению (1). Запишем его с учетом выражений (5)

$$\frac{\Delta p^-}{\rho} = (\ddot{R}R + \dot{R}^2) \frac{\sqrt{l}}{\bar{r}} + \left(\dot{R}v - \frac{\dot{R}^2 L}{R} \right) \frac{1}{2\bar{r}\sqrt{l}} + \frac{\dot{R}^2 r}{R} + \frac{1}{2} \frac{l}{\bar{r}} \dot{R}^2. \quad (8)$$

После несложных преобразований, с учетом того, что $l = L/R$ и $\bar{r} = r/R$, получим

$$\frac{\Delta p^-}{\rho} = \frac{\sqrt{LR}}{r} \left(\ddot{R}R + \frac{3}{2} \dot{R}^2 + \frac{\dot{R}vR}{2L} \right) - \frac{LR^3}{2r^4} \dot{R}^2, \quad (9)$$

Либо

$$\frac{\Delta p^-}{\rho} = \frac{L}{r} \left(\ddot{R}R + \dot{R}^2 + \frac{\dot{R}vR}{2L} \right) - \frac{L^2 R^2}{2r^4} \dot{R}^2.$$

В ряде задач принципиально важно иметь не только распределение поля давления в жидкости (9) в результате движения границ деформируемой системы, но и параметры движения самой жидкости: скорости частиц на расстоянии r от оси цилиндра $v_r(t)$ и их ускорений $\dot{v}_r(t)$. В этом случае параметры движения жидкости оказывают существенное влияние на условия крепления газовых полостей. Выражения для $v_r(t)$ и $\dot{v}_r(t)$ легко получить из уравнения

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \bar{r}} = v = -\dot{R} \frac{\partial A}{\partial \bar{r}}; \quad v_r(t) = \dot{R} \frac{R^2}{r^2} \sqrt{\frac{L}{R}}; \quad (10)$$

$$\dot{v}_r(t) = v_r(t) \left(\frac{\ddot{R}}{\dot{R}} + \frac{3\dot{R}}{2R} + \frac{v}{2L} \right). \quad (11)$$

Законченное решение задачи гидродинамики цилиндрической полости в виде модели (7), (9)-(11) не представляет трудностей для численного интегрирования. При этом принципиально несложно построить решения с целью прогнозирования качественных закономерностей протекающих процессов в условиях взаимного влияния системы газовых полостей, имеющих место в ряде важных практических задач.

Определим нагрузки от взрыва в воде с газовыми полостями.

Взрыв ВВ с целью разрушения подводного объекта является источником ударной волны, параметры которой в чистой воде способны привести к значительному ущербу. Однако, как уже отмечалось, ударная волна, распространяясь в воде с газовыми включениями, претерпевает значительную деформацию. Предварительные эксперименты, проведенные по определению параметров ПУВ в воде с воздушными полостями, показали возможность управления пиками давления и, следовательно, создания условий для безопасности подводной конструкции.

С целью прогнозирования нагрузок на подводный объект в воде с газовыми включениями разработана математическая модель деформации ударной волны, проходящей через систему газовых полостей. При этом приняты следующие допущения.

1. Жидкость принимается несжимаемой. Это допущение обосновывается следующим обстоятельством. Нестационарное поле давления в жидкости в значительной мере формируется пульсацией газовых полостей, на параметры которого сжимаемость жидкости, как известно, оказывает несущественное влияние. Существенная податливость газовых пузырей позволяет заключить (исходя из общих положений гидроупругости), что процесс распространения волн давления в области с газовыми пузырями, вне непосредственной близости к заряду ВВ, практически не зависит от сжимаемости жидкости.

2. Процесс сжатия (расширения) газа в газовых полостях принят адиабатическим.

Предварительно рассмотрим прохождение ударной волны подводного взрыва через один газовый пузырь цилиндрической формы (рисунок 1). Математическая модель процесса представлена уравнениями (7) и (9). Эти зависимости можно использовать для оценки снижения давления нагрузки от подводного взрыва при прохождении ударной волны через газовый пузырь. Необходимо иметь в виду то обстоятельство, что оболочка газового пузыря изготавливается из легко обжимаемого материала, который существенно сопротивляется силам растяжения. Поэтому можно считать, то длина цилиндрического пузыря $L = Const$, что приводит к упрощению математической модели гидродинамики процесса. Под действием ударной волны, в которой давление изменяется по закону $p_b(t)$, движение поверхности пузыря подчиняется уравнению

$$\ddot{R} + \frac{3\dot{R}^2}{4R} = \frac{\Delta p}{\rho\sqrt{LR}} \quad (12)$$

Здесь избыточное давление в пузыре определяется следующим образом

$$\Delta p = p_g - p_0 - p_b \quad (13)$$

где p_g – давление газа внутри пузыря, p_0 – давление в окружающей среде на глубине центральной плоскости пузыря, p_b – давление в ударной волне в заданный момент времени в районе центральной плоскости пузыря.

Наконец, формула (9) примет вид

$$\frac{\Delta p^-}{\rho} = \frac{L}{r} (\ddot{R}R + \dot{R}^2) - \frac{L^2 R^2}{2r^4} \dot{R}^2 \quad (14)$$

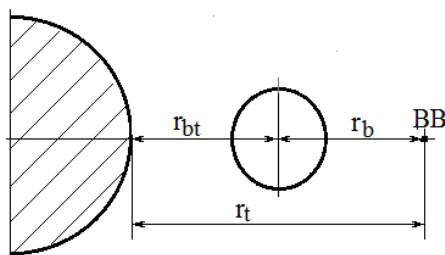


Рис. 1. Схема защиты объекта с одной воздушной цилиндрической полостью
Fig. 1. Protection diagram of an object with one air cylindrical cavity

Рассмотрим пример расчета полей давления представленной схемы на рисунке 1 для следующих значений параметров. Масса взрывчатого вещества $m_{bb} = 10$ кг. Размеры воздушного цилиндра $2L = 3$ м, $R_0 = 1$ м. Расположение точки взрыва, защищаемого тела и воздушного пузыря характеризуются следующими размерами $r_b = 3$ м, $r_t = 6$ м, $r_{bt} = 3$ м.

Результаты численного решения математической модели (12)-(14) представлены на графиках рисунка 2. Анализ полученных результатов показывает, что под влиянием воздушной полости цилиндрической формы давление во фронте ударной волны снижается примерно в 3,5 раза. При этом фронт волны несколько растягивается.

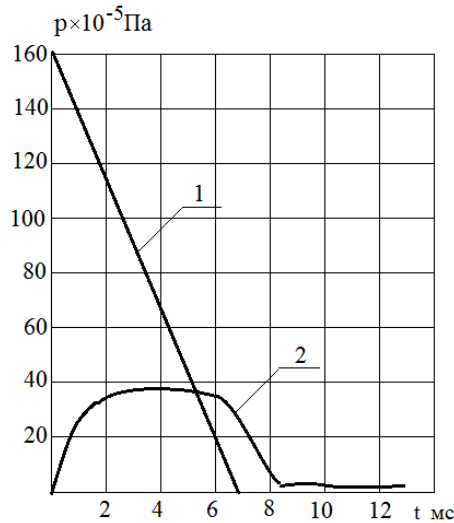


Рис. 2. Давление на защищаемом теле: 1 – в чистой воде; 2 – при наличии одного газового пузыря
Fig. 2. Pressure on the protected body: 1 – in clean water; 2 – in the presence of one gas bubble

Итак, чистая ударная волна подводного взрыва через газовую полость не проходит. Через газовую полость на объект проходит лишь доля импульса ударной волны J_c , которая определяется суммированием положительного импульса от взрыва ВВ

$$J^+ = \left(5880 \frac{m_{\text{ВВ}}^{0,63}}{r_{\text{га}}^{0,89}} \right) \quad (15)$$

и отрицательного импульса, возникающего за счет податливости газовой полости

$$J^- = \rho \frac{R_0^2}{r_{bt}} \dot{R}_0. \quad (16)$$

Таким образом,

$$J_c = J^+ + J^-. \quad (17)$$

Результаты расчетов (таблица 1) показали, что на величину суммарного импульса, проникающего к защищаемому объекту, наибольшее влияние оказывает радиус газового цилиндра. В расчетах длина цилиндра принималась постоянной ($L = 1,5$ м).

Таблица 1. Доля проникающего ударного импульса к защищаемому объекту
Table 1. Fraction of penetrating shock pulse to the protected object

R (м)	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
W (м ³)	12,06	15,27	18,85	22,81	27,14	31,86
J^+ (Пас)	5090	5090	5090	5090	5090	5090
J^- (Пас)	-2520	-2830	-3140	-3460	-3770	-4090
J_c (Пас)	2580	2260	1950	1630	1320	1000
Δ (%)	50,7	44,4	38,3	32,0	25,9	19,6

Имея предварительные результаты исследований можно приступить к организации защиты объекта по конкретным параметрам самого объекта и предполагаемым мощностям диверсионных взрывов.

Рассмотрим систему защиты объекта, показанную на рисунке 3. В данном случае аналитическая модель расчета усложняется. Колебание каждой полости вычисляется по формуле (с учетом того, что принято $L = Const$)

$$\ddot{R}_i = \frac{1}{\rho \sqrt{LR_i}} \left(\Delta p_i - \sum_{j \neq i} \Delta p_{ji}^- \right) - \frac{3\dot{R}_i^2}{4R_i}. \quad (18)$$

Здесь

$$\Delta p_i = p_0 \left[\left(\frac{R_0}{R_i} \right)^{2k} - 1 \right] - p_{bi} \quad (19)$$

давление на границы газовой полости с учетом внутреннего давления в ней (при адиабатическом сжатии газа) и давления в ударной волне в области полости на данный момент времени. Давление p_{bi} принимается со знаком минус в связи с выбранным направлением движения границ полости при ее сжатии.

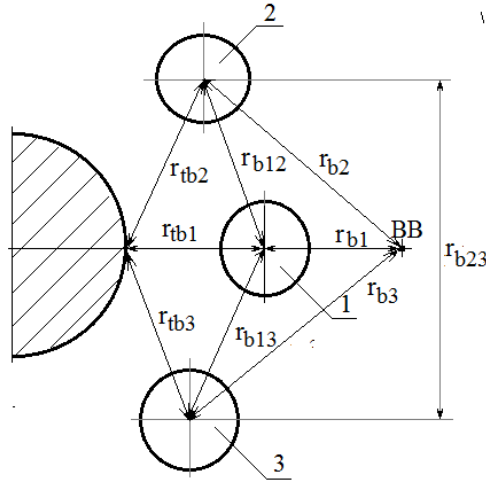


Рис. 3. Схема защиты объекта с тремя воздушными цилиндрическими полостями
 Fig. 3. Protection diagram of an object with three cylindrical air cavities

Реакция колебания соседних полостей на исходную определяется в зависимости от движения их границ

$$\Delta p_{ji}^- = \frac{\rho L}{r_{ji}} (\ddot{R}_j R_j + \dot{R}_j^2) - \frac{\rho L^2 R_j^2}{2 r_{ji}^4} \ddot{R}_j^2. \quad (20)$$

Второй член в формуле (20) в виду второго порядка малости по сравнению с первым можно не учитывать r_{ji} – расстояние между соответствующими полостями. Суммарное давление, приходящее на защищаемый объект определяется как сумма давлений от взрыва ВВ и давлений, которые генерируются окружающими полостями

$$p_t = p_0 + p_{bt} + \sum_i \Delta p_{ti}^-, \quad (21)$$

где

$$\Delta p_{ti}^- = \frac{\rho L}{r_{bti}} (\ddot{R}_i R_i + \dot{R}_i^2) - \frac{\rho L^2 R_i^2}{2 r_{bti}^4} \ddot{R}_i^2, \quad (22)$$

r_{bti} – расстояние от объекта до соответствующей полости.

