

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*Филиал ФГБУ "ЦНИИП Минстроя России" Дальневосточный научно  
- исследовательский, проектно-конструкторский и технологический  
институт по строительству*

**«ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО НА  
ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ»**

VIII Всероссийская научно-практическая конференция

(Владивосток, 7-12 августа 2023 года)

*Материалы конференции*



**ДАЛЬНИИС**

Владивосток  
2023

**УДК 378.14**

Инженерное дело на Дальнем Востоке России: Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции. Владивосток: ВУЦ ДВФУ. 2023. - 249 с.

В издании представлены материалы докладов участников VIII Всероссийской научно-практической конференции «Инженерное дело на Дальнем Востоке России», состоявшейся во Владивостоке 7-12 августа 2023 года.

ISBN 978-5-90363-186-5

Под редакцией д.т.н. Федюка Р.С. и чл.-корр. РААСН, д.т.н. Вавренюк С.В.

© ДВФУ, 2023



### ***Уважаемые участники конференции!***

7-12 августа 2023 г. Военный учебный центр и Политехнический институт Дальневосточного федерального университета провели VIII Всероссийскую научно-практическую конференцию: «Инженерное дело на Дальнем Востоке России».

В конференции приняли очное участие ученые из МГСУ (г. Москва), ВСГУТУ (г. Улан-Удэ), БрГУ (г. Братск), ДВФУ (г. Владивосток), ДальНИИС (г. Владивосток) и заочное участие - десятки ученых со всей России.

Первая конференция, проведенная нами в апреле 2017 года, дала хороший практический опыт её участникам в проведении научных исследований и оформлении их результатов, в подготовке тезисов докладов и презентаций, в выступлении перед аудиторией. Выражаю уверенность, что мы продолжим начатую работу, и в дальнейшем проведение конференции «Инженерное дело на Дальнем Востоке России» станет ежегодным событием для российской науки и привлечет участников из всех регионов России.

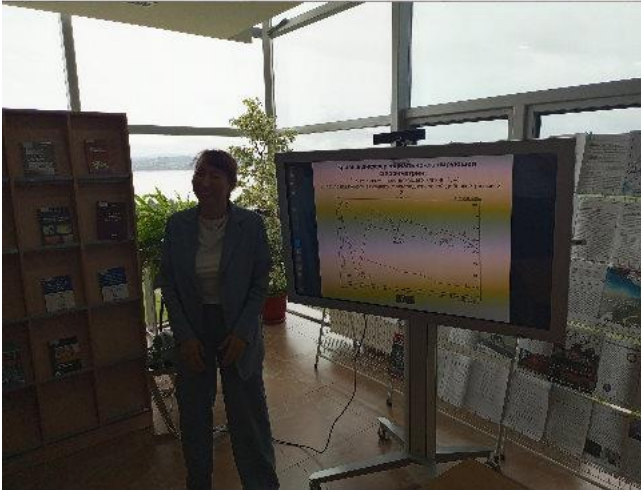
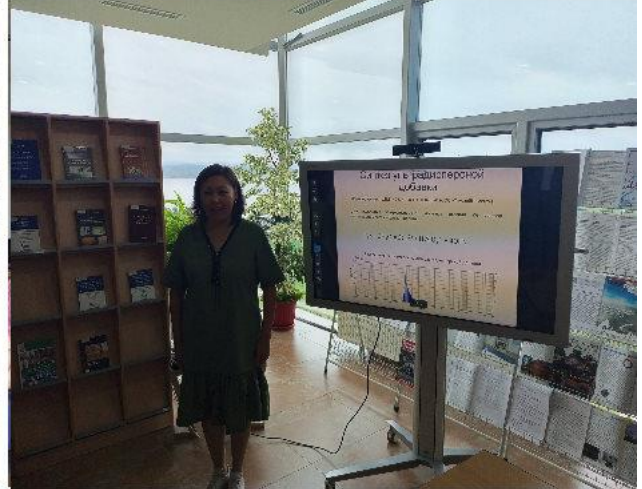
***С уважением,  
профессор военного учебного центра при ДВФУ  
доктор технических наук  
член-корреспондент Российской инженерной академии  
советник РААСН  
полковник Федюк Роман Сергеевич***

### Научный комитет

Беккер Александр Тевьевич, д.т.н., профессор, академик РААСН, научный руководитель Политехнического института ДВФУ	+7(914) 791-00-72 <a href="mailto:bekker.at@dvfu.ru">bekker.at@dvfu.ru</a>
Вавренюк Светлана Викторовна, д.т.н., член-корреспондент РААСН, заместитель директора по научной работе ДальНИИС	+7(914) 697-48-25 <a href="mailto:svvn59@mail.ru">svvn59@mail.ru</a>
Федюк Роман Сергеевич, д.т.н., доц., профессор ВУЦ при ДВФУ	+7(950) 281-79-45 <a href="mailto:roman44@yandex.ru">roman44@yandex.ru</a>
Ткач Евгения Владимировна, д.т.н., проф., профессор кафедры строительного материаловедения МГСУ	+7(495) 781-80-07 <a href="mailto:kanz@mgsu.ru">kanz@mgsu.ru</a>
Петропавловская Виктория Борисовна д.т.н., проф., профессор кафедры ПСК Тверского государственного технического университета	+7(910) 936-15-43 <a href="mailto:victoriapetrop@gmail.com">victoriapetrop@gmail.com</a>
Цимбельман Никита Яковлевич, к.т.н., доц., директор департамента геоинформационных технологий Политехнического института (школы) ДВФУ	+7(914) 708-15-41 <a href="mailto:tsimbelman.nya@dvfu.ru">tsimbelman.nya@dvfu.ru</a>
Макарова Наталья Валентиновна, к.т.н., доц., Институт автоматки и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии	+7(914) 718-56-03 <a href="mailto:maknat@bk.ru">maknat@bk.ru</a>
Козлов Павел Геннадьевич, преподаватель ВУЦ при ДВФУ	+7(914) 714-07-46 <a href="mailto:goldwingp@mail.ru">goldwingp@mail.ru</a>
Шестаков Николай Игоревич, к.т.н., доцент кафедры Градостроительства Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ)	<a href="mailto:nik.shestakov.1990@mail.ru">nik.shestakov.1990@mail.ru</a>











## Оглавление

Токарчук Владислав Валентинович ПРИМЕНЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ С СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННЫМ СОСТОЯНИЕМ В УСЛОВИЯХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА.....	13
Васильева Дарья Вячеславовна, Попов Александр Леонидович, Местников Алексей Егорович ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АЛЮМОСИЛИКАТНОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ГОРНОГО ПЕСКА НА СВОЙСТВА СУЛЬФАТОСТОЙКОГО ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА.....	16
Таскин Андрей Васильевич, Федюк Роман Сергеевич, Иванников Сергей Игоревич, Федотов Демьян Романович, Кулаков Никита Дмитриевич ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ИЗВЛЕЧЕНИЮ НЕДОЖОГА ИЗ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ.....	28
Мамедов Джейхун Эльхан Оглы, Мамедов Эльнур Эльхан Оглы АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ МОНОЛИТНОГО ЗДАНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ .....	34
Савенков Андрей Иванович, Плосконосова Алена Олеговна ПРИМЕНЕНИЕ В КОНСТРУКЦИЯХ ПЕРЕКРЫТИЙ МОНОЛИТНОГО ПЕНОБЕТОНА.....	39
Гагин Глеб Сергеевич, Петровский Антон Сергеевич ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СРЕДСТВО ОПТИМИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....	42
Белых Светлана Андреевна, Новоселова Юлия Владимировна, Ильинский Юрий Юрьевич АНТИПИРЕНЬ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СИЛИКАТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ.....	47
Таскин Андрей Васильевич, Федюк Роман Сергеевич, Иванников Сергей Игоревич, Федотов Демьян Романович, Кулаков Никита Дмитриевич ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕСГОРЕВШЕГО УГЛЯ В ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДАХ.....	54
Таскин Андрей Васильевич, Федюк Роман Сергеевич, Иванников Сергей Игоревич, Федотов Демьян Романович, Кулаков Никита Дмитриевич ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ОТДЕЛЕНИЯ НЕСГОРЕВШЕГО УГЛЕРОДА ОТ ЗОЛЫ.....	62
Бондаренко Юлия Валерьевна, Бондаренко Алексей Валерьевич ОПИСАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ДОБЫЧИ КРАБОВ .....	81
Титеев Иван Сергеевич, Бирюков Юрий Александрович ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА РЕКОНСТРУКЦИИ: АНАЛИЗ ФАКТОРОВ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОДХОДЫ.....	85

А.Ю. Герасимов, А.А. Лаврусевич МЕТОДОЛОГИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ.....	91
С.С. Герасимова, А.А. Лаврусевич МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПАСНЫХ КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ В РАМКАХ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ М-12 (7 ЭТАП).....	95
Иванов Андрей Андреевич, Урханова Лариса Алексеевна, Лхасаранов Солбон Александрович, Культиков Сергей Сергеевич ВЛИЯНИЕ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО БЕТОНА.....	98
Савранский Илья Дмитриевич ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ В ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА.....	103
Мамедов Эльнур Эльхан Оглы, Горохов Сергей Иванович, Ковалев Никита Святославович КЛИНКЕРНАЯ ФАСАДНАЯ ОБЛИЦОВОЧНАЯ ПЛИТКА..	105
Козлов Павел Геннадьевич, Белых Светлана Андреевна, Шляхтина Тамара Федоровна, Примчук Анатолий Григорьевич, Ильинский Юрий Юрьевич, Бакатов Константин Александрович АЛЮМОСИЛИКАТНОЕ ВЯЖУЩЕЕ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГОПРЕДПРИЯТИЙ.....	110
Хромов Иван Владимирович США-КНР СТАНОВЛЕНИЕ НОВОЙ БИПОЛЯРНОСТИ?.....	113
Левицкая К.М. ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА АНГИДРИТОВЫХ ВЯЖУЩИХ ИЗ ФОСФОГИПСА.....	116
Козлов Павел Геннадьевич, Белых Светлана Андреевна, Шляхтина Тамара Федоровна, Примчук Анатолий Григорьевич, Ильинский Юрий Юрьевич, Бакатов Константин Александрович ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ .....	120
Лукутцова Наталья Петровна, Пыкин Алексей Алексеевич, Панихидкина Дарья Сергеевна, Финько Анастасия Эдуардовна ГРАНУЛИРОВАННЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ.....	126
Лхасаранов Солбон Александрович, Урханова Лариса Алексеевна, Данзанов Доржи Владимирович, Ивлев Олег Анатольевич, Федюк Роман Сергеевич ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ ПЕРЛИТОВ С УЛЬТРАДИСПЕРСНОЙ ДОБАВКОЙ.....	130
Любомирский Николай Владимирович, Бахтин Александр Сергеевич, Бахтина Тамара Алексеевна, Биленко Герман Русланович, Федюк Роман Сергеевич ИСКУССТВЕННЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКОВ КАРБОНАТНОГО ТИПА ТВЕРДЕНИЯ.	135
Содомон Марк ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БИОСТОЙКОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ СТЕБЛЕЙ БОРЩЕВИКА СОСНОСКОГО.....	140
Федюк Роман Сергеевич, Павликов Сергей Николаевич МЕТОДИКА РАЗРЕШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОТИВОРЕЧИЙ.....	146
Отман Азми С.А., Чернышева Наталья Васильевна ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДООТТАЛКИВАЮЩИХ СВОЙСТВ ШТУКАТУРНЫХ РАСТВОРОВ НА КГВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОРГАНИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ.....	152

Федюк Роман Сергеевич, Крючков Андрей Николаевич, Павликов Сергей Николаевич, Копаева Екатерина Юрьевна РАЗВИТИЕ АНТЕННЫХ СИСТЕМ С РАСШИРЕННЫМИ ФУНКЦИЯМИ.....	157
Коротынская Вероника Сергеевна ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ХОЛОДА В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ...	164
Вавренюк Светлана Викторовна, Федюк Роман Сергеевич, Вавренюк Вадим Геннадьевич, Фарафонов Алексей Эдуардович, Кузнецов Николай Васильевич, Русанова Татьяна Юрьевна ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАЗРУШЕНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ, И МЕТОДЫ ИХ КОНТРОЛЯ.....	168
Вавренюк Светлана Викторовна, Федюк Роман Сергеевич, Вавренюк Вадим Геннадьевич, Фарафонов Алексей Эдуардович, Русанова Татьяна Юрьевна ОШИБКИ, ДОПУСКАЕМЫЕ В ПРОЦЕССЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.....	173
Малюк Владислав Викторович ПРОБЛЕМЫ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНА В УСЛОВИЯХ МОРОЗНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ.....	179
Малюк Владислав Викторович, Малюк Виктор Данилович, Вавренюк Светлана Викторовна ОСОБЕННОСТИ ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ.....	182
Александр Николаевич Бирюков, Клюев Виктор Дмитриевич ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО ДЕМОНТАЖУ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ.....	188
Бирюков Александр Николаевич, Клюев Виктор Дмитриевич ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ .....	195
Шляхтина Татьяна Фёдоровна, Федюк Роман Сергеевич ТЕРМИЧЕСКАЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ФИБРОБЕТОНОВ.....	202
Токарева Лия Андреевна, Сабитов Линар Салихзанович, Ахтямова Лейсан Шамилевна РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ.....	208
Доржиева Елизавета Валерьевна, <sup>1</sup> Шестаков Николай Игоревич, <sup>1</sup> Цыденова Алиса Борисовна, <sup>1</sup> Гончиков Алдар Георгиевич, <sup>2</sup> Федюк Роман Сергеевич РАЗРАБОТКА БИОРАЗЛАГАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА И ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ....	212
Саламанова Мадина Шахидовна, Магомедов Аслан Шахидович ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАРБОНАТНОЙ ДОБАВКИ.....	216
Е.В. Ткач, Ю.С. Филимонова ТЯЖЕЛЫЙ БЕТОН НА ОСНОВЕ ПОЛИДИСПЕРСНОГО ВЯЖУЩЕГО С КОМПЛЕКСНЫМ МОДИФИКАТОРОМ ДЛЯ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА.....	222

Пилипенко Антон Сергеевич, Сяев Арсен Русланович ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ АЭРОГЕЛЕЙ.....	227
Явинский Александр Викторович ВЛИЯНИЕ ЗОЛЫ ГИДРОУДАЛЕНИЯ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО.....	231
Климаш Константин Владимирович ЛОКАЛИЗАЦИЯ ДЕФЕКТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРОЦЕССЕ ВЫПОЛНЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ.....	235
Сяо Вэньсюй, Салил Мурад Яхья Мохаммед, Шатохин Дмитрий Александрович, Ломов Максим Игоревич, Шарипов Ленар Рашидович, Рамазанов Рустам Габтилфаритович, Чжан Сюань, Шеремет Алена Анатольевна, Ходькин Евгений Иванович НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗВУКОЗАЩИТЫ.....	243
Золотарева Светлана Васильевна НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ДОРОЖНОЙ СЕТИ.....	245

**Токарчук Владислав Валентинович**  
**ПРИМЕНЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ С СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ**  
**НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННЫМ СОСТОЯНИЕМ В УСЛОВИЯХ**  
**ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА**

*Дальневосточный федеральный университет, Политехнический институт  
(Школа), 690922, г. Владивосток*

*Научный руководитель – Цимбельман Никита Яковлевич, канд. техн. наук,  
доцент*

**Аннотация:** В статье обосновывается необходимость изучения, проектирования и применения конструкций с управляемым напряженно-деформированным состоянием в условиях Дальнего Востока.