Предварительный анализ дает основание считать, что основным параметром, определяющим нестационарное поле давления на глубине защищаемого объекта, является полный импульс давления, а не само быстро меняющееся во времени давление в падающей волне. Это связано со значительной инерционностью системы «жидкость – газовые полости», при которой время достижения максимального давления в полостях значительно больше продолжительности действия самой волны давления. При использовании модели (20) – (23) в качестве начальных условий берутся не нулевые условия, а значение

$$\dot{R}_{0i} = -\frac{J_{bi}}{\rho R_{0i}}. \quad (23)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Методика экспериментальных исследований защиты подводных объектов от взрывов ВВ

Эксперимент – важнейший инструмент подтверждения истинности теоретических исследований. Достоверность его зависит от методики моделирования, учитывающей наиболее важные стороны процесса. Ниже даются основные закономерности проведения модельного эксперимента объекта исследования. Как хорошо известно, при моделировании движения жидкости, вызванного взрывом, масштаб линейных размеров должен быть одинаков с масштабом времени ($M_l = M_t$). При этом параметры неустановившегося движения в модели и в натуре одинаковы, то есть $M_p = 1$. Если выбрать за основные физические величины с независимой размерностью: плотность воды ρ , линейный характерный размер l и давление p , то можно показать, что масштаб импульса давления равен линейному ($M_j = M_l$). Этот закон справедлив для сплошных сред. Однако он нарушается при насыщении слоя воды газом, который существенно изменяет ее динамические свойства. Ударные волны отражаются от газовых полостей в виде волн разряжения, что приводит к срезанию пиков давления ударных волн. Колебания газовых полостей, вызванные их взаимодействием с ударными волнами, приводят к вторичным пульсациям давления в окружающую среду, затухающих со временем.

Для подобия динамических свойств модельной среды натуре необходимо, чтобы масштаб периодов колебаний пузырей M_t равнялся бы линейному M_l . Это возможно, если масштаб гидростатического давления в любой точке по высоте столба жидкости с газовыми пузырями равнялся бы единице ($M_p = 1$). Это условие практически невозможно обеспечить одновременно во всем диапазоне глубин защищаемого объекта $M_l > 1$. Это может быть обеспечено лишь при одном значении глубины.

Таким образом, полностью смоделировать нестационарные колебания давления в жидкости с газовыми полостями оказывается невозможным. Однако с помощью эксперимента удастся спрогнозировать параметры первой положительной фазы волны давления, оказывающие основное влияние на поведение конструкции (максимальное давление в падающей волне, продолжительность действия первой положительной фазы и полный импульс ее давления).

Как отмечалось ранее, если продолжительность действия волны давления (включая ее пульсации) значительно меньше периодов колебания элементов конструкции, подверженных действию волны, то действие давления в основном представляет местный импульсивный удар по этим элементам, которые затем приходят в движение, определенное импульсом волны. Есть основание считать, что величина полного импульса давления в падающей волне слабо зависит от наличия газовых включений. Этот вывод непосредственно следует из закона сохранения количества движения, если считать, что после завершения переходных процессов в жидкой среде, длящихся в течение весьма малого промежутка времени, картина газовых включений в воде не успевает существенно измениться. Однако динамические свойства среды при включении в нее газовых полостей изменяются таким образом, что это изменение приводит к резкому увеличению продолжительности действия импульса и существенному снижению давления (нагрузка делается более «мягкой»). Можно утверждать, что невозможность обеспечить масштаб давления $M_p = 1$ во всем диапазоне глубин при наличии газовых включений практически не отразится на величине импульса давления в падающей волне. Если при этом в модели обеспечивается подобие в расположении, форме и размерах газовых полостей до взрыва заряда ВВ, то модельный эксперимент дает достаточную информацию о параметрах первой положительной фазы давления в падающей волне. А условие $M_p = 1$ можно обеспечить путем наддува, если эксперимент проводится в специальном бассейне.

Для определения правила расчета массы модельных зарядов используется формула [17-18]

$$J = 5880 \frac{m_{\text{В}}^{0,63}}{r^{0,89}}. \quad (24)$$

Откуда

$$M_J = \frac{M_{\text{мв}}^{0,63}}{M_l^{0,89}}. \quad (25)$$

Приравнивая правые части уравнений (24) и (25), будем иметь

$$M_{\text{мв}} = M_l^{3,79}. \quad (26)$$

В рассматриваемой задаче должны соблюдаться геометрическое и динамическое подобия. Масштабы определяющих величин:

$$M_m = M_l^3; \quad M_t = \sqrt{M_l}; \quad M_{p0} = M_l; \\ M_{bb} = M_l^{3,79}. \quad (27)$$

Масштабы определяемых величин:

$$M_J = \sqrt{M_l^3}; \quad M_{pm} = M_l. \quad (28)$$

Если при эксперименте невозможно обеспечить условие $M_{p0} = M_l$, то нарушается одно из условий однозначности – обеспечение в сходственных точках среды единого масштаба гидростатического давления. Однако, и в этом случае имеется возможность смоделировать процессы взаимодействия ударной волны с защищаемым объектом, правильно выбрав в эксперименте величину импульса давления в падающей волне J_M и зафиксировав давление на уровне исследуемой точки объекта p_0 . Из условия проведения эксперимента известен его масштаб $M_{p0} = p_{0н}/p_{0м}$. В качестве основных физических величин с независимой размерностью выбраны ρ, l, p_0 . В этом случае безразмерные величины импульса давления и времени примут следующие значения:

$$\bar{J} = \frac{J}{l\sqrt{p_0\rho}}; \quad \bar{t} = \frac{t}{l} \sqrt{\frac{p_0}{\rho}}. \quad (29)$$

Следовательно

$$M_J = \sqrt{M_{p0}} M_l; \quad M_t = \frac{M_l}{\sqrt{M_{p0}}}. \quad (30)$$

Приравнивая правые части уравнений (25) и (30), получим выражение для масштаба модельной массы заряда

$$M_{\text{мв}} = M_l^3 M_{p0}^{0,79}. \quad (31)$$

Масштабные коэффициенты остальных величин имеют вид:

$$M_m = M_l^3; \quad M_t = \frac{M_l}{\sqrt{M_{p0}}}; \quad M_{pm} = M_{p0}. \quad (32)$$

Подводя итог изложенной методики моделирования нагружения объекта исследования необходимо сделать вывод: процесс взаимодействия ударных волн от взрыва зарядов ВВ с газовыми полостями можно моделировать, если правильно выбрать величину импульса давления в падающей волне.

ВЫВОДЫ

1. Газовые полости в воде оказывают существенное влияние на характеристики нестационарного поля давления в окрестности защищаемого объекта. Анализируя теоретические исследования видно, что внутри жидкой области с газовыми полостями происходит дисперсия волнового процесса. Начальный пик давления резко уменьшается. В районе защищаемого объекта он

уменьшается практически на два порядка по сравнению с максимальным давлением в исходной ударной волне. Давление в основном определяется пульсацией газовых полостей, сгенерированных взрывом ВВ. Время действия нагрузки при наличии газовых полостей резко возрастает.

2. Используя точное решение задачи гидродинамики, полученное в работе [16], предложено одно из приближений уравнений гидродинамики, позволяющее производить на простых моделях прогноз качественных закономерностей протекающих процессов в жидкости в условиях наличия в ней системы газовых полостей, аппроксимируемых цилиндрами.

3. Предложена методика физического моделирования процессов взаимодействия подводной ударной волны с защищаемым объектом. Используя выведенные законы моделирования (как при масштабе давлений равно единице, так и при несоблюдении этого масштаба) на физической модели имеется возможность предсказать протекание процессов гидродинамики исследуемого явления и подтвердить теоретические выводы, полученные в работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коул Р. Подводные взрывы. – М.: Иностранная литература, 1950. – 495 с.
2. Коробейников В.П., Христофоров Б.Д. Подводный взрыв // Итоги науки и техники. Сер. Гидромеханика. 1976. – Т. 9. – С. 54–119.
3. Фортон В.Е. Мощные ударные волны и экстремальное состояние вещества // УФН. 2007. – Т. 177. – № 4. – С. 347–368.
4. Сидняев Н.И. Теоретические исследования гидродинамики при подводном взрыве точечного источника // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. – Вып. 2. – С. 1–21. <http://engjournal.ru/catalog/appmath/hidden/614.html>.
5. Igolkin Sergey I., Melker Alexander I. Structure of shock waves arising in underwater explosion // Materials Physics and Mechanics. 2014. – Vol. 20. – Pp. 142–147.
6. Сидняев Н.И., Шипилова О.А. Воздействие подводного взрыва на гидродинамику и характер распространения возмущений // Инженерный журнал: наука и инновации. 2017. – Вып. 11. – 9 с. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-11-1705>.
7. Шарфарец Б.П. О динамике ударных волн в жидкости. Обзор // Научное приборостроение. 2016. – Том 26. – № 4. – С. 43–54.
8. Федоров А.В., Федорова Н.Н., Фомин П.А., Вальгер С.А. Распространение взрывных процессов в неоднородных средах. – Новосибирск: Параллель, 2016. – 258 с.
9. Кобылкин И.Ф., Селиванов В.В., Соловьев В.С., Сысоев Н.Н. Ударные и детонационные волны. Методы исследования. – М.: Физматлит, 2004. – 376 с.
10. Кедринский В.К. Гидродинамика взрыва. Эксперимент и модели. – Новосибирск: Изд-во СО

РАН, 2000. – 435 с.

11. Коробейников В.П., Христофоров Б.Д. Подводный взрыв // Итоги науки и техники. Сер. Гидромеханика. 1976. – Т. 9. – С. 54–119.
12. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980. – 616 с.
13. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. 6. Гидродинамика. – М.: Наука, 1986. – 736 с.
14. Крайнов В.П. Нелинейные задачи гидродинамики. – М.: МФТИ, 1996. – 92 с.
15. Ламб Г. Гидродинамика. – М.: ОГИЗ, 1947. – 929 с.
16. Яковлев Ю.С. Гидродинамика взрыва. – Ленинград: Судпромгиз, 1961. – 313 с.
17. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Часть 2. Учебник. – Под ред. И.А. Кибеля. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Физматгиз, 1963. – 728 с.
18. Замышляев Б.В., Яковлев Ю.С. Динамические нагрузки при подводном взрыве. – Ленинград: Судостроение, 1967. – 194 с.