**Ключевые слова:** управляемые конструкции, напряженно-деформированное состояние, регулирование усилий, управление усилиями.

### **Понятие об управляемых конструкциях**

Современным перспективным направлением в развитии конструктивных решений зданий и сооружений различного назначения является разработка конструкций с управляемым напряженно-деформированным состоянием (НДС), контролируемым системами автоматизированного управления (САУ). Управляемая конструкция – это система, состоящая из несущих конструкций, датчиков, фиксирующих текущее НДС сооружения, электронно-вычислительных машин (ЭВМ) (предназначены для анализа данных об НДС, принятии решений о месте ввода и количестве контрнагрузки), каналов передачи информации, устройств для ввода контрнагрузки и источников энергии, позволяющих вводить контрнагрузки, достаточные для безаварийной эксплуатации сооружения. Конструкции с управляемым НДС предполагают активный контроль над деформациями и усилиями с последующим своевременным их изменением в отдельных элементах сооружения или целиком в сооружении.

Принцип ввода контрнагрузок в управляемых конструкциях близок к принципам ввода предварительного напряжения (например, в железобетонных или стальных конструкциях). В предварительном напряжении ввод контр-усилия представляет собой разовое вводимое регулирование на максимальную нагрузку заранее и навсегда (например, натяжение арматуры на бетон в построечных условиях или натяжение арматуры на упоры в заводских условиях). Существенным отличием конструкций с управляемым НДС от преднапрягаемых является изменение усилий во времени, то есть управление НДС – активный процесс, изменяющийся во времени. Важно отметить, что регулирование усилий в элементах конструкций на этапе проектирования путём изменения расчётных схем сооружений является пассивным способом регулированием усилий в конструкциях и не относится к активному управлению НДС.

## Существующие наработки управляемых конструкций

Основоположниками в разработке теоретических принципов регулирования усилий и управления НДС в конструкциях являются профессора А.В. Перельмутер и Н.П. Абовский.

А.В. Перельмутеру принадлежит наработка концептуальных идей об функционировании регулируемых конструкций, разработка одной из первых классификаций способов регулирования характеристик несущих конструкций (рис. 1 А) [1], разделение понятий активного и пассивного регулирований. А.В. Перельмутер ещё в 80-ых годах 20 века проанализировал существующие наработки в области активного регулирования усилий в конструкциях, предложил определенные инженерные решения, которые при доработке могут быть применены на практике [1].

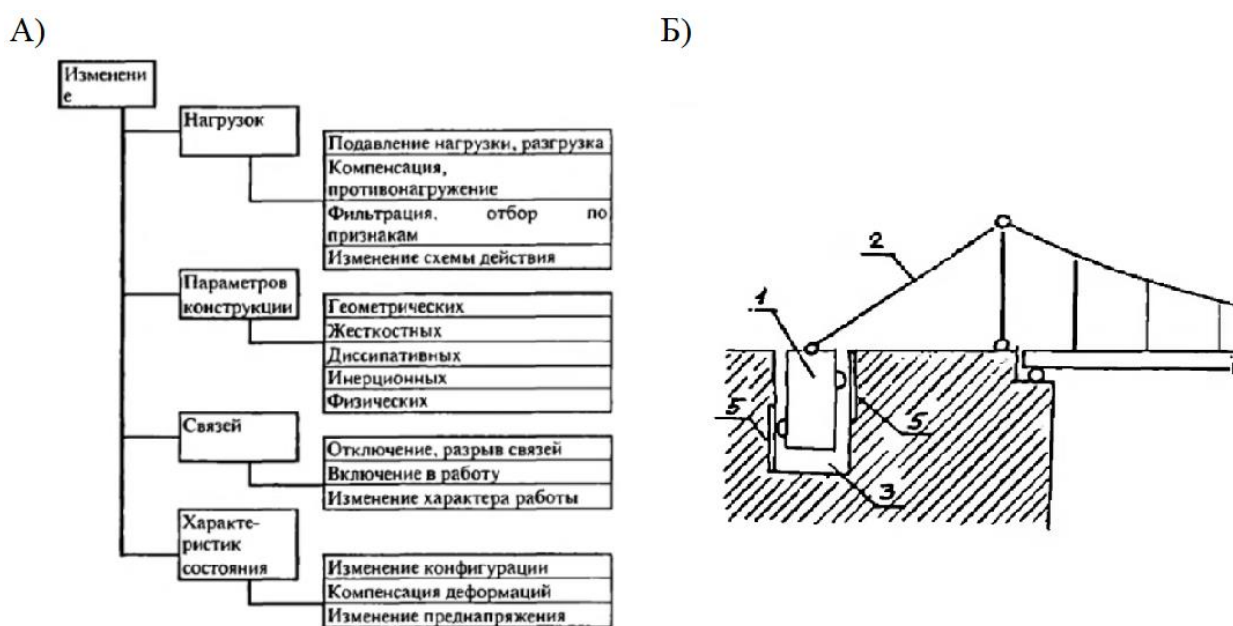


Рисунок 1. А – классификация способов регулирования; Б – элементы регулирования усилий в кабеле висячего моста (1 – груз, 2 – оттяжка, 3 – колодец, 4 – выступ контргруза, 5 – направляющие) [1]

Н.П. Абовскому принадлежит большое число запатентованных решений в области управления НДС конструкций. Некоторые из них возможно применить в транспортных сооружениях с управляемым НДС, например патент РФ 2073839 Способ повышения несущей способности многопролётной неразрезной балки и устройство для осуществления предлагаемого способа (Абовский Н.П. и др., 1993) (рис. 2), патент РФ 2053539 Устройство для регулирования механических напряжений в подвесных вантах (Абовский Н.П. и др., 1991), патент РФ 2122188 (Абовский Н.П. и др., 1997) . Н.П. Абовский провел значимую работу над систематизацией сведений об управляемых конструкциях, разработал учебно-методический комплекс «Управляемые конструкции» [2], способствовавший привлечению молодых специалистов к изучению теории управления НДС конструкций. Н.П. Абовским четко выделен ряд характеристик, обосновывающих перспективность конструкций с управляемым НДС [2]:

- снижение материалоемкости (более полное использование ресурсов конструкций, в сравнении с традиционными),
- обеспечение стабильности эксплуатационных характеристик и повышение надёжности (предотвращение аварийных ситуаций),
- повышение качества и точности изготавливаемых конструкций.

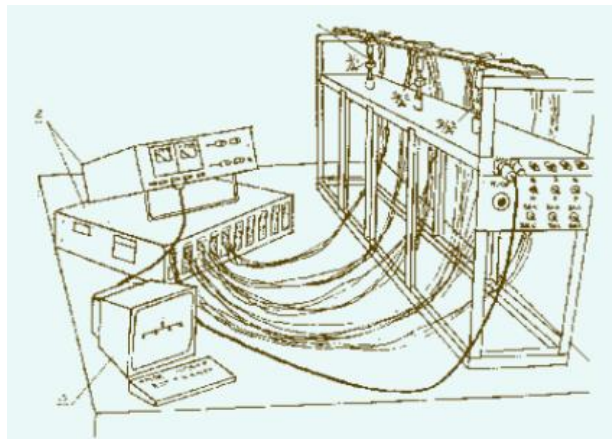


Рисунок 2 – Патент РФ 2073839 Способ повышения несущей способности многопролётной неразрезной балки и устройство для осуществления предлагаемого способа (Абовский Н.П. и др., 1993) [2]

Важно обратить внимание на дальновидный подход Н.П. Абовского, увидевшего более 20 лет назад перспективность нейросетей [2]. Сегодня нейросети участвуют в решении задач различных областей деятельности, в том числе в строительстве. Стоит предположить, что в ближайшее время область применения конструкций с управляемым НДС будет расширяться. И аналогично нейросетям, новые управляемые конструкции станут востребованными и популярными.

### **Применение конструкций с системами управления НДС в условиях Дальнего Востока**

Наиболее важной характеристикой конструкций с управляемым НДС является снижение их материалоемкости. Это явное преимущество управляемых конструкций над традиционными, рассчитанными на наихудшие (пиковые) сочетания нагрузок и имеющими колоссальные непостоянно используемые запасы прочности. С помощью применения систем управления НДС и наиболее полного включения в работу отдельных элементов, конструкции с управляемыми НДС должны обладать низкой материалоемкостью и, следовательно, низкой массой и стоимостью. Лёгкие конструкции проще и дешевле доставлять на строительную площадку. Оборудование мест складирования, погрузка, разгрузка и монтаж таких конструкций требуют малых затрат трудовых, временных и финансовых ресурсов. Для перемещения таких конструкций нет необходимости в применении тяжёлых и габаритных транспортных и грузоподъёмных машин и механизмов.

Ряд вышеперечисленных преимуществ конструкций с управляемым НДС позволит применять их на территориях с недостаточно развитой транспортной

инфраструктурой, например, таких как удаленные центральные, северные и восточные территории ДФО.

Также для территорий ДФО характерны высокая сейсмичность [3, 4], повышенные значения снеговых и ветровых нагрузок [5]. При выборе на этапе проектирования классических конструкций расчёт сооружений необходимо вести на особые, кратковременные нагрузки и их пиковые сочетания, которые в действительности возникают крайне редко в течение срока эксплуатации конструкции: например, один раз в 100 или более лет, как в случае сейсмических воздействий. Таким образом, большую часть жизни конструкция не испытывает расчётных нагрузок. Требуемая по расчёту материалоемкость за весь срок эксплуатации используется далеко не в полной мере. Конструкции с управляемым НДС, в которых система управления НДС будет ориентирована на защиту сооружения от пиковых специфических территориальных нагрузок, могут являться перспективной альтернативой классическим дорогим, материалоемким и тяжелым сооружениям.

### **Выводы**

Управляемые конструкции могут обрести широкое применение в редко используемых транспортных сооружениях (мостах, эстакадах), где пиковая транспортная нагрузка возникает крайне редко, или в сооружениях, возводимых на сейсмических территориях. С помощью применения систем управления НДС в большепролётных и уникальных большепролётных сооружениях возможно расширение области их применения на территориях с высокими нормативными значениями кратковременных и особых нагрузок. В случае стремительного роста истощения природных ресурсов, применяемых в строительстве, например, металлов и их производных, управляемые конструкции также могут приобрести широкую популярность.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

- 1 Перельмутер А. В. Управление поведением несущих конструкций. – Киев: УФИМБ, 1998. – 148 с.;
- 2 Абовский Н.П. Научно-образовательный комплекс «Управляемые конструкции». – Красноярск, 2001. – 137 с.;
- 3 СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах (Актуализированная редакция СНиП II-7-81\* – М.: Стандартинформ, 2018;
- 4 Уломов В. И., Богданов М. И., Трифонов В. Г. [и др.]. Пояснительная записка к комплекту карт ОСР-2016 и список населённых пунктов, расположенных в сейсмоактивных зонах // Инженерные изыскания, 2016, №7;
- 5 СП 20.13330.2016 (Актуализированная версия СНиП 2.01.07-85\*) Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. – М.: Минрегион России, 2016.



**Васильева Дарья Вячеславовна, Попов Александр Леонидович, Местников  
Алексей Егорович**

## **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АЛЮМОСИЛИКАТНОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ГОРНОГО ПЕСКА НА СВОЙСТВА СУЛЬФАТОСТОЙКОГО ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА**

*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова*

*Россия, 677000, Якутск, ул. Белинского, д. 58.*

*\*E-mail: omsvdv2910@mail.ru*

**Аннотация.** В работе обоснована эффективность и перспективность исследований в направлении разработки активной минеральной добавки на основе горного песка Якутии для общестроительных цементов с целью повышения его сульфатостойкости. Это позволит расширить спектр применения портландцементов, работающих в условиях сульфатной агрессии. Республика Саха (Якутия) располагает множеством месторождения природных песков алюмосиликатного состава или так называемых «горных песков». Одним из крупных и разработанных карьеров горных песков в Якутии является месторождение «Кильдямское», областями применения которого на сегодня являются основания и подстилающие покрытия дорог. В работе показана возможность получения активной минеральной добавки на основе данного песка. Изучено влияние дозировки и уровня дисперсности добавки на прочностные характеристики цементов и на коэффициент сульфатостойкости. Введение активной минеральной добавки на основе песка кильдямского месторождения до 15% взамен цемента, незначительно снижает прочность цементного камня в диапазоне  $5\pm 2\%$  с сохранением марочной прочности. Введение добавки свыше 15 % снижает прочность цемента в среднем на 20 %, марочная прочность уже не соблюдается, при этом гидратационные процессы замедляются и с течением времени в сульфатной среде прочность образцов сначала растет, а затем снова падает. В результате работы предложена активная минеральная добавка на основе песка кильдямского месторождения в цемент придающая стабильный коэффициент сульфатостойкости равный 0,95 с сохранением марочной прочности и гидратационных процессов.

**Ключевые слова:** портландцемент, алюмосиликатная добавка, горный песок кильдямского месторождения, сульфатостойкость.

**Введение.** В условиях вечномёрзлых грунтов Республики Саха (Якутия) здания и сооружения преимущественно возводятся на свайных фундаментах. По истечению срока эксплуатации объектов следует проводить работы по усилению несущих конструкции, однако их дороговизна и сложность существенно затрудняет работу по обеспечению эксплуатируемых объектов необходимым обслуживанием, как по качеству проводимых работ, так и по продолжительности. Вкупе с этим особые климатические условия, влияющие на все стадии подобных работ, объясняют высокий процент ветхого жилья.

Коррозия железобетонных конструкций происходит в следствие воздействия деятельного слоя грунтов (межсезонное оттаивание) и суровых климатических

условий. В ходе литературного обзора процессов коррозии цементного камня в агрессивных средах, а также анализа требований к специальным низкоалюминатным коррозионностойким цементам в стандартах различных стран делаем вывод о том, что для производства специальных цементов необходимо использовать сырьевые материалы, содержащие определенное количества  $Al_2O_3$ , не превышающее допустимые нормы, а при отсутствии подобных материалов стоит применять кремнеземсодержащие корректирующие компоненты. Так, даже для мало алюминатных цементов для повышения их сульфатостойкости важно связать весь минерал  $C_3A$ , содержащийся в цементе, в гидросульфоалюминат. Это значит, что необходимо учитывать и такие параметры цемента, как тонкость помола, дозировка гипса, минеральные и органические добавки, смеси и режим твердения [1–4]. В современной науке активно развивающимся направлением являются композиционные вяжущие с применением различных минеральных добавок на основе природного сырья [5–8]. Исходя из этого нами предлагается решение в виде применения портландцементов с повышенным содержанием трехкальциевого алюмината с добавлением активной минеральной добавки в виде горных песков, способствующих сохранению физико-механических свойств бетонов в условиях сульфатной агрессии [9].

Проблема создания энергоэффективных строительных материалов остается актуальной всегда, и не только из-за роста цен на сырьевые материалы и энергоносители, но и из-за повышения требований по энергосбережению, предъявляемых эксплуатируемым зданиям и сооружениям [10–12]. Для мощнейшего подъема строительства как отрасли в нашей республике требуется решение данной проблемы, в ходе которой так же будут рассмотрены перспективы освоения одной из главных сырьевых баз местного сырья – горных песков, позволяющих использовать в качестве заполнителей и активных добавок ценное минеральное сырье [13].

Республика Саха (Якутия) располагает множеством месторождений природных песков алюмосиликатного состава или так называемых «горных песков». Особенностью данных песков является полифракционный состав с широким диапазоном фракций от обломков до пылевидных и глинистых частиц размерностью менее 0,16 мм. Такая особенность песков затрудняет их использование в качестве мелкого заполнителя [14]. Однако на сегодня уделено мало внимания возможности применения горных песков Якутии в качестве активных минеральных добавок. Одним из крупных и разработанных карьеров в Якутии является месторождение «Кильдямское», горные пески которого применяются в качестве инертного сырья в устройстве грунтовых оснований зданий, оснований и покрытий автомобильных дорог, пристроечных площадок, перронов и др.

**Методика.** Основные физико-механические характеристики цемента и песка определялись методами испытаний, приведенных и регламентируемых межгосударственными стандартами.

Оптимизация составов сульфатостойкого портландцемента проводилась по методу математического планирования. Исходя из принципа действия этого метода определяется девять основных составов, в которых варьируются два показателя. Так как данный модифицированный материал в своем составе содержит три компонента: портландцемент, активную минеральную добавку в виде тонкомолотого песка и суперпластификатор, в расчетах по оптимизации состава за первую переменную принимаем количество вводимой добавки, за вторую переменную – дисперсность добавки, определяемую удельной поверхностью. Результаты описывали через уравнение регрессии (1) с коэффициентом корреляции не менее 0,9.

$$f = y_0 + a \times x + b \times y + c \times x^2 + d \times y^2 \quad (1)$$

Для оценки коррозионной стойкости образцов цемента, изготовленных с активной минеральной добавкой на основе песка, определяли коэффициент сульфатостойкости.

Коэффициент сульфатостойкости (КС) представляет собой отношение предела прочности при сжатии после выдержки выбранного образца в коррозионной среде в течение определенного промежутка времени, к прочности образца после твердения в нормальных условиях в течение 28 суток. Расчет КС проводят по формуле:

$$КС_n = \frac{R_n}{R_{28}} \quad (2)$$

где:  $КС_n$  – коэффициент сульфатостойкости на  $n$ -ые сутки;

$R_n$  – прочность на сжатие образца, выдержанного в коррозионной среде  $n$  суток, МПа;

$R_{28}$  – прочность на сжатие образца после твердения в течение 28 суток в нормальных условиях, МПа.

Исследуемый цемент следует рассматривать как сульфатостойкий, если изготовленные образцы имеют  $КС \geq 0,80$ .

**Основная часть.** В работе использовались портландцемент марки ЦЕМ I 32,5Н производства ОАО «Якутцемент» (таблица 1), пластифицирующая добавка Полипласт СП-1 производства ООО «ПолипластХИМ», горный песок месторождения «Кильдямское» (карьер в 35 км от Якутска).

Таблица 1

**Свойства портландцемента марки ЦЕМ I 32,5Н (ОАО «Якутцемент»)**

Показатель	Значение
Нормальная плотность, %	25
Остаток на сите 008, %	7,0
Равномерность изменения объема, мм	0,11
Сроки схватывания:	
– начало, час:мин	2:35
– окончание, час:мин	3:55
Средняя активность цемента в возрасте 28 сут., МПа	40,95

Проведены основные испытания для определения физико-механических характеристик природного песка. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Исходя из полученных характеристик песок месторождения «Кильдямское» при зерновом составе и модуле крупности характерном для песков средней размерности, отличается высоким содержанием зерен менее 0,16 мм пылевидных и глинистых включений, что относит его к мелким пескам.

Таблица 2

**Физико-механические характеристики природного песка**

Месторождение	Кильдямское
Зерновой состав (полные остатки на ситах, в %)	
0.16	98,1
0.315	93,6
0.63	65,8
1.25	26,6
2.5	4,7
5	0
Модуль крупности, $M_k$	2,4
Содержание зерен размером менее 0.16 мм	4,1
Насыпная плотность, $кг/м^3$	1442,0
Истинная плотность, $кг/м^3$	2130,0
Содержание пылевидных и глинистых включений	15,3

При разработке активной минеральной добавки на основе песка Кильдямского месторождения в работе за параметры оптимизации были приняты: количество активной минеральной добавки в виде песка Кильдямского месторождения, % взамен цемента и ее дисперсность, определяемая величиной удельной поверхности  $м^2/кг$  [15]. Дозировку активной минеральной добавки было решено брать не более 30 %, как регламентирует межгосударственный стандарт на цементы. Дисперсность добавки решено было варьировать в диапазоне удельной поверхности 300–500  $м^2/кг$ , так как при дальнейшем помоле происходит торможение роста удельной поверхности, что является не выгодным с точки зрения энергетических затрат (рисунок 1).

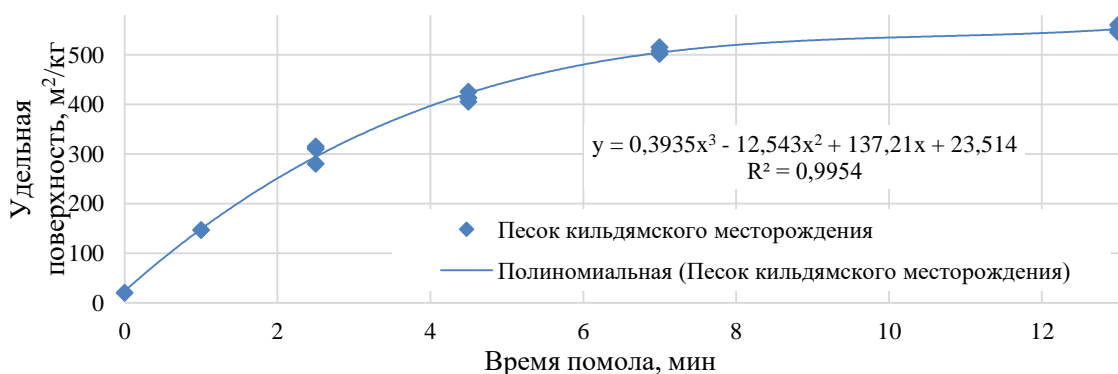


Рисунок 1 - Кинетика размолоспособности песка Кильдямского месторождения

Дозировка пластификатора принята за 1,5 % от массы цемента, которая определена достижением предельного значения распыла цементного теста при пошаговом увеличении концентрации пластификатор (рисунок 2) [16].

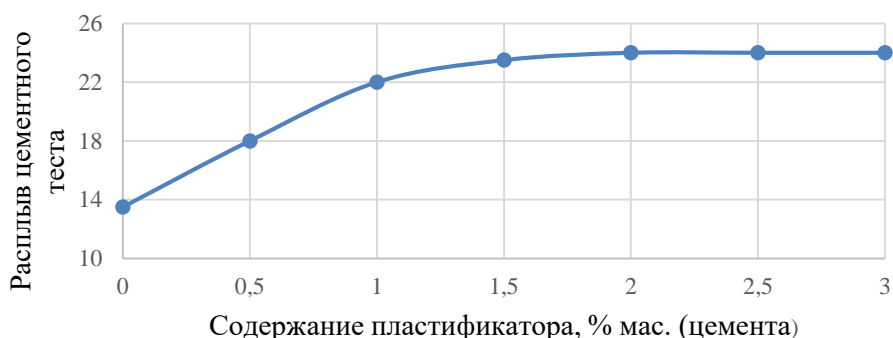


Рисунок 2 - Зависимость распыла цементного теста от дозировки пластификатора

На основе выбранных варьируемых факторов (таблица 3) составлен план полнофакторного эксперимента (таблица 4). Согласно матрице планирования были составлены соответствующие составы, получены образцы и испытаны их основные физико-механические характеристики (таблица 5). При этом данные были получены для образцов в возрасте 28 и 56 суток.

Таблица 3

**Условия планирования эксперимента для разработки составов сульфатостойкого цемента**

Факторы		Варьируемые факторы			Интервалы варьирования
Вид (натуральный)	Вид (кодированный)	-1	0	+1	
Содержание добавки, %	X	0	15	30	15
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	Y	300	400	500	100

Таблица 4

**Матрица планирования**

№ точки плана	Факторы			
	X	Y	Содержание добавки, %	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг
1	-1	-1	0	300
2	0	-1	15	300
3	+1	-1	30	300
4	-1	0	0	400
5	0	0	15	400
6	+1	0	30	400
7	-1	+1	0	500
8	0	+1	15	500
9	+1	+1	30	500

### Основные физико-механические характеристики сульфатостойкого цемента

№ точки плана	Сроки схватывания		Нормальная густота	Прочность на сжатие, МПа	Коэффициент сульфатостойкости в 28-суточном возрасте	Коэффициент сульфатостойкости в 56-суточном возрасте
	Начало	Конец				
1	170	290	26,37	33,23	0,83	0,79
2	190	280	24,50	33,21	0,95	0,85
3	170	320	22,25	28,51	1,02	0,90
4	170	290	26,37	33,23	0,83	0,79
5	210	300	25,00	32,52	0,95	0,94
6	210	320	22,75	28,68	1,04	0,96
7	170	290	26,37	33,23	0,83	0,79
8	220	310	25,50	32,43	0,98	0,91
9	230	320	23,00	30,36	1,10	0,94

Результаты испытаний для цемента с активной минеральной добавкой на основе песка кильдямского месторождения представлены в виде уравнений регрессии:

Коэффициент сульфатостойкости в возрасте 28 суток:

$$f = 0.9772 + 0.0096 \times x - 0.0010 \times y - 0.0000066667 \times x^2 + 0.0000015 \times y^2$$

Коэффициент сульфатостойкости в возрасте 56 суток:

$$f = 0.1506 + 0.0107 \times x - 0.0031 \times y - 0.0002 \times x^2 - 0.0000036667 \times y^2$$

На основе уравнений регрессии построены графические зависимости влияния варьируемых факторов на коэффициент сульфатостойкости цемента (рисунок 3).

Анализ уравнений регрессии и построенных поверхностей отклика показал, что максимальное значение коэффициент сульфатостойкости достигается при содержании добавки 30% и ее удельной поверхности 500 м<sup>2</sup>/кг в цементном камне возраста 28 суток и при содержании добавки 15% и удельной поверхности 400 м<sup>2</sup>/кг в цементном камне возраста 56 суток.