REFERENCES

1. Cole R. Underwater explosions. – Moscow: Foreign Literature Publ., 1950. – 495 p. (In Russ.)
2. Korobejnikov V.P., Hristoforov B.D. Underwater explosion // Itoginaukiitekhniki. Ser. Gidromekhanika. 1976. – Vol. 9. – Pp. 54–119. (In Russ.)
3. Fortov V.E. Powerful shock waves and extreme state of matter // UFN. 2007. – Vol. 177 (4). – Pp. 347–368. (In Russ.)
4. Sidnyaev N.I. Theoretical studies of hydrodynamics in the underwater explosion of a point source // Inzhenernyjzhurnal: nauka i innovacii. 2013. – Vol. 2. – Pp. 1–21. <http://engjournal.ru/catalog/appmath/hidden/614.html> (In Russ.)
5. Igolkin Sergey I., Melker Alexander I. Structure of shock waves arising in underwater explosion // Materials Physics and Mechanics. 2014. – Vol. 20. – Pp. 142–147.
6. Sidnyaev N.I., Shipilova O.A. Effect of underwater explosions on hydrodynamics and the nature of perturbation propagation // Inzhenernyjzhurnal: nauka i innovacii. 2017. – Vol. 11. – 9 p. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-11-1705> (In Russ.)
7. Sharfarets B.P. On the dynamics of shock waves in the liquid. Overview // Nauchnoepriborostroenie. 2016. – Vol. 26. – № 4. – Pp. 43–54. (In Russ.)
8. Fedorov A.V., Fedorova N.N., Fomin P.A., Val'ger S.A. Propagation of explosive processes in inhomogeneous media. – Novosibirsk: Parallel'Publ., 2016. – 258 p. (In Russ.)
9. Kobylkin I.F., Selivanov V.V., Solov'ev V.S., Sysoev N.N. Shock and detonation waves. Research methods. – М.: FizmatlitPubl., 2004. – 376 p. (In Russ.)
10. Kedrinskij V.K. Hydrodynamics of explosion. Experiment and models. – Novosibirsk: Izdatel'stvo SO

RAN Publ., 2000. – 435 p. (In Russ.)

11. Korobejnikov V.P., Hristoforov B.D. Underwater explosion // Itoginaukiitexhniki. Ser. Gidromekhanika. 1976. – Vol. 9. – Pp. 54–119. (In Russ.)

12. Rouch P. Computational hydrodynamics. – M.: Mir Publ., 1980. – 616 p. (In Russ.)

13. Landau L.D., Lifshic E.M. Theoretical physics. Vol. 6. Hydrodynamics. – M.: Nauka Publ., 1986. – 736 p. (In Russ.)

14. Krajnov V.P. Nonlinear problems of hydrodynamics. M.: MFTI Publ.; 1996. (In Russ.)

15. Lamb G. Hydromechanics. Moscow: OGIZ Publ.; 1947. (In Russ.)

16. YAKovlev YU.S. Hydrodynamics of explosion.]. Leningrad: Sudpromgiz Publ.; 1961. (In Russ.)

17. Kochin N.E., Kibel' I.A., Roze N.V. Theoretical hydromechanics. Part 2. Textbook. – Ed. I.A. Kibel'. – 4th ed., rev. and additional. – M.: Fizmatgiz, Publ., 1963. – 728 p. (In Russ.)

18. Zamyshlyaev B.V., YAKovlev YU.S. Dynamic loads during underwater explosion. – Leningrad: Sudostroenie Publ., 1967. – 194 p. (In Russ.)

APPROXIMATE EVALUATION OF PRESSURE FIELDS IN LIQUID WITH GAS CAVITIES

Chemodurov V.T., Litvinova E.V.

Institute «Agrotechnological academy» (Structural Subdivision) of the
«V.I. Vernadsky Crimean Federal University»,
Simferopol, Republic of Crimea, Russian Federation
Chens_mu1@mail.ru, EllaLit@mail.ru

Abstract. The issues of protection of underwater objects using cylindrical air cavities are studied. In a number of tasks, it is fundamentally important to have not only the distribution of the pressure field in the liquid because of the movement of the boundaries of the deformable system, but also the parameters of the movement of the liquid itself. In this case, the parameters of the liquid movement have a significant effect on the fastening conditions of the gas cavities. The shock wave, spreading in water with gas inclusions, undergoes significant deformation. Preliminary experiments conducted to determine the parameters of underwater shock wave in water with air cavities have shown the possibility of controlling pressure peaks and, therefore, creating conditions for the safety of the underwater structure. Analyzing theoretical studies, it can be seen, that a dispersion of the wave process occurs inside the liquid region with gas cavities. The initial pressure peak decreases dramatically. In the area of the protected object, it decreases by almost two orders of magnitude compared to the maximum pressure in the initial shock wave. The pressure is mainly determined by the pulsation of the gas cavities generated by the explosive air wave. The duration of the load in the presence of gas cavities increases sharply.

Subject. Determination of explosion loads in water with gas cavities. The organization of the protection of the object according to the specific parameters of the object itself and the estimated power of sabotage explosions.

Materials and methods. In order to predict the loads on an underwater object in water with gas inclusions, a mathematical model of deformation of a shock wave passing through a system of gas cavities has been developed.

Results. Under the influence of a cylindrical air cavity, the pressure in the shock wave front decreases by about 3.5 times. At the same time, the wave front stretches somewhat. The pure shock wave of an underwater explosion does not pass through the gas cavity. The main parameter determining the unsteady pressure field at the depth of the protected object is the total pressure pulse, and not the pressure itself rapidly changing over time in the incident wave.

Conclusions. One of the approximations of the equations of hydrodynamics is proposed, which makes it possible to predict the qualitative patterns of processes in a liquid using simple models in the presence of a system of gas cavities approximated by cylinders. A method of physical modeling of the processes of interaction of an underwater shock wave with a protected object is proposed.

Key words: cylindrical air cavities, mathematical model of shock wave deformation, inertia of the liquid-gas cavities system, mass of model charges.

Раздел 4. Экологическая безопасность

УДК 556.53:631

ОСОБЕННОСТИ СХЕМ АККУМУЛЯЦИИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ДОБРОВСКОГО СЕЛЬСКОГО ПОСЕЛЕНИЯ

Ветрова¹ Н.М., Иваненко² Т.А., Марунчак³ Д. Ю.

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского.
Институт «Академия строительства и архитектуры»
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181
E-mail: ¹хаос.ветрова.03@mail.ru; ²sapronovat@mail.ru

Аннотация. В данной работе проведен анализ существующего состояния водоснабжения, водоотведения, а также увеличивающегося количества населения Добровского сельского поселения. Данная проблема является весьма актуальной, так как стремительный рост населения, развитие промышленного сектора, расширение пахотных земель и ведение приусадебного хозяйства на данной территории вынуждает увеличивать потребность в водных ресурсах, которых, с каждым годом, все чаще не хватает для обеспечения местной промышленности, сельского хозяйства, а также комфортной жизни местного населения. Было проанализировано увеличивающееся количество жителей в каждом населенном пункте Добровского сельского поселения, геологические особенности данной территории и определены возможные водные источники. В связи с чем, были сделаны выводы о необходимости процессов аккумуляции водных ресурсов для водоснабжения населения Добровского сельского поселения, так как без этого аспекта невозможно полноценное планомерное развитие данной территории и освоение новых близлежащих земель.

Предмет исследования: обоснование возможности и необходимости инженерных решений по аккумуляции водных ресурсов для водоснабжения населения Добровского сельского поселения, которое расположено в средней части Крыма в пределах предгорного климатического района, который характеризуется теплым, но относительно сухим климатом.

Материалы и методы: в основу выполнения представленного исследования положены традиционные методы: анализ, систематизация, обобщение опубликованных и фондовых материалов, картографическое и математические моделирование, системный анализ, картографические и компьютерные технологии.

Результаты: исходя из фактических и прогнозируемых объемов водоснабжения, а также из ожидаемых темпов строительства водоочистных сооружений, можно сделать вывод, что необходима дополнительная аккумуляция водных ресурсов для обеспечения населения Добровского сельского поселения. Этого можно добиться путем строительства дополнительных гидротехнических сооружений вблизи Аянского источника для аккумуляции паводковых вод.

Выводы: численность местного населения и гостей территории со временем будет возрастать, вместе с тем, жилищный фонд, агропромышленный комплекс и производственный потенциал будут претерпевать значительное наращивание темпов развития. Решение проблемы рационального водопользования имеющихся водных ресурсов для обеспечения водой населения и всех отраслей экономики является одной из важнейших задач современного общества. Учитывая одну из самых маловодных обеспеченностей в стране, и особенность распределения речного стока и подземных вод, профильным специалистам необходимо решать множество разнообразных задач по обеспечению водными ресурсами население и множество отраслей экономики. В нынешних реалиях особенно актуальной становится задача усовершенствования управления водными ресурсами речного бассейна, путем аккумуляции паводковых вод и эксплуатации водохозяйственных объектов, обеспечивающих подачу воды в населенные пункты Добровского сельского поселения и на прилегающие территории.

Ключевые слова: водоснабжение, водоотведение, рост населения, увеличение потребления водных ресурсов, аккумуляция вод, водные источники, водохранилища, реки.

ВВЕДЕНИЕ

Крымский полуостров во все времена испытывал дефицит водных ресурсов, необходимых для бытового и промышленного использования населением, поскольку, достаточное водообеспечение необходимо для полноценного функционирования всех отраслей, которые обеспечивают комфортную жизнь современного общества. Однако, стремительный рост населения, развитие промышленного сектора, расширение пахотных земель и ведение приусадебного

хозяйства вынуждает увеличивать потребность в водных ресурсах на новых осваиваемых территориях.

На территории Крыма насчитывается 1657 водотоков: рек, ручьёв и балок общей длиной 5996 км со среднемноголетним стоком 0,58 км³. Также в Крыму расположены около 300 озёр и 1900 оросительных прудов (рис. 1). Основными Крымскими реками являются: Салгир, Кача, Альма, Бельбек, Индол, Биюк-Карасу, Чёрная, Бурульча. Самой длинной является река Салгир (220 км), самой полноводной — река Бельбек (расход воды — 1,5 м³/с). Всего на территории Крыма формируется

около миллиарда кубометров воды в год, однако этого недостаточно, поэтому за многие годы была создана целая сеть водохранилищ, ключевыми из которых, для питьевого водоснабжения Крыма, являются девять: Аянское, Изобильненское, Ленинское, Львовское, Партизанское, Симферопольское, Станционное, Феодосийское, Фронтное и скважины, расположенные преимущественно в северо-западной и центральной частях полуострова (рис. 2) [1, 2].

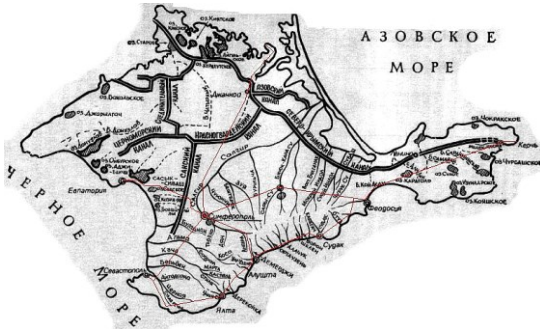


Рис. 1. Гидрографическая сеть Крыма [3]
Fig. 1. Crimean Hydrographic Network [3]



Рис. 2. Карта-схема водохранилищ Республики Крым [4]
Fig. 2. Map of reservoirs of the Crimean Republic [4]

Добровское сельское поселение Республики Крым снабжается водными ресурсами по системе центрального водоснабжения от Аянского водохранилища и скважин, пробуренных преимущественно в частном секторе. Но если учесть высокие темпы роста населения, увеличивающееся количество различных предприятий и большие объемы строительства нового жилого фонда, этих водных источников становится недостаточно. Поэтому, для устойчивого функционирования указанной территории Крыма необходима разработка новой концепции управления водными ресурсами, что требует обоснования.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Исследованию состояния поверхностных водных объектов Крыма с рассмотрением вопросов рационального использования водных ресурсов, соблюдению их качества и поддержанию

необходимого объема стока посвящены работы многих отечественных авторов Захарова Р.Ю., Тимченко З.В. и др. по результатам которых были изданы аналитические отчеты и публикации [5-8].