При этом цементный камень после 28 суток в сульфатной среде не подвергается коррозии при введении добавки более 15%, а напротив обладает повышенной прочностью, что приводит к значению коэффициента сульфатостойкости более единицы. Данный факт наиболее вероятно связан с пуццолановым взаимодействием минеральных компонентов песка и портландцемента.

При достижении 56 суток нахождения цементного камня в сульфатной среде активно набранная прочность с содержанием добавки 30 % снижается до уровня прочности цементного камня с содержанием добавки 15 %. При этом также вклад удельной поверхности добавки в сульфатостойкость цемента снижается.

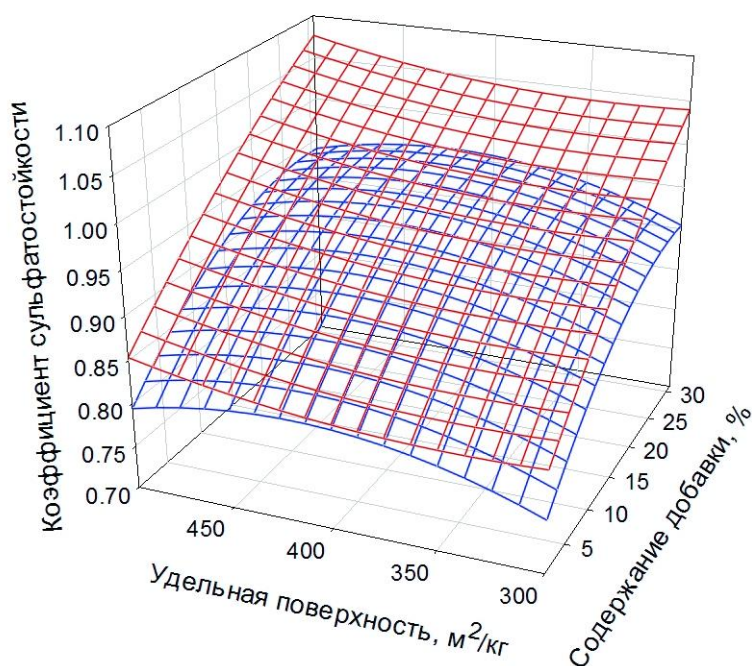


Рисунок 3 - Зависимости коэффициента сульфатостойкости цемента от дисперсности и содержания активной добавки кильдямского песка: красная поверхность – после 28 суток в сульфатной среде, синяя поверхность – после 56 суток в сульфатной среде.

**Выводы.** Таким образом, разработан состав цемента, обладающий стабильным коэффициентом сульфатостойкости 0,95. Введение активной минеральной добавки на основе песка Кильдямского месторождения до 15% незначительно снижает прочность цементного камня в диапазоне  $5\pm 2\%$  с сохранением марочной прочности, при этом коэффициент сульфатостойкости после выдержки в сульфатной среде 56 суток снижается менее чем на 5 % по сравнению со значением в возрасте 28 суток. Введение добавки свыше 15 % снижает прочность цемента в среднем на 20 %, марочная прочность уже не соблюдается. Коэффициент сульфатостойкости цементного камня с добавкой более 15% после выдержки в сульфатной среде 28 суток имеет значение выше единицы, что говорит о том, что цемент изначально не набрал 100 % прочность и в сульфатной среде продолжались гидратационные процессы. После выдержки образцов в сульфатной среде 56 суток коэффициент сульфатостойкости снижается более чем на 10 % и стремится к значениям равным при дозировке добавки до 15 %.

Исходя из этого наилучшей дозировкой активной минеральной добавки является 15 % взамен цемента с величиной удельной поверхности  $400 \text{ м}^2/\text{кг}$ . При данных значениях достигается стабильный коэффициент сульфатостойкости, сохраняется скорость гидратационных процессов и марочная прочность цемента.

### Список литературы:

1. Тольпина Н.М., Щигорева Е.М., Головин М.В., Щигорев Д. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем применения активных заполнителей

второго типа // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №. 2. С. 27–32. DOI: [https://doi.org/10.12737/article\\_5c73fbf6df9f53.10093605](https://doi.org/10.12737/article_5c73fbf6df9f53.10093605).

2. Толыпина Н.М., Щигорева Е.М., Головин М.В., Щигорев Д. Сульфатостойкость бетона на основе химически активного заполнителя из нефелинсодержащих пород // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №. 10. С. 21–26. DOI: [https://doi.org/10.12737/article\\_59cd0c585e1768.86979091](https://doi.org/10.12737/article_59cd0c585e1768.86979091).

3. Бердов Г.И., Камха М.А., Парубов А.Г., Себелев И.М. Влияние ультразвуковой активации воды на гидратацию и твердение цемента и трехкальциевого алюмината // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. 1991. №. 8. С. 53–56.

4. Фролов Н.В. Экспериментальные исследования кинетики развития коррозионных повреждений бетона в изгибаемых железобетонных элементах при силовых и средовых воздействиях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. №. 2. С. 34–43. DOI: <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2020-5-2-34-43>.

5. Borges Marinho A.L., Mol Santos C.M., Franco de Carvalho J.M., Mendes J.C. Ladle furnace slag as binder for cement-based composites // Journal of Materials in Civil Engineering. American Society of Civil Engineers, 2017. №. 11(29). С. 04017207.

6. Федюк Р.С., Лесовик В.С., Лисейцев Ю.Л., Тимохин Р.А., Битуев А.В., Заяханов М.Е., Мочалов А.В. Композиционные вяжущие для бетонов повышенной ударной стойкости // Инженерно-строительный журнал. 2019. №. 1(85). С. 28–38. DOI: 10.18720/MCE.85.3

7. Han F., Zhang H., Pu Sh., Zhang Z. Hydration kinetics of composite binder containing slag at different temperatures // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. Springer, 2015. №. 2(121). С. 815–827.

8. Banevičienė V., Malaiškienė J., Zach J., Dvorak K. Composite binder containing industrial by-products (Fccw and psw) and nano sio2 // Materials. MDPI AG, 2021. № 7(14). С. 1604

9. Vasileva D., Protodiakonov E., Egorova A., Antsupova S. Modifying admixtures to cement compositions produced from local raw materials // MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 2018. №. 143. С. 02006.

10. Alfimova N.I., Gridchin A.M., Glagolev E.S., Lesovik R.V., Levchenko O.V., Pirieva S.I. Effective composite binders // Advances in Engineering Research. Atlantis Press, 2017. Vol. 133. P. 42–47.

11. Omrany H., Ghaffarianhoseini A., Ghaffarianhoseini A., Raahemifar K., Tookey J. Application of passive wall systems for improving the energy efficiency in buildings: A comprehensive review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier Ltd, 2016. №. 62. С. 1252–1269.

12. Wu Y., Wang J.-Y., Monteiro P.J.M., Zhang M.-H. Development of ultra-lightweight cement composites with low thermal conductivity and high specific strength for energy efficient buildings // Construction and Building Materials. Elsevier Ltd, 2015. №. 87. P. 100–112.

13. Fomina E.V., Lesovik V.S., Fomin A.E., Kozhukhova N.I., Lebedev M.S. Quality evaluation of carbonaceous industrial by-products and its effect on properties



of autoclave aerated concrete // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2018. №. 4(327). С. 042033.

14. Vasileva D.V., Fyodorov V.I., Mestnikov A.E. Physical and mechanical properties of granulated foam glass – Foam zeolite and light concrete based on it // AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC AIP Publishing, 2018. № 1(2015). С. 020109.

15. Каймонов В.В., Егорова А.Д., Попова М.Н., Докунаева А.А., Васильева Д.В. Повышение сульфатостойкости бетонов на основе портландцемента в условиях Якутии // Промышленное и гражданское строительство, 2013. №. 8. С. 40–41.

16. Местников А.Е., Семенов С.С., Васильева Д.В. Рациональное использование минерально-сырьевых ресурсов Якутии в технологии строительных материалов // Фундаментальные исследования. 2017. №. 12-1. С. 80–84

## REFERENCES

1. Tolypina N. et al. Increase of concrete inoxidizability by application of active fillers of the second type [*Povysheniye korrozionnoy stoykosti betonov primeneniya aktivnykh zapolniteley vtorogo tipa*]. Bulletin of BSTU named after. V. G. Shukhov. 2019. Vol. 4, № 2. P. 27–32.

2. Tolypina N. et al. Sulphate resistance of concrete made from reactive filler based on nepheline bearing rocks [*Sul'fatostoykost' betona na osnove khimicheskii aktivnogo zapolnitelya iz nefelinsoderzhashchikh porod*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017. Vol. 2, № 10. P. 21–26.

3. Berdov G.I., Kamkha M.A., Parubov A.G., Sebelev I.M. Influence of ultrasonic activation of water on hydration and hardening of cement and tricalcium aluminate [*Vliyaniye ul'trazvukovoy aktivatsii vody na gidratatsiyu i tverdeniye tsementa i trekhkal'tsiyevogo alyuminata*]. Izvestia of higher educational institutions. Construction and architecture. 1991. no. 8. P. 53-56.

4. Frolov N. Experimental studies of the kinetics of the developmental corrosive damages of concrete in bent reinforced concrete elements under force and environmental effects [*Eksperimental'nyye issledovaniya kinetiki razvitiya korrozionnykh povrezhdeniy betona v izgibayemykh zhelezobetonnykh elementakh pri silovykh i srednikh vozdeystviyakh*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2020. P. 34–43.

5. Borges Marinho A.L. et al. Ladle furnace slag as binder for cement-based composites // Journal of Materials in Civil Engineering. American Society of Civil Engineers, 2017. Vol. 29, № 11. P. 04017207.

6. Fediuk R. et al. Composite binders for concretes with improved shock resistance [*Kompozitsionnyye vyazhushchiye dlya betonov povyshennoy udarnoy stoykosti*]. Magazine of Civil Engineering. St-Petersburg State Polytechnical University, 2019. Vol. 85, № 1. P. 28–38.

7. Han F. et al. Hydration kinetics of composite binder containing slag at different temperatures // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Springer, 2015. Vol. 121, № 2. P. 815–827.
8. Banevičienė V. et al. Composite binder containing industrial by-products (Fcccw and psw) and nano sio<sub>2</sub> // *Materials*. MDPI AG, 2021. Vol. 14, № 7.
9. Vasileva D. et al. Modifying admixtures to cement compositions produced from local raw materials // *MATEC Web of Conferences*. EDP Sciences, 2018. Vol. 143. P. 02006.
10. Alfimova N.I. et al. Effective composite binders // *Advances in Engineering Research*. Atlantis Press, 2017. Vol. 133. P. 42–47.
11. Omrany H. et al. Application of passive wall systems for improving the energy efficiency in buildings: A comprehensive review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 2016. Vol. 62. P. 1252–1269.
12. Wu Y. et al. Development of ultra-lightweight cement composites with low thermal conductivity and high specific strength for energy efficient buildings // *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd, 2015. Vol. 87. P. 100–112.
13. Fomina E. v. et al. Quality evaluation of carbonaceous industrial by-products and its effect on properties of autoclave aerated concrete // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2018. Vol. 327, № 4. P. 042033.
14. Vasileva D.V., Fyodorov V.I., Mestnikov A.E. Physical and mechanical properties of granulated foam glass – Foam zeolite and light concrete based on it // *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing LLC AIP Publishing, 2018. Vol. 2015, № 1. P. 020109.
15. Kaimonov V.V., Egorova A.D., Popova M.N., Dokunaeva A.A., Vasilyeva D.V. Improving the sulfate resistance of concretes based on Portland cement in the conditions of Yakutia [*Povyshenie sul'fatostojkosti betonov na osnove portlandcementsa v usloviyah Yakutii*]. *Industrial and civil engineering*, 2013. №. 8. P. 40–41.
16. Mestnikov A.E., Semenov S.S., Vasilyeva D.V. Rational use of mineral resources of Yakutia in the technology of building materials [*Racional'noe ispol'zovanie mineral'no-syr'evykh resursov YAKutii v tekhnologii stroitel'nykh materialov*]. *Fundamental research*. 2017. №. 12-1. P. 80–84

**<sup>1</sup>Vasileva.D.V.,<sup>1</sup>\*Popov A.L.,<sup>1</sup>Mestnikov A.E.**

<sup>1</sup>*North-Eastern Federal University*

*Russia, 677000, Yakutsk, st.Kulakovskogo, 50.*

*\*E-mail: omsvdv2910@mail.ru*

## **INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF AN ALUMOSILICATE ADDITIVE BASED ON MOUNTAIN SAND ON THE PROPERTIES OF SULFATE-RESISTANT PORTLAND CEMENT**

*Abstract. The paper substantiates the effectiveness and prospects of research in the development of active additives based on mountain sand of Yakutia for general*

*construction cements in order to achieve its sulfate resistance, which makes it possible to expand the possibilities of using Portland cement for concrete, to use it in conditions of sulfate aggression. The Republic of Sakha (Yakutia) has a significant reserve of natural aluminosilicate sands or the so-called "mountain sands". One of the areas of work and developed quarries of mountain sands in Yakutia is the birthplace of the "Kildyam areas of application", which today are based and underlay road surfaces, given the possibility of obtaining intensive use based on this sand. and the sulfate resistance coefficient. As a result of the work, an active mineral formulation was proposed based on the sand of the Kildyam deposit in cement, which gives stability. the coefficient of sulfate resistance of a high degree of 0.95 with the preservation of brand strength and hydration processes.*

### **Информация об авторах**

**Васильева Дарья Вячеславовна**, старший преподаватель кафедры «Производство строительных материалов, изделий и конструкций». E-mail: omsvdv2910@mail.ru. Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. Россия, 677000, Якутск, ул. Кулаковского, д. 50.

**Попов Александр Леонидович**, доцент кафедры «Производство строительных материалов, изделий и конструкций». E-mail: surrukin@gmail.com. Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. Россия, 677000, Якутск, ул. Кулаковского, д. 50.

**Местников Алексей Егорович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Производство строительных материалов, изделий и конструкций». E-mail: mestnikovae@mail.ru. Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. Россия, 677000, Якутск, ул. Кулаковского, д. 50.

### **Information about the author**

**Vasileva, Daria V.**, Senior Lecturer. E-mail: omsvdv2910@mail.ru. North-Eastern Federal University. Russia, 677000, Yakutsk, st.Kulakovskogo, 50.

**Popov, Aleksandr L.**, docent. E-mail: surrukin@gmail.com. North-Eastern Federal University. Russia, 677000, Yakutsk, st.Kulakovskogo, 50.

**Mestnikov, Alexey E.**, doctor of technical sciences, professor. E-mail: mestnikovae@mail.ru. North-Eastern Federal University. Russia, 677000, Yakutsk, st. Kulakovskogo, 50.

**<sup>1,2</sup>Таскин Андрей Васильевич, <sup>1,2</sup>Федюк Роман Сергеевич, <sup>2,3</sup>Иванников Сергей Игоревич, <sup>1,2</sup>Федотов Демьян Романович, <sup>1,2</sup>Кулаков Никита Дмитриевич**

## **ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ИЗВЛЕЧЕНИЮ НЕДОЖОГА ИЗ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ**

<sup>1</sup>*Дальневосточный федеральный университет, Политехнический институт (Школа), 690922, г. Владивосток*

<sup>2</sup>*ООО «ЛПИ», г. Владивосток*

<sup>3</sup>*Институт химии ДВО РАН, г. Владивосток*

**Аннотация.** В работе рассматриваются вопросы утилизации золошлаковых отходов при производстве различных материалов на основе предприятий энергетики Приморского края. Изучен химический состав золошлаковых смесей и возможности изготовления строительных материалов на их основе.

**Ключевые слова:** бетон, геополимеры, золошлаковые отходы, портландцемент, шлаки, экология.

Известно множество методов по переработке золошлаковых отходов угольных ТЭЦ и извлечению из них ценных компонентов. На рисунке 1 показаны основные ценные компоненты, входящие в состав золошлаковых отходов, методы их переработки и последующего использования. Рассмотрим основные способы использования ЗШО и тенденций развития технологий их предварительного обогащения на зарубежных и отечественных угольных электростанциях в целях получения полезных продуктов. С учетом того факта, что ориентировочно на 10% отечественных ТЭС золошлаки удаляются сухим способом, а основная масса – мокрым с образованием при этом занимающих огромные площади мокрых золоотвалов [1], рассмотрим возможности использования и тенденции развития сухих и мокрых способов обогащения.

*Механическая активация золы* — это процесс, в котором измельченные остатки сжигания топлива (зола) подвергаются механическому воздействию для увеличения их активности. Главная цель этого процесса — повышение реакционной способности золы, то есть способности вступать в химические реакции. Механическая активация может проводиться различными способами: измельчением, измельчением с применением грануляторов, механохимической активацией и др. Благодаря такого рода обработке, зола трансформируется в высокоактивный материал с мелкодисперсной структурой, что позволяет ее эффективно использовать в различных областях, включая строительство, металлургию и др.

Как уже было сказано выше одной из проблем утилизации золы является влияние несгоревшего угля, эта проблема сказывается и при производстве цемента и бетонов из ЗШО.

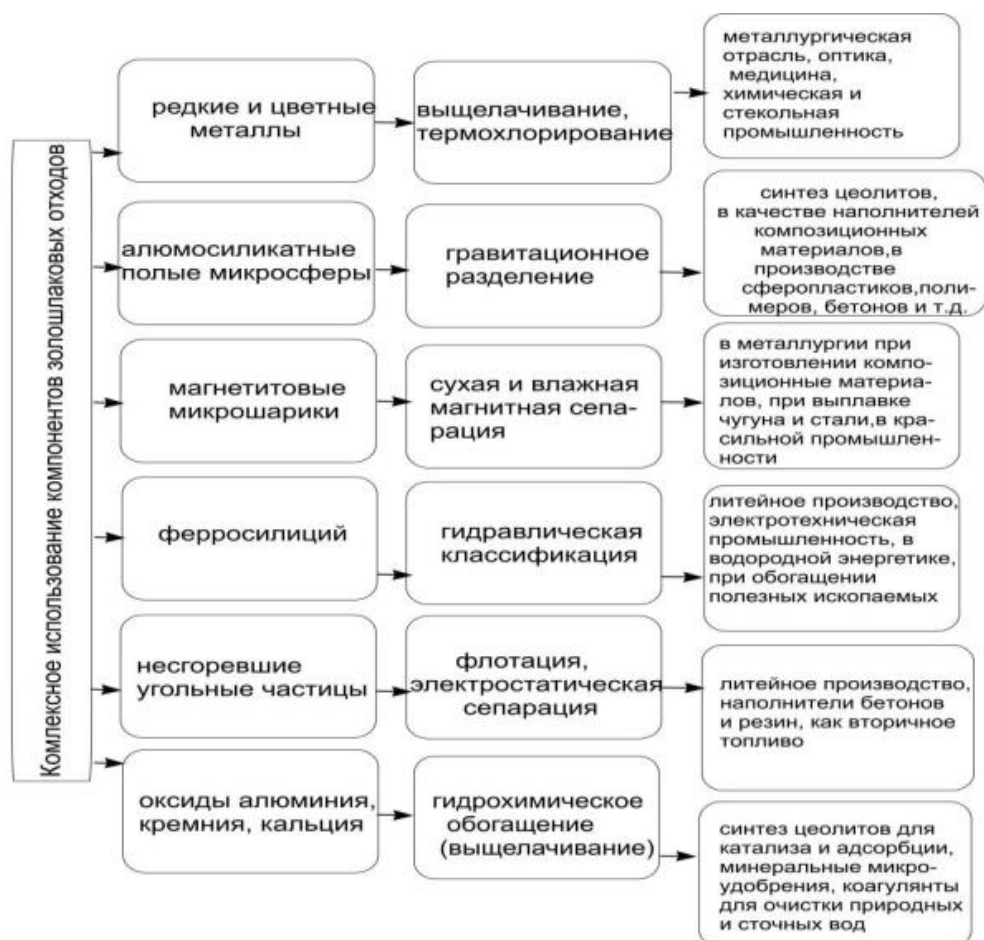


Рисунок 1 - Основные ценные компоненты, входящие в состав золошлаковых отходов и методы их переработки [2]

В соответствии с требованиями стандарта ASTM C618 содержание углерода не должно превышать 6%, чтобы не допустить обесцвечивания бетонной смеси, избыточного проникновения в нее воздуха и сегрегации свежей бетонной смеси. Были проведены опыты [2] механической активации образцов ЗШО двух электростанций Индонезии. Образцы содержали не более 2.2% углерода. Их подвергали измельчению в шаровой мельнице в течение 8 ч. Установлено, что прочность бетона на основе измельченной летучей золы оказалась значительно выше прочности бетона, полученного с неизмельченной летучей золой [3].

Для многих отечественных ТЭС, работающих на углях различного минералогического состава, должно представлять интерес предложение специалистов ОИВТ РАН использовать золу Черепетской ГРЭС, сжигающей угли разных сортов с шести месторождений [4]. Была проверена возможность получения на основе золы этой ГРЭС аглопорита – наполнителя легких бетонов, пригодного для производства изделий и конструкций домостроения и дорожного строительства. Для повышения качества материалов был применён метод механической активации.

*Сухая магнитная сепарация золы* — это процесс отделения магнитных компонентов золы от немагнитных. Это осуществляется с помощью магнитных сепараторов, которые применяют магнитное поле для притягивания магнитных

частиц. В процессе сухой магнитной сепарации зола проходит через магнитный сепаратор, где магнитные частицы золы притягиваются к магниту и таким образом отделяются от остальных компонентов. Этот метод позволяет эффективно извлекать ценные магнитные минералы из золы, которые могут быть использованы в различных областях, в том числе в металлургии, строительстве и прочее. Сухая магнитная сепарация обладает рядом преимуществ, включая более высокую эффективность (по сравнению с мокрой магнитной сепарацией), более низкую стоимость и более простую технологию.

Метод сухого магнитного обогащения был применён для разделения на фракции золы уноса Кемеровской ГРЭС: немагнитную (выход 92.3%), магнитную (выход 4.5%) и легкую (выход 1.8%), состоящую из микросфер [5]. Основная часть золы уноса (выход 66%) состоит из частиц размером менее 50 мкм. Зола уноса с частицами 90–180 мкм содержит 88.8% микросфер. Анализ содержания несгоревшего углерода по фракциям показал, что основная его доля приходится на фракцию частиц размером менее 80 мкм (содержание углерода около 4%). По предлагаемой технологической схеме [5] зола из электрофильтра поступает в пылеуловитель, а оттуда в циклон. Очищенный до предельно допустимых концентраций вредных веществ воздух выбрасывается в атмосферу, а нижние продукты двух магнитных сепараторов поступают на ленточный транспортер. Над ленточным транспортером расположен магнитный сепаратор (типа RCYD-5), выделяющий магнитную фракцию, содержащую 25%  $Fe_2O_3$ , и немагнитную, содержание в которой  $Fe_2O_3$  составляет 6%.

*Электростатическая сепарация золы* — это процесс, который использует принцип электростатического притяжения для отделения различных компонентов золы на основе их электростатических свойств. Во время процесса зола проходит через электрическое поле, где различные компоненты золы, обладающие разной способностью к накоплению электрического заряда, отделяются друг от друга. Этот метод позволяет отделить тяжелые минералы от легких, а также ферромагнитные и парамагнитные материалы от диамагнитных.

Электростатическая сепарация является эффективным методом обогащения угольной золы и позволяет получить качественное сырье для различных областей применения, включая металлургию, строительство, производство керамики и др. Также отметим, что данная технология является экологичной, так как в процессе ее применения не используются химические реагенты.

Фирма Separations Technologies LLC (ST) (США) разработала технологию кондиционирования золы угольных ТЭС, в основе которой лежит применение электростатического сепаратора [6]. Исходная сухая зола (содержание влаги 0.2%) из бункера поступает в аэрационный желоб и оттуда через питатели в рабочий зазор питателя, а затем в зону между двумя противоположно заряженными горизонтальными электродами (рисунок 2). Угольные и минеральные частицы движутся по транспортерной ленте в поле высокого напряжения между электродами в противоположных направлениях и “сметаются” в соответствующие контейнеры. Опыт эксплуатации обогатительных установок показал, что можно получать очищенную от

недожога золу, соответствующую требованиям стандарта, как непосредственно после электрофильтров (сухая зола), так и из золоотвалов (прудов-отстойников). В последнем случае золу подвергали сушке (с 20% влажности до 0.2%). Из исходной золы, содержащей от 4 до 25% недожога, на установках с сепараторами ST получают золу содержанием углерода от 1.5 до 4.5%. Такой продукт соответствует требованиям, предъявляемым к содержанию ингредиентов в производстве бетонов. Углеродный продукт пригоден для использования в виде топлива [2].

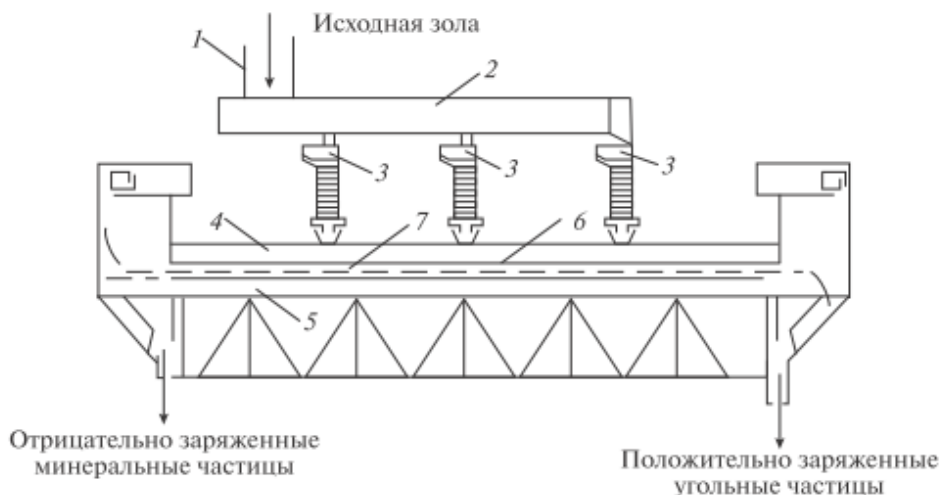


Рисунок 2 - Схема электростатического сепаратора ST.

- 1 – бункер золы; 2 – аэрационный питающий желоб; 3 – питатели; 4 – положительный электрод; 5 – отрицательный электрод; 6 – рабочий зазор менее 1.27 см;  
1. 7 – транспортерная лента [6]

*Гидравлическая классификация золы* — это процесс разделения золы на фракции различного размера с помощью потока воды. В процессе гидравлической классификации золы, материал подаётся в классификатор, где он встречает поток воды, который разделяет частицы золы по их размеру и плотности. Более тяжелые и крупные частицы обычно оседают быстрее и собираются в нижней части устройства, тогда как меньшие и более легкие частицы остаются в верхней части потока. Гидравлическая классификация позволяет значительно увеличить качество получаемой золы, а также существенно упростить процесс ее дальнейшего использования. Получившиеся после классификации фракции золы могут быть использованы в различных областях, в том числе в строительстве, металлургии и др.