Тем не менее, многие вопросы, связанные с аккумуляцией водных ресурсов для водоснабжения сельских населенных пунктов, особенностями внедрения водоохраных мероприятий для защиты водных объектов и улучшения качества водных ресурсов, являются малоизученными и актуальными.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основу выполнения представленного исследования положены традиционные методы: анализ, систематизация, обобщение опубликованных и фондовых материалов, картографическое и математические моделирование, системный анализ, картографические и компьютерные технологии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Добровское сельское поселение расположено в долине реки Салгир в её верхнем течении, в пределах Внешней гряды Крымских гор. Оно граничит на северо-западе с землями городского округа Симферополь, на юго-западе с Перовским сельским поселением, на юге с Бахчисарайским районом, на востоке — с городским округом Алушта, на севере с землями Белогорского района и Трудовского сельского поселения. Площадь сельского поселения равна 306,29 км² [9]. Численность населения составляет 22 тыс. 735 человек (2021 г.) [10].

В состав Добровского сельского поселения входят 12 сёл, такие как: Доброе, Андрусово, Заречное, Краснолесье, Лозовое, Мраморное, Перевальное, Петропавловка, Пионерское, Привольное, Ферсманово, Чайковское. (табл. 1).

Таблица 1. Населенные пункты и количество населения, входящие в Добровское сельское поселение [10]
Table 1. Population and inhabitants in the rural settlement Dobroe [10]

№	Населённый пункт	Тип населённого пункта	Население, чел.
1	Доброе	село, центр	↗3848
2	Андрусово	село	↗886
3	Заречное	село	↘2022
4	Краснолесье	село	↘1061
5	Лозовое	село	↗1889
6	Мраморное	село	↗158
7	Перевальное	село	↗4980
8	Петропавловка	село	↔91

№	Населённый пункт	Тип населённого пункта	Население, чел.
9	Пионерское	село	↗6224
10	Привольное	село	↘13
11	Ферманово	село	↘155
12	Чайковское	село	↗110

Хозяйственно освоенная часть Добровского сельского поселения расположена на холмистой равнине, охватывающей северные и западные предгорья, в пределах предгорного климатического района, который характеризуется теплым, но относительно сухим климатом. Он является переходным от степного к горному. Средняя годовая температура воздуха данной местности равна около +10°C [11].

Местность, на которой расположено Добровское сельское поселение имеет сложную геологию. В настоящее время в процессе поверхностных маршрутных исследований и наблюдений в полости установлено наличие двух нарушений, определяющих морфологию и направление подземных ходов на участках пересечения ими полости. Сама полость вытянута вдоль меридианального разлома, проходящего вдоль всего западного борта Чатыр-дага. Этот сброс севернее уходит под нижнемеловые отложения и достигает Аянского источника, вытекающего из Аянской пещеры [12]. Модели строения Чатыр-дагского массива в разрезе представлены на рисунке 3.

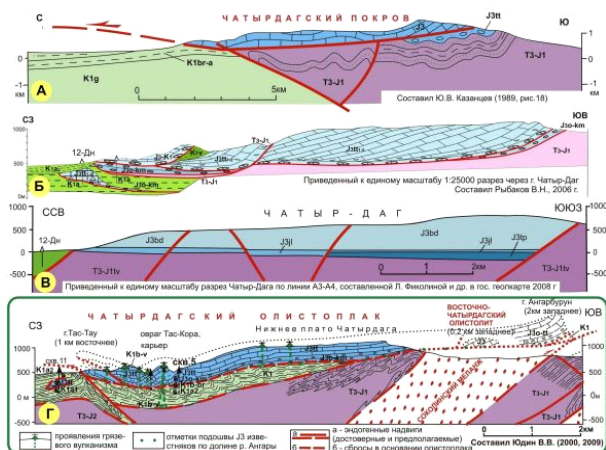


Рис. 3. Модели строения Чатыр-дагского массива в разрезе [12]

Fig. 3. Chatur-Dag Array Building Models in Section

На склонах Чатыр-Дага всего зарождается 82 водных источника, самый крупный из которых - Аянский, выбивающийся мощным ключом у подножия северного склона горного массива. Аянская пещера - уходит вглубь на 560 метров и состоит из пяти параллельных галерей, которые в сильные паводки почти полностью затопляются водой мощным карстовым источником. Именно отсюда начинается главный источник питания Аянского водохранилища - река Аян.

Аянское водохранилище - это водоём естественного стока у села Заречное Симферопольского района на северном склоне Чатыр-Дага - главной гряды Крымских гор. Технические характеристики гидротехнических сооружений Аянского водохранилища представлены в таблице 2.

Таблица 2. Технические характеристики гидротехнических сооружений Аянского водохранилища
Table 2. Technical characteristics of the hydrotechnical structures of the Ayansky reservoir

№	Характеристика	Параметры
1	2	3
1. Водоподпорные и водонапорные сооружения		
1.1	Тип сооружения	Плотина водохранилища средненапорная
1.2	Наименование сооружения	Грунтовая плотина
1.3	Грунты основания	В основании плотины залегают галечно-щебенистые и гравийно-дресвяные отложения. Мощность колеблется в пределах от 6 м до 7,5 м.
1.4	Грунты тела плотины	Ядро плотины выполнено из аптских глин, боковые призмы из галечно-щебенистого и гравийно-дресвяного грунта с суглинистым заполнителем (20-40%)
1.5	Отметка гребня плотины, м	409,00
1.6	Максимальная высота, м	26,0
1.7	Длина по гребню, м	463,0
1.8	Ширина по гребню, м	8,0
1.9	Ширина по подошве, м	Переменная
1.10	Ширина берм, м	2,0
1.11	Заложение откосов: верхового: низового:	1:3,0 1:2,0; 1:2,5; 1:3,0
1.12	Тип крепления откосов: -Верхового -Низового	Монолитный бетон Посев многолетних трав по слою растительного грунта
1.13	Максимальный расчетный напор, м	24,40
1.14	Противофильтрационные и дренажные устройства	Зуб из глинобетона средней глубиной 1,75 м; глиняная стена; обратный фильтр из песка, гравия и камня у подошвы низового откоса и трубчатый

№	Характеристика	Параметры
1	2	3
		дренаж из труб d=70мм
2. Водосбросные и водопропускные ГТС		
2.1	Тип сооружения	открытый водосброс
2.2	Наименование сооружения	водосброс открытого типа
2.3	Расположение в узле сооружений	вне тела плотины по правому борту
2.4	Отметка порога водосброса, м	407,00
2.5	Суммарная ширина пролетов для пропуска воды, шт.	9,0
2.6	Длина водосливной части, м	30,00
2.7	Количество пролетов для пропуска воды, шт.	1
2.8	Максимальный проектный расход при пропуске паводка, м ³ /с	34,0
3. Водозаборные ГТС		
3.1	Тип сооружения	донный водовыпуск шахтного типа
3.2	Наименование сооружения	донный трубчатый водовыпуск
3.3	Условия забора воды	бесплотинный водозабор
3.4	Назначение забора воды	питьевое водоснабжение, опорожнение водохранилища
3.5	Тип затворов	затворы управления
3.6	Максимальный проектный расход, м ³ /с	1,3
3.7	Размер на свету сечения, м	0,6
3.8	Отметка порога входного оголовка, м	388,00
3.9	Количество ниток водоводов, шт.	2
3.10	Количество основных затворов, шт.	2

На территории Добровского сельского поселения действует по большей части централизованная система водоснабжения. Она обеспечивает: хозяйственно-питьевое водопотребление в жилых и общественных зданиях; нужды коммунально-бытовых предприятий; хозяйственно - питьевое водопотребление на предприятиях; производственные нужды промышленных и сельскохозяйственных предприятий. Для потребителей данных категорий требуется вода питьевого качества, а также расход воды на тушение пожаров. Централизованная система водоснабжения развита в с. Лозовое, с. Заречное, с. Ферманово, с. Андрусово, с. Пионерское, с. Доброе, с. Перевальное, с. Краснолесье. В с. Привольное, с. Чайковское, с. Петропавловка и с. Мраморное хозяйственно-питьевое водоснабжение обеспечивается

посредством индивидуальных скважин. В селах Лозовое, Заречное, Доброе, Пионерское, Ферманово и Андрусово централизованное водоснабжение осуществляется посредством подключения к водоводу диаметром 600 мм, проходящему от Аянского водохранилища в городской округ Симферополь. Водовод состоит на балансе ГУП РК «Вода Крыма». В летний период отмечается нехватка воды, в частности в с. Перевальное в летний период ввиду недостаточного поступления воды в источник, подача воды осуществляется по графику.

Таблица 3. Годовой баланс подачи и реализации воды по группам абонентов на базовый период и расчетный срок до 2030 года [13]

Table 3. Annual balance of water supply and sales by subscriber groups for the base period and calculation period until 2030 [13]

Сельские поселения	Фактическое значение, 2019 г., тыс. м ³ /год		Ожидаемое значение, 2030 г., тыс. м ³ /год				
	Годовая подача	Реализация		Годовая подача	Реализация		
		население	прочие потребители		население	полив	прочие потребители
Добровское	636	260,5	35	2516	1596	246	171

При аккумуляции дополнительных водных ресурсов и подачи их потребителям, необходимо решить вопрос с водоотведением, так как оно должно быть готово к принятию возрастающих нагрузок на всю систему. Отведение хозяйственно-бытовых стоков на территории Добровского сельского поселения осуществляется как централизованно, так и децентрализованно. К централизованной системе водоотведения частично подключена застройка, расположенная в с. Перевальное, с. Краснолесье, с. Доброе, с. Пионерское. При этом основная часть сетей водоотведения находится в аварийном либо предаварийном состоянии. Остальные населенные пункты Добровского сельского поселения не канализованы. Жители пользуются надворными уборными с выгребными ямами. В последние годы в местах с низким уровнем грунтовых вод устраиваются двухсекционные фильтрационные септики. Вывоз нечистот из выгребных ям и септиков производится по персональным заявкам граждан ассенизационными машинами на канализационные очистные сооружения.

По планам на 2030 год охват населения услугами водоотведения по Симферопольскому району должен составить 96.8% [13].

Таблица 4. Существующий и прогнозный баланс по системе водоотведения и прогноз объема сточных вод до 2030 года [13]

Table 4. Existing and projected balance on water system and sewage volume forecast to 2030 [13]

Сельские поселения	Фактическое значение, 2019 г., тыс. куб. м/год		Ожидаемое значение, 2030 г., тыс. куб. м/год	
	Население	Прочие потребители	Население	Прочие потребители
	жилые здания	объекты общественного-делового назначения, промышленные объекты	жилые здания	объекты общественного-делового назначения, промышленные объекты
Добровское	137,43	100,80	1561,38	167,92

На основании анализа фактических данных притока и сброса воды (рис. 4) из Аянского водохранилища, можно сделать вывод, что возможна дополнительная аккумуляция водных ресурсов.

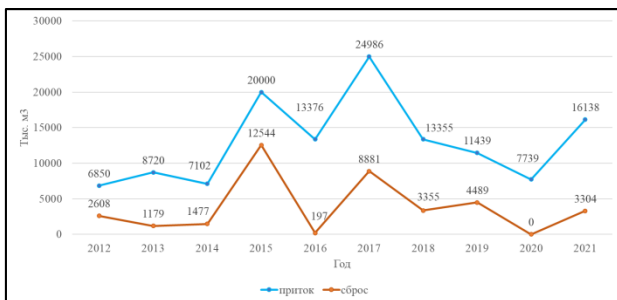


Рис. 4. График притока и сброса воды в Аянское водохранилище

Fig. 4. Flow and discharge chart of water to the reservoir Ayanskoye

Исходя из фактических и прогнозируемых объемов водоснабжения, а также из ожидаемых темпов строительства водоочистных сооружений, можно сделать вывод, что необходима дополнительная аккумуляция водных ресурсов для обеспечения населения Добровского сельского поселения. Этого можно добиться путем строительства дополнительных гидротехнических сооружений вблизи Аянского источника для аккумуляции паводковых вод.