В качестве примера использования гидравлической классификации для получения обезуглероженного зольного продукта, отвечающего требованиям технологий производства стройматериалов, можно привести установку фирмы Schauenburg MAB (Германия), размещенную на подмосковной ТЭЦ-22. С помощью данной установки можно получать различные фракции золы с частицами размером 16–32, 8–16, 3–8 и 0–3 мм. При разделении исходного материала ЗШО по классам крупности было выявлено что нижний продукт гидроклассификатора (0–3 мм) представлен в основном зольными частицами. Сгущенный продукт гидроциклона, содержит углерод (недожог) и мелкие

частицы золы, и после фильтрации на ленточном вакуум-фильтре может быть использован для использования в качестве топлива на действующей ТЭЦ.

В настоящее время работают более 20 подобных установок. Отмечая надежность и эффективность данной технологии, следует отметить, что гидроклассификация не позволяет получить угольный продукт, в значительной мере очищенный от золы частиц. Этот способ эффективен при постоянстве качества каменного угля, используемого на ТЭС, что не характерно для отечественных электростанций, работающих зачастую на углях, поступающих с различных угольных бассейнов и имеющих разный минералогический состав. Кроме того, в установке гидроклассификации отсутствует операция удаления железосодержащих минералов, присутствие которых в золопродукте может отрицательно сказаться на направлениях его дальнейшего применения.

*Комплексные технологии обогащения* угольной золы основаны на сочетании физико-химических методов обогащения полезных компонентов в золе, образующейся при сжигании угля. Часто применяется сочетание методов включая грануляцию, флотацию, магнитную сепарацию, механическую активацию и др. Основной целью внедрения таких комплексных технологий является минимизация вредного воздействия золы на окружающую среду, а также получение из нее вторичного сырья, которое может быть использовано в различных отраслях промышленности.

Примером такого комплексного подхода к получению ценных продуктов из золы угольных теплоэлектростанций может служить концепция ОИВТ РАН. На основании результатов исследования процессов обогащения и переработки летучей золы ряда российских угольных ТЭС разработана технологическая схема, позволяющая в значительной мере извлечь несгоревший уголь и железосодержащие частицы и получить алюмосиликатный продукт для производства ряда стройматериалов.

Согласно схеме цепи аппаратов, позволяющей получить из летучей золы магнитный (Fe-содержащий), углеродный и алюмосиликатный продукт (рисунок 3), зольная суспензия поступает в приемный чан с мешалкой, предназначенный для сглаживания колебаний потока. Из чана зола через пульпоразделитель поступает в два параллельно (или последовательно) стоящих ленточных электродинамических сепаратора (ЭДС). В одном из вращающихся барабанов сепараторов размещен вращающийся ротор из постоянных магнитов. В проводящих частицах золы под действием вращающегося магнитного поля возникают вихревые токи, приводящие к образованию магнитных полей вокруг этих частиц. Взаимодействие индуцирующего и наведенного полей приводит к разделению железосодержащих частиц и частиц золы. Немагнитная фракция, содержащая алюмосиликаты и частицы углерода, направляется в контактный чан, где суспензия обрабатывается реагентами (собирателем и пенообразователем), подаваемыми через питатель. Из чана суспензия поступает во флотационную машину, где происходит разделение так называемого грубого углеродного концентрата на пену, которая затем поступает во флотационную машину, где происходит операция повторной очистки. Камерный продукт из



флотационной машины возвращается в основную флотационную головку. Полученный углеродный концентрат, содержащий 68-80 % углерода (зольность 20-32 %), может быть использован в качестве дополнительного топлива к углю, поставляемому на ТЭЦ [7].

Камерный (алюмосиликатный) продукт флотационной машины перекачивается на обезвоживание, затем в хранилища и далее используется в различных направлениях. Содержание углерода в алюмосиликатном продукте в среднем составляет 2-4 %, а  $Fe_2O_3$  – 3-4%. В случае дополнительных требований к его качеству содержание углерода можно снизить до 0,5-0,6 %.

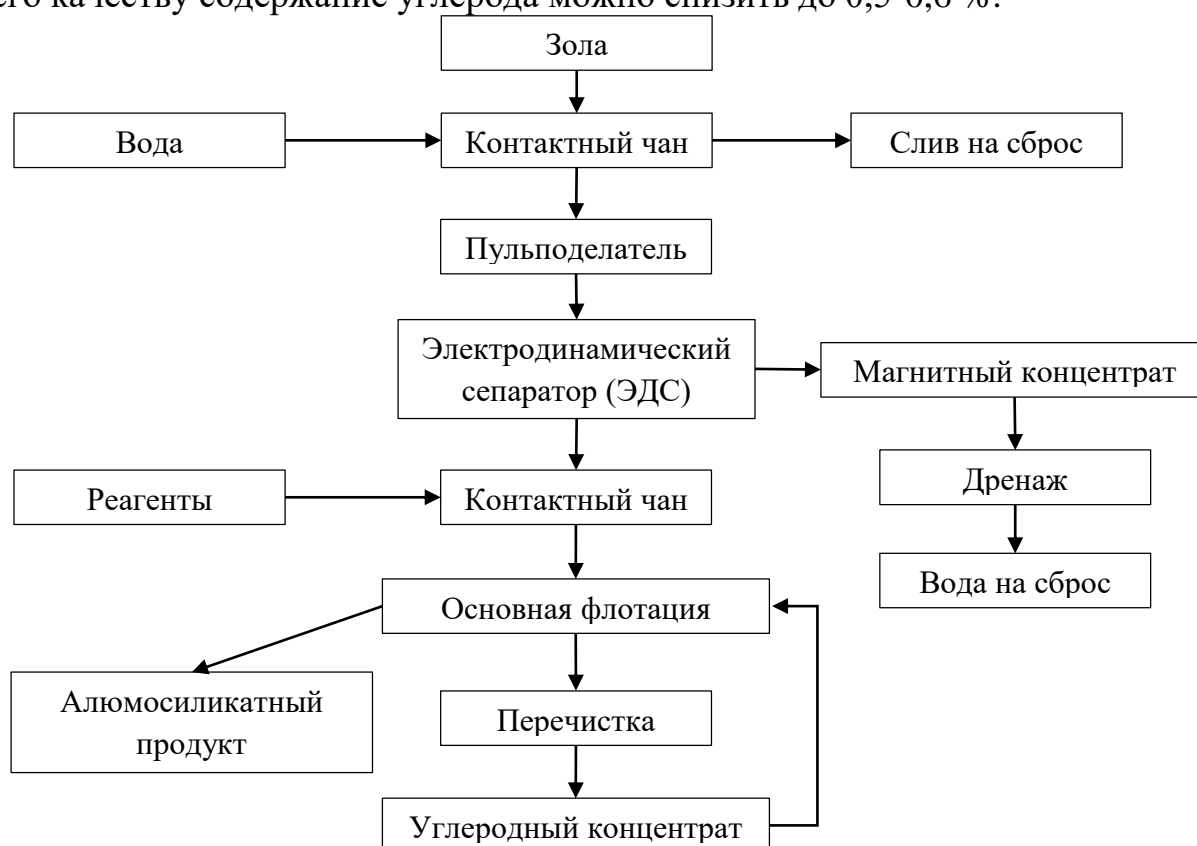


Рисунок 3 - Схема цепи аппаратов для технологии получения магнитного (Fe-содержащего), углеродного и алюмосиликатного продукта из золы уноса [7]

Поскольку при практически любой схеме переработки золошлаковых отходов угольных ТЭЦ одним из первых и ключевых этапов является отделения недожога угля, рассмотрим более подробно основные методы отделения недожога. Понимание особенностей минералогии несгоревшего углерода чрезвычайно важно для последующей сепарации [8]. В настоящее время основными методами отделения несгоревшего углерода от золы являются просеивание, гравитационная сепарация, электростатическая сепарация, флотация. Минералогические характеристики несгоревшего углерода сильно зависят от типа угля, температуры сжигания, технологии сжигания, соотношения воздух/топливо и размера частиц исходного угля, что определяет методы разделения. Последние работы, касающиеся минералогических особенностей несгоревшего угля, влияющих на сепарацию, обобщены в соответствии со следующими характеристиками следующие характеристики: (1) образование и

состав, (2) размер и распределение плотности, (3) поверхность и распределение плотности; (3) химический состав поверхности, (4) морфология частиц и распределение пор по размерам. (4) морфология частиц и распределение пор по размерам, и (5) свойства заряда следующие характеристики: (1) образование и состав, (2) размер и распределение плотности, (3) химический состав поверхности, (4) морфология частиц и распределение пор по размерам, (5) свойства заряда [8].

Результаты исследования получены при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Договор между Федеральным государственным бюджетным учреждением «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» и ООО «ЛПИ» № 4895ГС1/83515 от 16 февраля 2023 г.)

#### **Список литературы:**

1. Тумановский А. Г. и др. Технические решения по использованию золошлаковых отходов Каширской ГРЭС // Энергетик. – 2014. – №. 4. – С. 27-31.
2. Афанасьева О. В. и др. Комплексное использование золошлаковых отходов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2015. – №. 7-8. – С. 26-36.
3. Satrya V. et al. Simple mechanical beneficiation method of coarse fly ash with high LOI for making HVFA mortar // Civil Engineering Dimension. – 2015. – Т. 17. – №. 1. – С. 38-43.
4. Делицын Л. М. и др. Возможности использования золы Черепетской ГРЭС для производства полезной продукции (аглопорита) // Теплоэнергетика. – 2010. – №. 7. – С. 67-69.
5. Темникова Е.Ю., Богомолов А.Р., Полтавец А.В., Сысолятин А.С. Перспективы использования золы уноса Кемеровской ГРЭС // Вестник Кузбас. гос. техн. ун-та. – 2017. – № 1. – С. 90—96.
6. Baker L., Gupta A., Gasiorowski S. Triboelectrostatic beneficiation of land filled fly ash // Proc. 6th World of Coal Ash (WOCA) Conf., Nashville, TN. – 2015. – С. 5-7.
7. Рябов Ю. В. и др. Флотация углерода из золы уноса Каширской ГРЭС // Обогащение руд. – 2013. – №. 4. – С. 35.
8. Xing Y. et al. Separation of unburned carbon from coal fly ash: A review // Powder Technology. – 2019. – Т. 353. – С. 372-384.

### **Мамедов Джейхун Эльхан Оглы, Мамедов Эльнур Эльхан Оглы АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ МОНОЛИТНОГО ЗДАНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ**

*Тамбовский государственный технический университет; кафедра  
«Конструкции зданий и сооружений», 392000 г. Тамбов, ул. Советская, д.106*

**Аннотация:** В настоящем исследовании представлен анализ напряженно-деформированного состояния плиты перекрытия монолитного железобетонного здания. Расчет на прогрессирующее обрушение выполнялся в программном комплексе Autodesk Robot Structural Analysis 2019. Представлена схема наиболее вероятного механизма начала обрушения. Предложен вариант усиления, а также представлен сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния до и после проведения мероприятий по усилению.

**Ключевые слова:** армирование, железобетонный каркас, монолитное здание, прогрессирующее обрушение, статический расчет

Изучение прогрессирующего обрушения является важным аспектом для инженеров и строителей, чтобы проектировать более надежные и безопасные конструкции, способные противостоять возможным прогрессирующим обрушениям в экстремальных условиях. Причины прогрессирующего обрушения достаточно разнообразны. Одной из основных причин прогрессирующего обрушения является исходное локальное разрушение элемента или участка конструкции. Это может быть вызвано различными факторами, такими как износ, повреждение, дефекты, ошибки в проектировании или изготовлении, а также внезапные воздействия, например, взрывы или землетрясения.

Целью данного исследования является установление необходимости и расчет мероприятий по защите несущих конструкций каркаса монолитного многоэтажного здания от прогрессирующего обрушения в случае наступления ситуации аварийного характера. Сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния несущих конструкций общественного здания при расчете на прогрессирующее обрушение и проектирование и расчет методов защиты от прогрессирующего обрушения с применением расчетного автоматизированного комплекса Autodesk Robot Structural Analysis 2019 [1].

Схемы с расположением несущих элементов, 3D модель несущего каркаса, разрез здания представлены на рисунке 1.

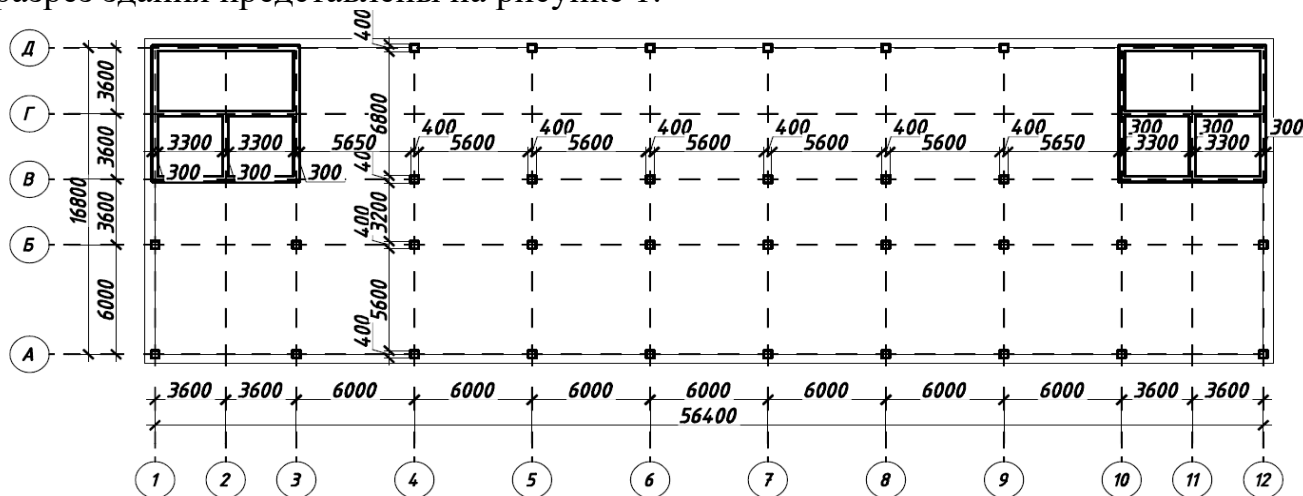


Рисунок 1- Схема типового этажа здания с расположением колонн

Рассматриваемое в подразделе здание представляет из себя многоэтажное общественное здание. Анализ напряженно-деформированного состояния плиты перекрытия первого этажа и анализ несущей способности несущих элементов каркаса здания при различных механизмах возможного прогрессирующего разрушения производился в среде Autodesk Robot Structural 2019. С целью проведения данного исследования задавалась BIM-модель здания в программе Autodesk Robot Structural 2019 согласно чертежам 2D по данному объекту.