ВЫВОДЫ

Численность местного населения и гостей территории со временем будет возрастать, вместе с тем, жилищный фонд, агропромышленный комплекс и производственный потенциал будут

претерпевать значительное наращивание темпов развития. Решение проблемы рационального водопользования имеющихся водных ресурсов для обеспечения водой населения и всех отраслей экономики является одной из важнейших задач современного общества. Решение проблемы рационального водопользования имеющихся водных ресурсов для обеспечения водой населения и всех отраслей экономики является одной из важнейших задач современного общества. Учитывая одну из самых маловодных обеспеченностей в стране, и особенность распределения речного стока и подземных вод, профильным специалистам необходимо решать множество разнообразных задач по обеспечению водными ресурсами население и множество отраслей экономики. В нынешних реалиях особенно актуальной становится задача усовершенствования управления водными ресурсами речного бассейна, путем аккумуляции паводковых вод и эксплуатации водохозяйственных объектов, обеспечивающих подачу воды в населенные пункты Добровского сельского поселения и на прилегающие территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейнов рек Республики Крым. Книга 2. Оценка экологического состояния и ключевые проблемы речных бассейнов, расположенных на территории Республики Крым. - Симферополь, 2017. -115 с.
2. Иванкова Т. В. Современное состояние водообеспеченности Республики Крым и возможные дополнительные источники воды / Т. В. Иванкова // Водоснабжение и санитарная техника. - 2019. -№ 3. -С. 4-11.
3. Подгородецкий П.Д. Крым. Природа - "Таврия". Симферополь, 1988.
4. Меннанов Э. Э. Современные проблемы обеспечения населения Республики Крым качественной питьевой водой / Э. Э.Меннанов, И. Н. Борбот, И. В. Данилович // Экономика строительства и природопользования. -2022. -№ 4(85). -С. 99-105.
5. Аналитический доклад «Целевое состояние водных объектов, расположенных на территории Республики Крым, основные цели и целевые показатели его достижения», Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейнов рек Республики Крым – Москва, ноябрь, 2017 – 52с. [Электронный ресурс]. – Режимдоступа: https://gkvod.rk.gov.ru/uploads/gkvod/attachments/d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/phpXMIgFT_1.pdf
6. Государственная программа "Развития водохозяйственного комплекса Республики Крым на 2017-2020 годы", утверждена постановлением Совета Министров Республики Крым от 22 ноября 2016 г. № 566 с изменениями в ред. от 20 февраля 2017 г. № 87, прилож. 3.[Электронный ресурс]. – Режим

доступа: https://gkvod.rk.gov.ru/uploads/txteditor/gkvod/attachments//d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/phpUzouKy_%E2%84%96826.pdf

7. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды на территории Республики Крым в 2018 г.» - Ставрополь, «Топ-Эксперт», 2024.- 390с.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://meco.rk.gov.ru/uploads/meco/container/2024/08/09/2024-08-09-10-39-11_ДОКЛАД%20за%202023%20год.pdf

8. Захаров, Р.Ю. Проблемные вопросы строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений Крыма / [Текст] / Р.Ю. Захаров, Н.Е. Волкова // Экономика строительства и природопользования. – 2019. - № 1(70) – С.16-24.

9. Общая площадь земель муниципального образования. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst/munst35/DBInet.cgi>

10. Численность населения России, федеральных округов, субъектов Российской Федерации, городских округов, муниципальных районов, муниципальных округов, городских и сельских поселений, городских населенных пунктов, сельских населенных пунктов с населением 3000 человек и более. Итоги Всероссийской переписи населения 2020 года. На 1 октября 2021 года. Том 1. Численность и размещения населения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/vpn/2020/Tom1_Chislennost_i_razmeshchenie_naseleniya

11. Драган Н.А. Почвенные ресурсы Крыма. Научная монография. 2-е изд., доп. – Симферополь: Доля, 2004, 208с.

12. Юдин В.В. Тектоника массива Чатырдаг в Крыму. О положении и истории карстового массива в геодинамической модели. Препринт. LAP LAMBERT Academic Publishin, Saarbrücken, Germany. ISBN 978-3-659-19414-6. Науки о Земле. 2012 – 43 с.

13. Постановление Совета министров Республики Крым от 26 декабря 2017 года N 714 Об утверждении единой схемы водоснабжения и водоотведения Республики Крым (с изменениями на 05 июля 2024 года). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rk.gov.ru/documents/d2040381-6ab0-497a-81f9-338ef6aeef38>

REFERENCES

1. Scheme for the integrated use and protection of water bodies of river basins of the Republic of Crimea. Book 2. Assessment of the environmental status and key problems of river basins located on the territory of the Crimean Republic. - Simferopol, 2017. -115 p.

2. Ivankova T. V. Current state of water supply in the Republic of Crimea and possible additional sources of water / T. V. Ivankova // Water and sanitation. - 2019. -№ 3. -P. 4-11.

3. Podgorodetsky P.D. Crimea. Nature - Simferopol, Tavria. 1988.-225 p.

4. Mennanov E. E. Modern problems of providing the population of the Republic of Crimea with quality drinking water / E. E. Mennanov, I. N. Borbot, I. V. Danilovich // Construction and Environmental Management. -2022. -№ 4(85). -P. 99-105.

5. Analytical report «Target state of water bodies located in the territory of the Republic of Crimea, main objectives and targets for its achievement», Scheme for integrated use and protection of water bodies of river basins of the Republic of Crimea – Moscow, november, 2017 – 52 p. [Electronic resource]. – Access mode: https://gkvod.rk.gov.ru/uploads/gkvod/attachments//d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/phpXMIgFT_1.pdf

6. The state program "Development of the water complex of the Republic of Crimea for 2017-2020", approved by the decision of the Council of Ministers of the Republic of Crimea of 22 November 2016. 566 with changes in the red. of 20 February 2017. 87, Annex 3. [Electronic resource]. – Access mode: https://gkvod.rk.gov.ru/uploads/txteditor/gkvod/attachments//d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/phpUzouKy_%E2%84%96826.pdf

7. Report «On the state and protection of the environment in the territory of the Republic of Crimea in 2018» . - Stavrópol, «Топ-Expert», 2024.- 390 p. [Electronic resource]. – Access mode: https://meco.rk.gov.ru/uploads/meco/container/2024/08/09/2024-08-09-10-39-11_ДОКЛАД%20за%202023%20год.pdf

8. Zaharov, R.U. Problematic issues of construction and operation of hydraulic engineering structures in Crimea / [Text] / R.U. Zaharov, N.E. Volkova // Construction and Environmental Management. – 2019. - № 1(70) – P.16-24.

9. Total area of municipal land. Federal State Statistics Service. [Electronic resource]. – Access mode: <https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst/munst35/DBInet.cgi>

10. Population of Russia, federal districts, constituent entities of the Russian Federation, urban districts, municipal districts, municipal districts, urban and rural settlements, urban settlements, rural settlements with a population of 3,000 people or more. Results of the 2020 All-Russian Population Census. As of 1 October 2021. Volume 1. Population and distribution. [Electronic resource]. – Access mode: https://rosstat.gov.ru/vpn/2020/Tom1_Chislennost_i_razmeshchenie_naseleniya

11. Dragan N.A. Soil resources of Crimea. Scientific monography. 2nd ed. - Simferopol: Dolya, 2004, 208p.

12. Udin V.V. Tectonics of the Chaturdag massif in Crimea. About the position and history of the karst massif in the geodynamic model. Preprints. LAP LAMBERT Academic Publishin, Saarbrücken, Germany. ISBN 978-3-659-19414-6. Earth science. 2012 – 43 p.

Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Crimea of 26 December 2017 N 714 on approval of a common water supply and sanitation scheme of the Republic of Crimea (with changes as of

05 July 2024). [Electronic resource]. – Access mode: <https://rk.gov.ru/documents/d2040381-6ab0-497a-81f9-338ef6aeef38>

FEATURES OF WATER RESOURCES ACCUMULATION SCHEMES FOR ENVIRONMENTALLY SAFE WATER SUPPLY TO THE RURAL POPULATION DOBROE

Vetrova¹ N.M., Ivanenko² T.A., Marunchak³ D. U.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Institute "Academy of Construction and Architecture"
181, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493
E-mail: ¹xaoc.vetrova.03@mail.ru; ²sapronovat@mail.ru

Abstract. In this article, an analysis of the current state of water supply, drainage and increasing number of population of Dobrovo rural settlement. This problem is very topical, because the rapid growth of population, development of the industrial sector, expansion of arable land and management of homesteads in this territory forces to increase the need for water resources, which every year increasingly, there is a lack of sufficient resources to support local industry, agriculture and the comfort of life for the local population. The increasing number of inhabitants in each locality of Dobrovo rural settlement, geological features of this territory were analyzed and possible water sources were identified. In this context, conclusions were drawn on the need for water resource accumulation processes for water supply of the population of Volovo rural settlement, as without this aspect it is impossible to fully develop the territory and develop new nearby lands.

Materials and methods: the work is based on the possibilities and necessity of engineering solutions for water storage for water supply of population of Dobrovo rural settlement, which is located in the middle part of Crimea within the pre-mountain climatic area, which is characterized by warm, but relatively dry climate.

The research presented is based on traditional methods: analysis, systematization, synthesis of published and stock materials, cartographic and mathematical modelling, systems analysis, cartographic and computer technologies.

Results: based on actual and projected water supply volumes, as well as the expected pace of construction of water treatment plants, it can be concluded that additional water resources are needed to provide for the population of the Dovodsk rural settlement. This can be achieved by building additional water engineering facilities near the Ayansky spring for flood water storage.

Conclusions: the population and visitors of the territory will increase over time, while the housing stock, agro-industrial complex and productive capacity will be greatly increased. The problem of managing water resources to supply the population and all sectors of the economy is one of the most important tasks of modern society. Given one of the lowest water resources in the country, and the peculiarity of the distribution of river flow and groundwater, professionals need to solve many different tasks for providing water resources to the population and many sectors of the economy. In the current realities, the improvement of river basin water resources management through flood water accumulation and exploitation of water facilities is particularly urgent

Key words: water supply, water treatment, population growth, increasing consumption of water resources, water storage, water sources, reservoirs, rivers.

УТИЛИЗАЦИЯ ОПАСНЫХ ШЛАМОВ ЛИТИФИКАЦИЕЙ ОПОКАМИ

Вурдова Н.Г., Куликова Е.Ю.

НИТУ «МИСиС»,
Москва, Ленинский проспект, 4,
e-mail: nadya_vurdova@mail.ru, fragranet@mail.ru

Аннотация. В современных технологиях водоочистки сорбционные методы играют ключевую роль, позволяя удалять токсичные компоненты из сточных вод. Наиболее часто используемым адсорбентом является активированный уголь, однако его высокая стоимость и сложность утилизации ограничивают применение в процессах с большой водоёмкостью. Природные дисперсные кремнеземы, такие как опока, представляют собой эффективную и экологически безопасную альтернативу. Настоящая статья посвящена изучению безопасного способа утилизации отработанного адсорбента на основе кремнезема методом литификации. Приводятся результаты анализа химического состава отработанных материалов, механизма капсулирования токсичных компонентов и их последующего использования в качестве вторичного материального ресурса (ВМР). Для повышения эффективности опоки как сорбента или компонента в процессах утилизации отходов, можно использовать различные добавки. Эти добавки улучшают сорбционные, механические и химические свойства материала. Рассматриваются международные подходы к решению данной задачи. Приводятся сравнительные данные с другими способами утилизации.

Предмет исследования: методы утилизации отработанных адсорбентов после очистки сточных вод. Исследование направлено на разработку экологически безопасного способа утилизации отработанного адсорбента на основе дисперсных кремнезёмов отечественных месторождений, с акцентом на использование метода литификации для нейтрализации токсичных компонентов и получения вторичных материальных ресурсов.

Материалы и методы. Исследования проводились с опоками, Каменноржского месторождения, Астраханской области. Применялись как аналитические, так и расчетные методы, основанные на использовании формул процессов реагентного капсулирования. Расчетным методом определен класс опасности литифицированных образцов.

Результаты. Установлено, что дисперсные кремнеземы, в том числе опоки, широко применяются в качестве сорбционного материала для извлечения ионов тяжелых металлов, нефтепродуктов и других опасных экотоксикантов. Для повышения эффективности используются различные добавки, в частности, оксиды и гидроксиды щелочных и щелочноземельных металлов. Определен химический состав отработанного адсорбента и подобрана оптимальная рецептура компонентов смеси для снижения класса опасности отхода.

Выводы. Метод литификации позволяет эффективно утилизировать отработанный адсорбент, инкапсулируя токсичные компоненты в стабильных карбонатных и силикатных оболочках. Литифицированный материал может быть использован в строительной отрасли, для отсыпки дорог, котлованов, что снижает экологическую нагрузку и соответствует принципам устойчивого развития.

Ключевые слова: дисперсные кремнеземы, опока, сорбционная очистка сточных вод, утилизация адсорбента, литификация, сточные воды, вторичный материальный ресурс.

ВВЕДЕНИЕ

Вода - ключевой ресурс для всех отраслей промышленности и сельского хозяйства. Однако загрязнение водоемов сточными водами, содержащими нефтепродукты, тяжелые металлы и органические токсиканты, остается одной из наиболее серьезных экологических проблем XXI века. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), более 80% сточных вод в развивающихся странах сбрасываются в окружающую среду без очистки. Из доклада Минприроды «О состоянии и об охране окружающей среды РФ в 2022 году» следует, что основное потребление воды и ее загрязнение связаны с энергетикой и сельским хозяйством. Однако добыча полезных ископаемых (кроме нефти и газа) и металлургическая отрасли являются следующим крупнейшим как потребителем, так и наиболее сильным загрязнителем водных ресурсов: более 2 900 млн.м³ в год забирается из различных источников (без учета шахтно-рудничных вод), а сбрасывается в поверхностные водоемы более 1 900

млн.м³ стоков и половина из них без очистки. Поэтому вопросы рационального использования водных ресурсов весьма актуальны для предприятий отрасли.

Одним из наиболее эффективных способов очистки воды является сорбционный метод с использованием природных и искусственных адсорбентов. Наиболее распространенным материалом считается активированный уголь, обладающий высокой сорбционной способностью [1,2]. Однако его применение ограничивается высокой стоимостью и сложностью регенерации. В последние годы значительное внимание уделяется альтернативным природным адсорбентам, таким как дисперсные кремнеземы. Эти материалы отличаются доступностью, низкой стоимостью и достаточно высокой сорбционной емкостью, что делает их привлекательными для очистки сточных вод в больших объемах, о чем сообщается в работах как отечественных [3-5], так и зарубежных авторов [6-8]. Кроме того, опоки используются при литификации опасных шламов, содержащих тяжелые металлы и нефтепродукты.

Целью данной статьи является разработка экологически безопасного способа утилизации отработанного адсорбента на основе дисперсных кремнеземов отечественных месторождений, с акцентом на использование метода литификации для нейтрализации токсичных компонентов и получения вторичных материальных ресурсов.

Постановка задачи исследования. Для повышения эффективности опоки как сорбента или компонента в процессах утилизации отходов, можно использовать различные добавки. Эти добавки улучшают сорбционные, механические и химические свойства материала. Однако выбор добавок как правило, зависит от состава обрабатываемых отходов и конечных целей, например, минимизация класса опасности или подготовка к повторному использованию в качестве вторичного материального ресурса (ВМР) [19, 20].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Из проведенного сравнительного анализа международного опыта следует, что литификации опасных отходов с использованием извести и дисперсных кремнеземов (опоки, диатомитов, трепела) является достаточно распространенной практикой. В частности, в странах ЕС метод литификации часто применяется для нейтрализации отходов горнодобывающей отрасли. Например, в [9] подробно ознакомиться с исследованиями, проведенные Институтом устойчивых технологий (Германия), которые подтверждают эффективность этого подхода для инкапсуляции тяжелых металлов и других опасных ингредиентов.

Авторами [10] получены удовлетворительные результаты по литификации промышленных шламов, содержащих ионы тяжелых металлов: Pb²⁺ - 120 мг/кг, Zn²⁺ - 95 мг/кг, Cr³⁺ - 85 мг/кг, нефтепродукты - 40 000 мг/кг, влажностью 35%. Использовалась смесь опоки и оксида кальция (СаО) в соотношении 1:0,8. Добавлялось 20% воды для гашения извести. После литификации

проводилась сушка при температуре 60 °С для стабилизации капсул. После обработки отходы классифицированы как неопасные (класс опасности V по международной классификации ЕС, Директива 2008/98/ЕС.); концентрация тяжелых металлов в водных вытяжках снизилась до <0,1 мг/л.

В исследовании [11] путем литификации нефтесодержащих шламов получен ВМР для изготовления бетонных блоков. В составе отхода присутствовали: полярные углеводороды - 150 000 мг/кг, тяжелые металлы: Ni²⁺ - 45 мг/кг, Cd²⁺ - 28 мг/кг, Cu²⁺ - 38 мг/кг; большое количество сульфидов и сернистых соединений - 12000 мг/кг. Смесь опоки и кальция (1:1) применялась для стабилизации шлама. Образцы смешивались с водой и подвергались механическому перемешиванию для увеличения контакта. Через 48 часов реакция завершалась, и образцы сушились на воздухе. После обработки отходы были отнесены к IV классу опасности. Уровень вымываемости тяжелых металлов снизился на 95%, углеводородов - на 98%.

При литификации золы уноса (состав отхода: тяжелые металлы: Hg²⁺ - 12 мг/кг, As³⁺ - 30 мг/кг, Pb²⁺ - 50 мг/кг; кремнезема 40% состава золы; остаточная сера: 15%) авторами [12] получен ВМР, который применили в дорожном строительстве. В составе золы уже присутствовал кремнезем, что позволило минимизировать добавление опоки. Соотношение опока : оксид кальция составляло 0,5:1. В смесь добавлялось до 25% воды, после окончания реакции осуществлялась сушка при 80 °С для достижения полной стабилизации. Класс опасности отходов снизился с III до IV. Концентрация ртути (Hg²⁺) в вытяжке уменьшилась до 0,05 мг/л, что соответствует стандартам Китая (GB/T 5085.3-2007).

В исследованиях [13, 14] получены данные по применению дисперсных кремнеземов для обезвреживания шламов от процессов обогащения руд. В таблицах 1 и 2 представлены отдельные результаты.

Таблица 1. Обезвреживание шламов обогащения руд

Table 1. Decontamination of ore dressing sludge

Параметр	До обработки	После обработки (опока)	Снижение (%)
Ионы свинца (Pb ²⁺), мг/л	15,2	0,8	94,7
Ионы цинка (Zn ²⁺), мг/л	42,5	3,1	92,7
Ионы меди (Cu ²⁺), мг/л	12,3	0,9	92,7
Общая токсичность (ЛК ₅₀)*, %	45	5	88,9

*ЛК₅₀ – летальная концентрация 50% для водных организмов.

Таблица 2. Обработка хвостов обогащения

Table 2. Treatment of tailings

Параметр	До обработки	После обработки (опока)	Снижение (%)
Ионы кадмия (Cd ²⁺), мг/л	8,6	0,4	95,3
Ионы мышьяка (As ³⁺), мг/л	11,5	0,7	93,9
Токсичные органические соединения, мг/л	25,3	1,2	95,3
Остаточные ценные металлы (Au), мг/л	0,9	0,3	66,7

Представленные примеры, основанные на зарубежных сорбентах, демонстрируют гибкость применения опоки для литификации отходов, где состав исходных материалов и методы обработки определяют конечный класс опасности и возможное повторное использование.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Опока, используемая в данном исследовании, представляет собой природный материал, состоящий более чем на 80% из кремнезема (SiO_2). Каменноярская опока (Астраханская область, Россия) была выбрана в качестве основного объекта исследования благодаря высоким адсорбционным и фильтрующим свойствам [15].

Основные физико-химические характеристики исследуемого материала: удельная поверхность - 91,41-158,66 $\text{м}^2/\text{г}$; суммарный объем пор - 1,31 $\text{см}^3/\text{г}$; средний диаметр пор - 9,5 нм.

Метод очистки сточных вод. Для очистки сточных вод использовалась адсорбционная технология, основанная на пропускании воды через фильтрующую загрузку из опоки. Эксперименты проводились на реальных образцах сточных вод, содержащих тяжелые металлы (Zn, Cu, Cr) и нефтепродукты.

Утилизация отработанного адсорбента. Для утилизации отработанной опоки применялся метод литификации [16,17]. Основная цель - инкапсулировать токсичные вещества, предотвращая их вымывание в окружающую среду, и подготовить материал для повторного использования. Процесс включал следующие этапы: 1) добавление оксида кальция (CaO) и воды; 2) проведение экзотермической реакции с образованием гидроксида кальция (Ca(OH)_2); 3) инкапсуляция токсичных компонентов в карбонатных и силикатных оболочках.

Для повышения эффективности опоки как сорбента или компонента в процессах утилизации отходов, можно использовать различные добавки. Эти добавки улучшают сорбционные, механические и химические свойства материала. Наиболее распространенными являются:

Щелочные добавки, кроме негашеной извести это могут быть гидроксид натрия (NaOH) или калия (KOH). Добавление этих компонентов повышает скорость литификации за счет более интенсивных экзотермических реакций; увеличивает инкапсуляцию ионов тяжелых металлов, образуя нерастворимые гидроксиды и карбонаты; снижает подвижность металлов в литифицированных отходах.

Органические полимеры: полиакриламид, катионные полиэлектролиты, полиэтиленгликоль. Внесение компонентов увеличивает механическую прочность капсул, формируемых в процессе литификации; снижает вероятность вымывания токсичных веществ в окружающую среду;

улучшают адгезию между частицами опоки и капсулирующим материалом.

Внесение гидрофобизирующих добавок, таких как технические жиры, воски, парафины, снижают водопроницаемость литифицированного материала, увеличивают устойчивость капсул в условиях высокой влажности.

Зола и отходы ТЭЦ при составлении литифицирующих смесей увеличивают механическую прочность конечного продукта; способствуют упрочнению капсул за счет взаимодействия кремнезема с щелочами и образования силикатов кальция; снижают стоимость обработки, так как эти добавки часто являются отходами.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ), неионогенные или катионные ПАВ, такие как Triton X-100, аммониевые соли при внесении в смесь улучшают взаимодействие опоки с органическими загрязнителями, особенно с углеводородами; повышают степень адсорбции сложных органических соединений, таких как ПАВ и масла.