Здание запроектировано по каркасной конструктивной системе с полным каркасом, стены выполнены самонесущими. Перекрытие и покрытие сделано из монолитного железобетона класса В35.

В проекте запроектированы перекрытия и покрытия балочные из монолитного железобетона класса В35. Толщина плитной части перекрытия и покрытия 120 мм. Плиты армируются сетками из арматуры класса В500 и стержнями из арматуры класса А400. Балки перекрытия расположены в 2-х взаимно перпендикулярных направлениях и имеют сечение 40х60(h) см. Армируются стержневой арматурой класса А400. Колонны - монолитные железобетонные, сечением 400х400 мм из тяжелого бетона класса В35. Класс арматуры колонн - А400. Балки - монолитные железобетонные, сечением 400х600 мм из тяжелого бетона класса В35. Класс арматуры колонн - А400.

Анализ несущей способности элементов каркаса при прогрессирующем обрушении и элементы, несущая способность которых не обеспечивается в этом случае представлено на рисунке 2.

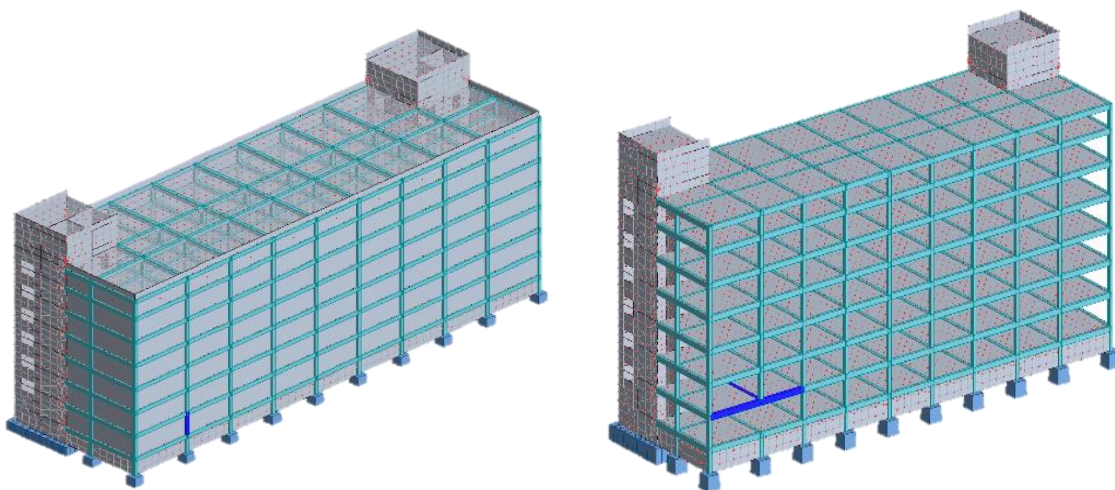


Рисунок 2 - Наиболее вероятные механизмы начала прогрессирующего обрушения с выключенными из работы каркаса элементами (слева) и элементы, несущая способность которых не обеспечивается (справа)

Нагружение здание производилось из расчета сбора нагрузок согласно действующей нормативной документации [2].

Схема усиления по крайнему и среднему ряду колонн представлена на рисунке 3. Усиление среднего ряда колонн выполнено в 2-х взаимно перпендикулярных направлениях [3, 4]. Усиление выполнено на чердачном

этаже здания, а также на всю высоту здания установлены крестовые связи между осями А-Б и Г-Д, связи проходят по цифровым осям 1; 5; 8 и 12. Отображение усиления на 3D расчетной схеме представлено на рисунке 3.

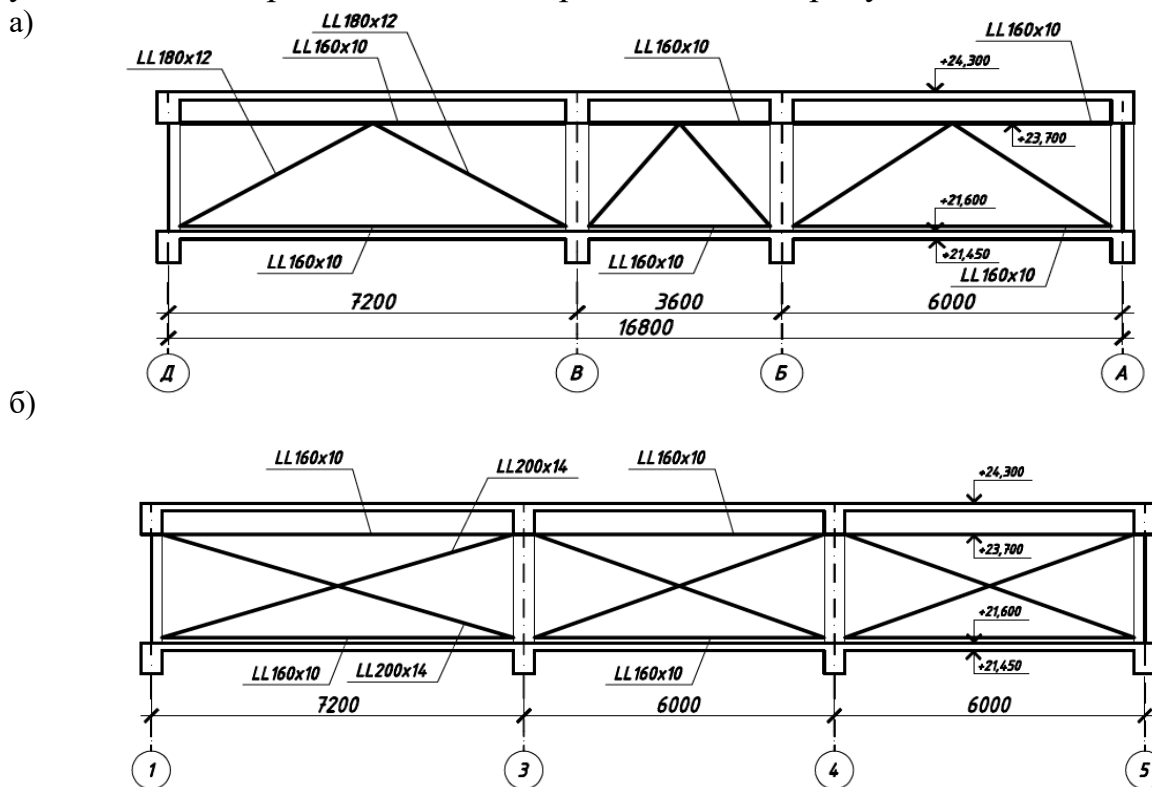


Рисунок 3 - Усиление конструкций чердачного этажа: а) по средним колоннам; б) по крайним колоннам.

На рисунках 4 и 5 представлено напряженно-деформированное состояние плит перекрытия первого этажа при расчете расчетных схем соответственно при выключенным из работы элементе.

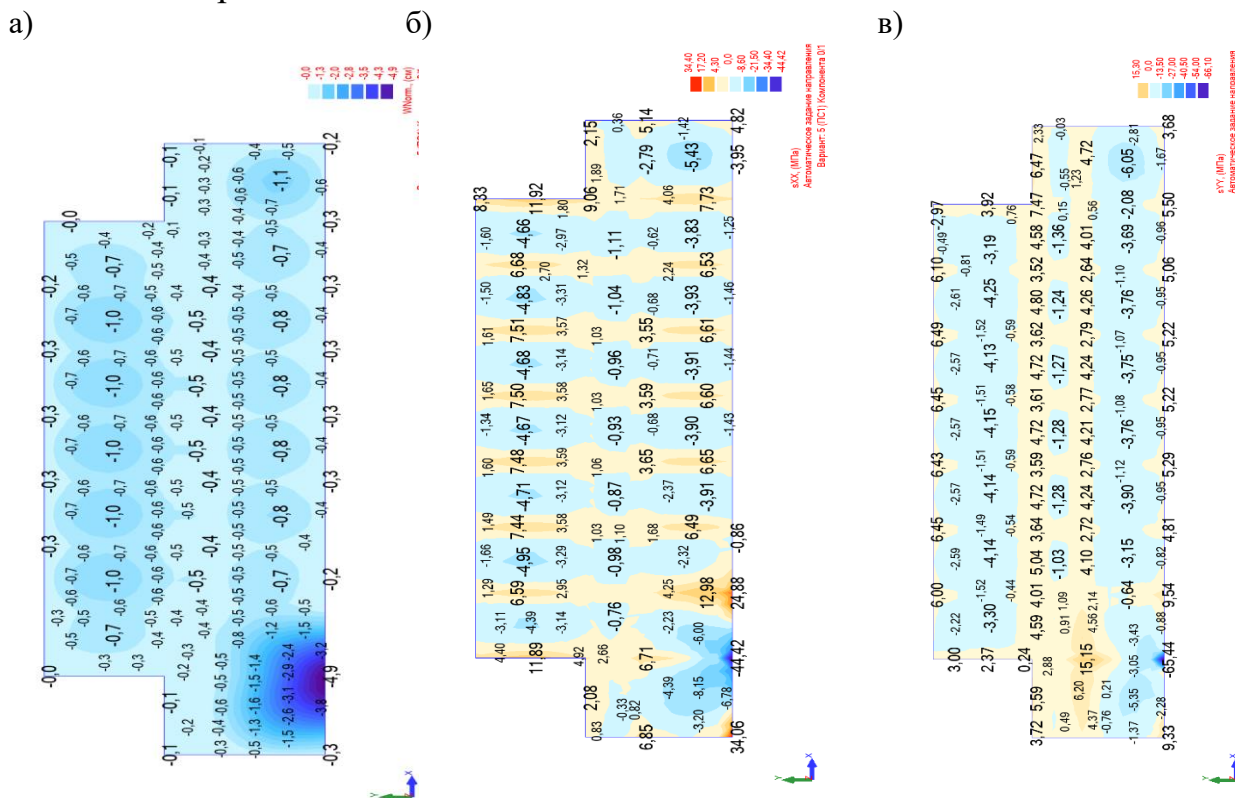


Рисунок 4 - Напряженно-деформированное состояние плиты перекрытия первого этажа при расчете вторичной расчетной схемы при удаленном элементе до усиления  
 а) вертикальные деформации плиты, см; б) нормальные напряжения  $\sigma_{yy}$ , МПа; в) нормальные напряжения  $\sigma_{xx}$ , МПа;

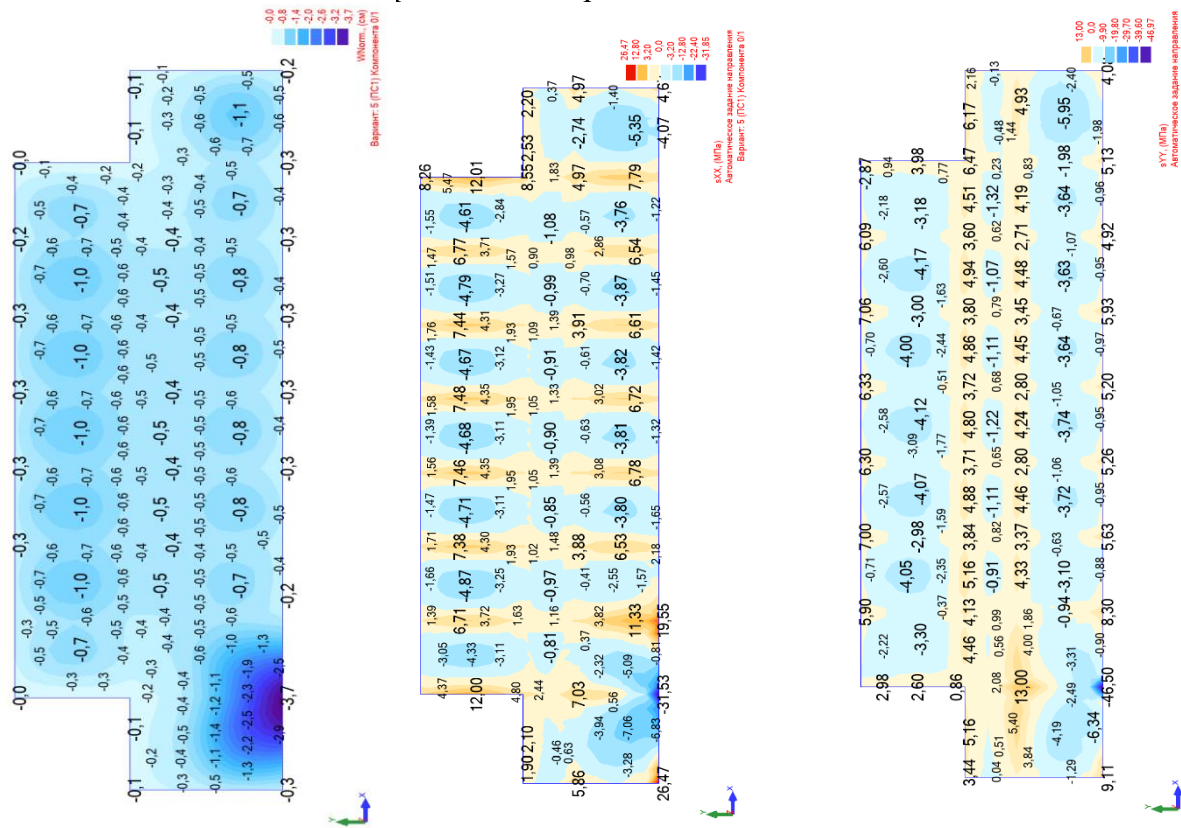


Рисунок 5 - Напряженно-деформированное состояние плиты перекрытия первого этажа при расчете вторичной расчетной схемы при удаленном элементе после мероприятий по усилению: а) вертикальные деформации плиты, см; б) нормальные напряжения  $\sigma_{yy}$ , МПа; в) нормальные напряжения  $\sigma_{xx}$ , МПа.