Добавки минеральных модификаторов: бентонитов, цеолитов, глины повышают сорбционную способность благодаря своей пористой структуре; обеспечивают дополнительную устойчивость к вымыванию токсичных компонентов.

Практическая комбинация тех или иных добавок позволяет добиться максимальной эффективности. Например, сочетание CaO и золы улучшает прочностные характеристики капсулированных металлов, а добавление наноматериалов и ПАВ повышает сорбционную способность опоки к органическим загрязнителям [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Сорбционная емкость опоки. Эксперименты показали, что опока эффективно удаляет из сточных вод тяжелые металлы и нефтепродукты. Максимальная сорбционная емкость для меди (Cu^{2+}) составила 30 $\text{мг}/\text{г}$, для цинка (Zn^{2+}) - 35 $\text{мг}/\text{г}$. Эффективность удаления нефтепродуктов из сточных вод достигала 97%, что сопоставимо с характеристиками активированного угля.

Химический состав отработанного адсорбента. Химический анализ показал наличие в отработанной опоке тяжелых металлов и углеводов. Основные результаты приведены в таблице 3.

Процесс литификации. В ходе процесса литификации образовывались стабильные капсулы из карбоната и силиката кальция. Эксперименты показали, что оптимальное соотношение оксида кальция и опоки составляет 1:1, 0,9:1. Образцы с этим соотношением демонстрировали наилучшую механическую прочность и минимальную вымываемость загрязнителей. На рис.1. представлена фотография литифицированного образца, который представляет собой рассыпчатую, порошкообразную, сухую смесь.

Таблица 3. Химический состав отработанного адсорбента
Table 3. Chemical composition of spent adsorbent

Компонент	Содержание, мг/кг
SiO ₂	781 100
CaO	35 600
Fe ₂ O ₃	33 612
Zn ²⁺	109
Cr ³⁺	102
Cu ²⁺	61
Нефтепродукты	57 230

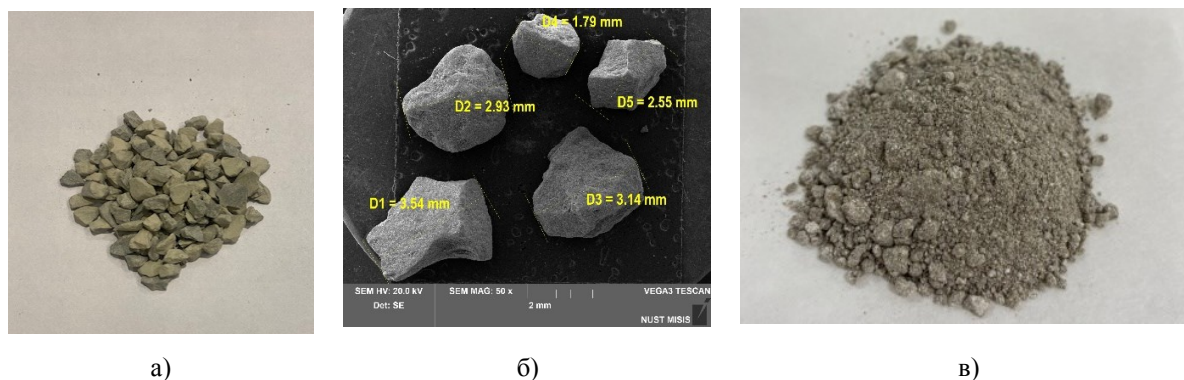


Рис.1. Адсорбент для очистки сточных вод: а) исходный материал; б) его микрофотография; в) литифицированный образец отработанного адсорбента

Fig.1. Adsorbent for wastewater treatment: a) initial material; b) its microphotography; c) lithified sample of spent adsorbent

Экологическая безопасность. Для оценки экологической безопасности литифицированных образцов проводились тесты на вымываемость. Концентрации тяжелых металлов и углеводов в водных вытяжках находились значительно ниже предельно допустимых значений, установленных ГОСТ 30772-2001. Расчет класса опасности, выполненный согласно методике для оценки «Критериев отнесения опасных отходов к классам опасности для окружающей природной среды» показал, что отработанный адсорбент относится к III опасности, а после проведенной литификации стал IV класса, его показатель степени опасности $K_i = 41,9$.

Эти данные подчеркивают эффективность опки в снижении концентрации тяжелых металлов и органических загрязнителей, что делает шламы менее опасными для окружающей среды и пригодными для дальнейшего использования.

Кроме метода литификации возможны другие способы обезвреживания промышленных отходов [21-24]. На рис.2 представлен анализ известных способов по таким показателям, как стоимость обработки, эффективность извлечения пиллюантов, а также авторская экспертная оценка по коэффициенту экологической безопасности, КЭБ, учитывающему совокупность факторов (затраты электроэнергии, воды, реагентов, возможность повторного использования в качестве ВМР).

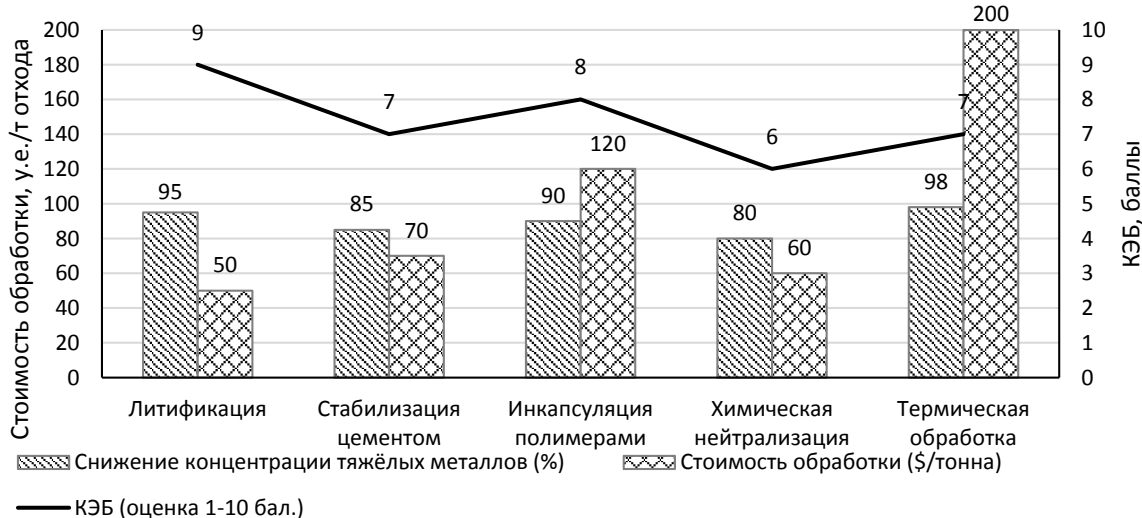


Рис.2. Сравнение методов обезвреживания промышленных отходов, содержащих тяжелые металлы
Fig.2. Comparison of methods for neutralization of industrial waste containing heavy metals

Из данных рис.2 можно отметить достаточно высокую эффективность применения опоки в процессах литификации (до 95% по ионам тяжелых металлов), а стоимость обработки является самой низкой из анализируемых методов. При этом полученный в нашем исследовании класс опасности обработанного образца позволяет рекомендовать полученный материал, как технический грунт для на месте образования отхода, например, на руднике, вместо вывоза на полигон для промышленных отходов.

ВЫВОДЫ

Дисперсные кремнеземы, такие как опока, являются экономически выгодными и экологически безопасными адсорбентами для очистки сточных вод в больших объемах.

Метод литификации позволяет эффективно утилизировать отработанный адсорбент, инкапсулируя токсичные компоненты в стабильных карбонатных и силикатных оболочках. Литифицированный материал может быть использован в строительной отрасли, для отсыпки дорог, котлованов, что снижает экологическую нагрузку и соответствует принципам устойчивого развития.

Международный опыт подтверждает высокую применимость технологии для решения задач водоочистки и утилизации отходов.

В дальнейшем планируется изучение модифицированных добавок, таких как гидрофобизаторы и активированные кремнеземы, для повышения стабильности и функциональности литифицированных продуктов. Также актуально проведение технико-экономического анализа для масштабирования технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Когановский, А. М., Клименко Н. А., Левченко Т. М., Рода И. Г. Адсорбция органических веществ из воды. Л.: Химия, 1990. 256 с.
2. Amari A, Noreen A, Osman H, Sammen S S, Al-Ansari N and Salman HM (2023). Investigation of the viable role of oil sludge-derived activated carbon for oily wastewater remediation. *Front. Environ. Sci.* 11:1138308. doi: 10.3389/fenvs.2023.1138308.
3. A. K. Strelkov, P. G. Bykova, M. A. Gridneva. Filtration materials of natural origin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. V. 962. №. 2. P. 022-038.
4. Климов Е. С., Бузаева М. С. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод. Ульяновск: УлГТУ, 2011. 201 с.
5. Убаскина Ю. А., Коростелева Ю. А. Исследование возможности практического применения диатомита для очистки сточных вод // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №7. С.92-96. DOI: 10.12737/article_5940f0199950b7.10091901.
6. Mullick A, Neogi S. Ultrasound assisted synthesis of Mg-Mn-Zr impregnated activated carbon

for effective fluoride adsorption from water. // *Ultrasonics - Sonochemistry*. 2019;50:126-137. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2018.09.010.

7. Pytka-Woszczyło A, Różańska-Boczula M, Gizińska-Górna M, Marzec M, Listosz A, Józwiakowski K. Efficiency of Filters Filled with Rockfos for Phosphorus Removal from Domestic Sewage. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2022;16(4):176-188. doi:10.12913/22998624/152527.

8. Shrestha, R.; Ban, S.; Devkota, S.; Sharma, S.; Joshi, R.; Tiwari, A.P.; Hak, Y.K.; Joshi, M. K. Technological trends in heavy metals removal from industrial wastewater. *J. Environ. Chem. Eng.* 2021, 9, 105688.

9. Boelsing, F. Remediation of toxic waste sites – DCR technology in the field of immobilization and fixation of hazardous compounds. Hannover, Germany: Ministry of Economics, Technology and Traffic, Federal Republic of Germany.1988.

10. Shiqing Gu, Xiaonan Kang, Lan Wang, Eric Lichtfouse, Chuanyi Wang. Clay mineral adsorbents for heavy metal removal from wastewater: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 2019, 17 (2), pp.629-654. 10.1007/s10311-018-0813-9. hal-02142607.

11. Tran Huyen Vu, Nadarajah Gowripala. Mechanisms of Heavy Metal Immobilisation using Geopolymerisation Techniques. // *Journal of Advanced Concrete Technology*, 2018, Volume 16, Issue 3, pp. 124-135. <https://doi.org/10.3151/jact.16.124>,

12. Katri Piekari, Hoang Nguyen, Katja Kilpimaa, Mirja Illikaine., Ladle slag-based binder for the solidification/stabilization of heavy-metal-rich industrial waste // *Journal of Environmental Management*, V. 367, 2024,121956, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121956>.

13. D. Boriskov., S. Efremova, N. Komarova, E. I. Tikhomirova, A. Bodrov. (2021). Applicability of the modified diatomite for treatment of wastewater containing heavy metals. *E3S Web Conf.*, 247 (2021) 01052. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124701052>

14. ElSayed, E. E. (2018). Natural diatomite as an effective adsorbent for heavy metals in water and wastewater treatment (a batch study). // *Water Science*, 32(1), pp. 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2018.02.001>.

15. Вурдова Н. Г. Исследование применения дисперсных кремнеземов для сорбционной очистки сточных вод // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. -2024. №2(95). -С.126-133.

16. El-Eswed, B. I., Yousef, R. I., Alshaaer, M., Hamadneh, I., Al-Gharabli, S. I., Khalili, F., (2015). Stabilization/solidification of heavy metals in kaolin/zeolite based geopolymers. *International Journal of Mineral Processing*, 137, 34-42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.minpro.2015.03.002>.

17. Рудник М. И., Гаврилов Ю. Л., Резанова Е. Е. Технологии и оборудование ТЭК: Технологически-аппаратурные условия создания и применения комплексной переработки опасных отходов с использованием технологии «DCR процесс» // Экологический вестник России. 2012. №2. С. 36-43.
18. Шпинькова М. С., Мещеряков С. В. Реагентное капсулирование нефтяных отходов с применением конечных продуктов технологии в качестве товарной продукции // Экология и промышленность России. 2013. № 12. С. 20–23.
19. Bayar, S., Talinli, İ. Solidification/stabilization of hazardous waste sludge obtained from a chemical industry. *Clean Techn Environ Policy* 15, 157–165 (2013). <https://doi.org/10.1007/s10098-012-0494-1>
20. Falayi, T. Sustainable solidification of ferrochrome slag through geopolymerisation: a look at the effect of curing time, type of activator and liquid solid ratio. // *Sustain Environ. Res*/ 29, 21 (2019). <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0022-7>.
21. Boelsing, F. Remediation of toxic waste sites – DCR technology in the field of immobilization and fixation of hazardous compounds. Hannover, Germany: Ministry of Economics, Technology and Traffic, Federal Republic of Germany.1988.
22. Shiqing Gu, Xiaonan Kang, Lan Wang, Eric Lichtfouse, Chuanyi Wang. Clay mineral adsorbents for heavy metal removal from wastewater // *Environmental Chemistry Letters*, 2019, 17 (2), pp.629-654. 10.1007/s10311-018-0813-9. hal-02142607.
23. Tran Huyen Vu, Nadarajah Gowripalan, Mechanisms of Heavy Metal Immobilization using Geopolymerisation Techniques. // *Journal of Advanced Concrete Technology*, 2018, Volume 16, Issue 3, pp 124-135. <https://doi.org/10.3151/jact.16.124/>
24. Bin Guo, Bo Liu, Jian Yang, Shengen Zhang, The mechanisms of heavy metal immobilization by cementitious material treatments and thermal treatments. // *Journal of Environmental Management*, V. 193, 2017, pp 410-422, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.026>.
5. Ubaskina Yu. A., Korosteleva Yu. A. Study of the possibility of practical application of diatomite for wastewater treatment // *Vestnik BSTU named after V.G. Shukhov*. 2017. №7. С.92-96. DOI: 10.12737/article_5940f0199950b7.10091901.
6. Mullick A, Neogi S. Ultrasound assisted synthesis of Mg-Mn-Zr impregnated activated carbon for effective fluoride adsorption from water. // *Ultrasonics - Sonochemistry*. 2019;50:126-137. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2018.09.010.
7. Pytka-Woszczyło A, Różańska-Boczula M, Gizińska-Górna M, Marzec M, Listosz A, Józwiakowski K. Efficiency of Filters Filled with Rockfos for Phosphorus Removal from Domestic Sewage. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2022;16(4):176-188. doi:10.12913/22998624/152527.
8. Shrestha, R.; Ban, S.; Devkota, S.; Sharma, S.; Joshi, R.; Tiwari, A.P.; Hak, Y.K.; Joshi, M. K. Technological trends in heavy metals removal from industrial wastewater. *J. Environ. Chem. Eng.* 2021, 9, 105688.
9. Boelsing, F. Remediation of toxic waste sites – DCR technology in the field of immobilization and fixation of hazardous compounds. Hannover, Germany: Ministry of Economics, Technology and Traffic, Federal Republic of Germany.1988.
10. Shiqing Gu, Xiaonan Kang, Lan Wang, Eric Lichtfouse, Chuanyi Wang. Clay mineral adsorbents for heavy metal removal from wastewater: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 2019, 17 (2), pp.629-654. 10.1007/s10311-018-0813-9. hal-02142607.
11. Tran Huyen Vu, Nadarajah Gowripala. Mechanisms of Heavy Metal Immobilisation using Geopolymerisation Techniques. // *Journal of Advanced Concrete Technology*, 2018, Volume 16, Issue 3, pp. 124-135. <https://doi.org/10.3151/jact.16.124>,
12. Katri Piekari, Hoang Nguyen, Katja Kilpimaa, Mirja Illikaine., Ladle slag-based binder for the solidification/stabilization of heavy-metal-rich industrial waste // *Journal of Environmental Management*, V. 367, 2024,121956, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121956>.
13. D. Boriskov., S. Efremova, N. Komarova, E. I. Tikhomirova, A. Bodrov. (2021). Applicability of the modified diatomite for treatment of wastewater containing heavy metals. *E3S Web Conf.*, 247 (2021) 01052. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124701052>
14. ElSayed, E. E. (2018). Natural diatomite as an effective adsorbent for heavy metals in water and wastewater treatment (a batch study) // *Water Science*, 32(1), pp. 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2018.02.001>.
15. Vurdova N. G. Research of dispersed silica application for sorption treatment of wastewater // *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*. -2024. №2(95). -P.126-133.

REFERENCES

16. El-Eswed, B. I., Yousef, R. I., Alshaaer, M., Hamadneh, I., Al-Gharabli, S. I., Khalili, F., (2015). Stabilization/solidification of heavy metals in kaolin/zeolite based geopolymers. *International Journal of Mineral Processing*, 137, 34-42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.minpro.2015.03.002>.
17. Rudnik M. I., Gavrilov Y. L., Rezanova E. E. Technologies and equipment of fuel and energy complex: Technological and hardware conditions for the creation and application of complex processing of hazardous waste using the technology "DCR process" // *Ecological Bulletin of Russia*. -2012. №2. - p. 36-43.
18. Shpinkova M. S., Meshcheryakov S. V. Reagent encapsulation of oil wastes with the use of end products of the technology as a marketable product reagent encapsulation of oil wastes with application of end products of the technology as marketable products // *Ecology and Industry of Russia*. - 2013. № 12. -p. 20-23.
19. Bayar, S., Talinli, İ. Solidification/stabilization of hazardous waste sludge obtained from a chemical industry. *Clean Techn Environ Policy* 15, 157–165 (2013). <https://doi.org/10.1007/s10098-012-0494-1>
20. Falayi, T. Sustainable solidification of ferrochrome slag through geopolymerisation: a look at the effect of curing time, type of activator and liquid solid ratio. // *Sustain Environ. Res* 29, 21 (2019). <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0022-7>.
21. Boelsing, F. Remediation of toxic waste sites – DCR technology in the field of immobilization and fixation of hazardous compounds. Hannover, Germany: Ministry of Economics, Technology and Traffic, Federal Republic of Germany.1988.
22. Shiqing Gu, Xiaonan Kang, Lan Wang, Eric Lichtfouse, Chuanyi Wang. Clay mineral adsorbents for heavy metal removal from wastewater // *Environmental Chemistry Letters*, 2019, 17 (2), pp.629-654. [10.1007/s10311-018-0813-9](https://doi.org/10.1007/s10311-018-0813-9). hal-02142607.
23. Tran Huyen Vu, Nadarajah Gowripalan, Mechanisms of Heavy Metal Immobilization using Geopolymerisation Techniques. // *Journal of Advanced Concrete Technology*, 2018, Volume 16, Issue 3, pp 124-135. <https://doi.org/10.3151/jact.16.124>,
24. Bin Guo, Bo Liu, Jian Yang, Shengen Zhang, The mechanisms of heavy metal immobilization by cementitious material treatments and thermal treatments. // *Journal of Environmental Management*, V. 193, 2017, pp 410-422, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.026>.

DISPOSAL OF HAZARDOUS SLUDGE BY LITHIFICATION WITH OPOKA

Vurdova N.G., Kulikova E.Yu.

National University of Science and Technology «MISiS»,
Moscow, Russia, Leninski av.,4
e-mail: nadya_vurdova@mail.ru, fragranet@mail.ru

Annotation. In modern water treatment technologies, sorption methods play a key role in removing toxic components from wastewater. The most commonly used adsorbent is activated carbon, but its high cost and difficulty of disposal limit its use in water-intensive processes. Natural dispersed silica, such as opoka, provides an efficient and environmentally friendly alternative. The present paper is devoted to the study of a safe method of utilization of spent silica-based adsorbent by lithification method. The results of the analysis of the chemical composition of spent materials, the mechanism of encapsulation of toxic components and their subsequent use as a secondary material resource (SMR) are given. Various additives can be used to improve the effectiveness of opoka as a sorbent or component in waste management processes. These additives improve the sorption, mechanical and chemical properties of the material. International approaches to this task are reviewed. Comparative data with other disposal methods are given.

Subject: methods of utilization of spent adsorbents after wastewater treatment. The research is aimed at developing an environmentally safe method of utilization of spent adsorbent based on dispersed silica from domestic deposits, with an emphasis on the use of lithification method to neutralize toxic components and obtain secondary material resources.

Materials and methods. Both analytical and calculated methods based on the use of heat transfer processes were used.

Results. It has been established that dispersed silica, including opoks, are widely used as sorption materials for the extraction of heavy metal ions, oil products and other dangerous ecotoxicants. Various additives, in particular, oxides and hydroxides of alkali and alkaline-earth metals are used to increase efficiency. The chemical composition of spent adsorbent was determined and the optimal formulation of mixture components was selected to reduce the hazard class of the waste.

Conclusions. Lithification method allows efficient utilization of spent adsorbent, encapsulating toxic components in stable carbonate and silicate shells. The lithified material can be used in the construction industry, for backfilling roads, excavations, which reduces the environmental load and complies with the principles of sustainable development.

Key words: dispersed silica, opoka, sorption wastewater treatment, adsorbent utilization, lithification, wastewater, secondary material resource.

СПИСОК АВТОРОВ

- Абдурахманов Р.Н. обучающийся, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Бекиров Э.А. д.т.н., профессор, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
- Богущая А.Ю. Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Ветрова Н.М. д.т.н., профессор, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского
- Вурдова Н.Г. аспирант, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва
- Зайченко Н.М. д.т.н., профессор, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка
- Знайкина В.Г. обучающийся, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Иваненко Т.А. к.т.н., Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Каркищенко Я.И. Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Кирдяшкин А.В. обучающийся, Национальный исследовательский университет "МЭИ", г. Москва
- Клевец К.А. к.т.н., Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Когай Э.А. аспирант, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Куликова Е.Ю. д.т.н., профессор, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва
- Лахтарина Н.Н. обучающийся, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка
- Лахтарина С.В. к.т.н., Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка
- Литвинова Э.В. к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Макарова Е.С. к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь.
- Макеев А.Н. к.т.н., доцент, Национальный исследовательский университет "МЭИ", г. Москва
- Максименко А.Е. к.п.д., доцент, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь
- Марунчак Д.Ю. обучающийся, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Олехнович Я.А. старший преподаватель, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург
- Пчельников В.Н. кандидат архитектуры, доцент, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
- Радаев А.Е. Санкт-петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург
- Редзанова Н.М. обучающийся, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Свищ И.С. к.т.н., доцент, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь.
- Сидорова В.В. кандидат архитектуры, доцент, Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь
- Стрелкова А.В. Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь.
- Федоркин С.И. д.т.н., Крымский федеральный университет им. Вернадского, г. Симферополь.
- Чемодуров В.Т. д.т.н., профессор Академии строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского,

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://stroyjurnal-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 сканированным 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 B5 (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.