Как видно из таблицы 1 и рисунков 4 и 5 при отсутствии мероприятий по усилению каркаса многоэтажного общественного здания при выключении элемента из работы, происходит локальное обрушение плиты перекрытия. Защита здания от прогрессирующего обрушения позволяет предотвратить цепное разрушение несущих конструкций при удалении из расчетной схемы элемента [5].

Таблица 1 - Сравнительный анализ несущей способности стержневых элементов каркаса общественного здания при выключении из работы элемента

Наименование параметра	Единица измерения	Значение параметра по первичной расчетной схеме	Вторичная расчетная схема без усиления		Вторичная расчетная схема усиленный вариант	
			значение параметра	изменение относительно первичной схемы, %	значение параметра	изменение относительно первичной схемы, %
1	2	3	4	5	6	7
$ \sigma_{xx}(\max) $	МПа	1,74	Локальное разрушение		7,1	308,0

$ \sigma_{yy}(\max) $	МПа	1,75	плиты перекрытия	4,2	140,0
Деформация плиты по оси z (прогиб)	см	-1,30		-3,7	184,6

### Список литературы:

1. Методы расчета каркасных зданий из монолитного железобетона на прогрессирующее обрушение на примере 17-этажного жилого дома / Радченков А.В., Аксенов В.Н. // Инженерный вестник Дона 2016 №4 (2016) - 12 с.
2. Ерофеев, А. В. Надежность прогноза работоспособности строительных материалов, изделий и конструкций как один из факторов экономической безопасности предприятия / А. В. Ерофеев // Стратегии противодействия угрозам экономической безопасности России : Материалы II Всероссийского форума по экономической безопасности. Выпуск II, Тамбов, 05–06 июня 2019 года. Том 2. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", 2019. – С. 63-66.
3. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*/Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций им. В.А.Кучеренко, 2016.
4. Данилов, В. М. Возможности программного комплекса ANSYS для решения научно-практических задач в строительстве / В. М. Данилов, А. В. Ерофеев, Т. И. Горохов // Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2021. – № 1. – С. 182-185.
5. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. М.: НИИЦ, 2005. 71 с.
6. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения. М.: НИИЦ, 2006. 59 с.
7. Расчетно-конструктивные методы защиты от прогрессирующего разрушения железобетонных монолитных каркасных зданий / Е.В. Домарова // Вестник ИрГТУ 2015 №10 (105) С. 123-129 - 7с

**Савенков Андрей Иванович, Плосконосова Алена Олеговна  
ПРИМЕНЕНИЕ В КОНСТРУКЦИЯХ ПЕРЕКРЫТИЙ  
МОНОЛИТНОГО ПЕНОБЕТОНА**

*Ангарский государственный технический университет, кафедра ПГС  
665831, Ангарск, Иркутской области, ул. Чайковского, 60.*

**Аннотация:** В статье приводится решение облегченных металлических перекрытий с применением монолитного пенобетона. При этом: конструкции защищены от огня, габарит перекрытия не превышает высоты сечения, обеспечена общая устойчивость металлических балок перекрытий.

**Ключевые слова:** балочные перекрытия, монолитный пенобетон, огнестойкость, сейсмостойкость, общая устойчивость.

Современные взгляды на строительство, предполагают ответственность строителя не только за прочность здания, но и за энергосбережение. Появление новых обязательств приводит к поиску новых решений конструкций зданий. Универсальных решений не существует и материалы, являющиеся лучшим для конструктивных целей, для которых отработаны узлы и конструкции, оказываются не самым удачным выбором для теплоизоляции зданий. Увеличение толщины слоя конструктивного материала зачастую либо невозможно, либо крайне увеличивает стоимость здания и является неоптимальным.

Все эти доводы приводят к появлению в конструкции здания еще одного современного материала, задачей которого является теплоизоляция и не только. В качестве такого материала может быть предложен пенобетон теплоизоляционных марок по плотности в монолитном варианте. Монолитный пенобетон абсолютно негорюч, применяется в огнезащитных конструкциях, создает слой теплоизоляции и может быть залит в конструкции практически любой формы, а также он долговечен и экономичен по цене.

В данной статье рассматриваются конструкции, выполненные из гнутых тонкостенных элементов, в совокупности с монолитным неавтоклавным пенобетоном, используемым в качестве теплоизоляционного и звукоизоляционного слоя. Пенобетон как материал заполнения каркаса, дешев и эффективен, но ввиду его недостаточной прочности, сам по себе не может применяться для несущих конструкций. Наиболее подходящим его использованием может являться совместная работа с элементами стального каркаса при непосредственном приготовлении на стройплощадке. В этом случае решается двойная задача: монолитный пенобетон придает стальным балкам и колоннам повышенную коррозионную и огнестойкость. Также следует отметить, что металлические балки перекрытий, находящиеся в пенобетоне, возможно получают при этом дополнительную общую устойчивость, но в настоящее время расчет таких элементов ведется без учета фактора стесненности, вызванного влиянием пенобетона, облегающего балки [1].

Ранее исследовалась совместная работа пенобетона с металлическим каркасом в ограждающих конструкциях [2]. В данной статье предлагается рассмотреть балочное перекрытие из гнутого швеллера 200x80x4 совместно с уголком 100x4 (рис. 1). При таком расположении уголка общая устойчивость обеспечена благодаря облеганию балки пенобетоном, а также следует заметить, что при производстве работ по устройству перекрытия более технологично укладывать профлисты жесткостью поперек оси балок, а в дальнейшем заполнять межбалочное пространство пенобетоном до верха балки (рисунок 1). В практике проектирования металлических каркасов, совмещенных с наружным ограждением, влияние стесненности не учитывается, так как на данный момент недостаточно изучено влияние на величину несущей способности той



пенбетонной среды, в которой работают металлические стойки и балки перекрытий, и это не отображено в нормативных документах. Расчет элементов каркаса ведется без учета фактора стесненности, согласно СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» (Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*).



Рисунок 1 – Фрагмент сечения перекрытия. 1-Балка; 2-Профлист; 3-Пенбетон D500-600; 4-Огнестойкие плиты подшивки потолка.

Для примера рассмотрено перекрытие здания офиса с сеткой колонн 6x6 (рисунок 2) с полезной нагрузкой 200 кг/м<sup>2</sup>, согласно СП20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» (т.8.3). По сравнению с собственным весом Ж/Б перекрытия по [4], при котором толщина слоя бетона 160мм, и весом 420 кг/м<sup>2</sup>, вес данного перекрытия с пенбетонном составляет 260 кг/м<sup>2</sup>, что на 38% легче, а следовательно, ниже материалоемкость и стоимость перекрытий.

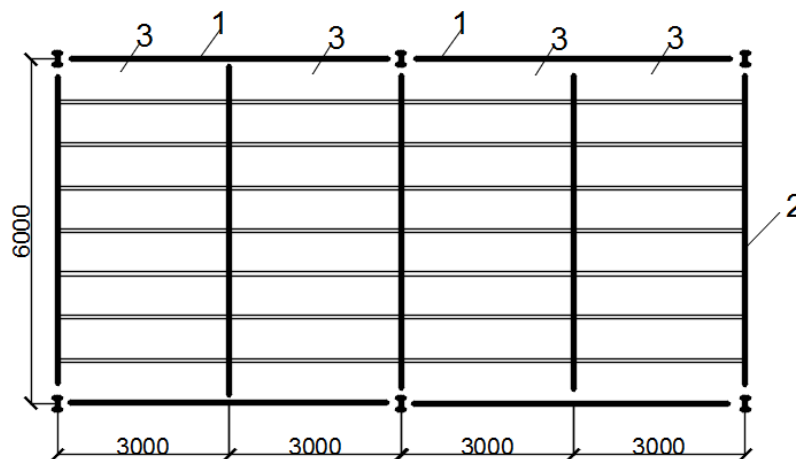


Рисунок 2 – Схема балок перекрытия с сеткой колонн 6x6. 1 – балки каркаса, 2 – балки из составного профиля, 3 – плита профнастила.

В свою очередь, снижение собственного веса перекрытия повышает сейсмическую стойкость здания, что особенно актуально при строительстве в сейсмоопасных регионах России.

Таким образом, можно утверждать, что:

- габарит перекрытия не превышает высоты сечения несущего швеллера;
- металлические конструкции находятся в среде теплоизолятора, что повышает их огнестойкость;

- процесс строительства более оптимален за счёт более простой технологии проведения монтажных работ, обеспечиваемых техникой небольшой грузоподъемности и минимальным числом рабочих;
- для плиты перекрытия, сформированной из профиля Н75х0,7 и пенобетона Д500 не требуется установки стержневой арматуры, поскольку в межбалочном пролете жесткость гофрастила обеспечивается изгибными характеристиками гофролиста и вполне достаточна для обеспечения несущей способности плиты;
- обеспечена общая устойчивость металлических балок перекрытий.

Такое решение перекрытия является экономичным, технологически оптимальным и дополнительно отвечает требованиям сейсмостойкости.

### **Список литературы%**

1. Савенков А.И., Горбач П.С. Сборно-монолитные пенобетонные здания с металлическим каркасом. // Строим вместе. — Иркутск, 2007.
2. Савенков А.И., Плосконосова А.О. Металлические перекрытия с профплитой, заполненной пенобетоном. // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2022, №9 с.201-202.
3. Туснин А.Р. Облегченные перекрытия многоэтажных зданий со стальным каркасом // Промышленное и гражданское строительство. 2016. №10. С. 99-103.
4. СТО 047-2005. Перекрытия сталежелезобетонные с монолитной плитой по стальному профилированному настилу. -М.: ЦНИИПСК им. Мельникова, 2005.

### **References:**

1. Savenkov A.I., Gorbach P.S. Prefabricated monolithic foam concrete buildings with a metal frame. // Building together. — Irkutsk, 2007.
2. Savenkov A.I., Ploskonosova A.O. Metal floors with a profiled plate filled with foam concrete. // Modern technologies and scientific and technical progress. – 2022, No.9, pp.201-202.
3. Tusnin A.R. Lightweight overlappings of multi–storey buildings with a steel frame // Industrial and civil construction. 2016. No. 10. pp. 99-103.
4. STO 047-2005. Steel-reinforced concrete floors with a monolithic slab on a profiled steel flooring. -Moscow: TsNIIPSK named after Melnikov, 2005.

**УДК 721.021.23**

**Гагин Глеб Сергеевич, Петровский Антон Сергеевич**  
**ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СРЕДСТВО**  
**ОПТИМИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В**  
**СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*  
*Научный руководитель: Наумов А.Е., канд. техн. наук, доц.*

**Аннотация:** В строительстве автоматизация проектной деятельности может быть осуществлена через формализацию и моделирование рутинных операций, которые занимают большую часть времени и стоимости проектирования. Во время параметрического элементного проектирования требуется использование специализированной справочной и нормативной литературы, а также программного обеспечения, которые предоставляют необходимую информацию для качественной разработки. Создание и использование параметрических моделей зданий, сооружений и строительных конструкций, содержащих алгоритмы построения пространственных и макетных изображений объекта, могут значительно ускорить и оптимизировать проектную деятельность. Эти модели также обеспечивают необходимую алгоритмическую оснастку для автоматизированного конструирования в соответствии с нормативами или сценариями, разработанными пользователем. В статье приводится пример использования параметрических библиотечных элементов в разрезе информационного моделирования зданий и сооружений. На примере GDL объекта стальной фермы по серии «Молодечно», моделируемого в среде Graphisoft GDL для использования в программном комплексе ARCHICAD, демонстрируется эффективность работы с параметрической моделью, сокращающая трудоемкость проектной деятельности. В статье приводятся ключевые параметры объекта и примеры алгоритмов программной среды, а также производится оценка эффективности, определяются перспективы дальнейшего развития инструментария параметрического моделирования.

**Ключевые слова:** параметрическое моделирование, проектирование в строительстве, стальные конструкции, Archicad, GDL.

**Введение:** Эффективность строительной проектной деятельности в технологиях информационного моделирования определяется возможностью переноса высокодетализированного пространственного конструирования на ранние этапы проектной работы, осуществляемые в связанной среде и с элементами цифрового двойника здания. Это позволяет уменьшить изменчивость проекта и приведенную стоимость внесения изменений. Технология информационного моделирования является более эффективной проектной деятельностью, но требует более профессиональной подготовки исполнителей. Данный аспект на рынке труда в СНГ доставляет некоторые неудобства. Так как большая часть трудоспособного населения 40 лет. В эту выборку включены опытные инженеры и конструкторы, которые могли бы взять на себя ответственность и контроль за созданием информационных моделей. Но трехмерное информационное моделирование — это новая технология, развивающаяся на рынке проектных организаций в СНГ только последние 10 лет. И по данным на 29 марта 2021 года только у 12% российских девелоперов ТИМ стал стандартом для проектирования. Таким образом основная часть опытных инженерных кадров выпадает из выборки сотрудников, изначально владеющих инструментами информационного моделирования. На основании выше сказанного, можно сделать вывод, что ТИМ в данный момент может

раскрыть весь свой оптимизационный потенциал только при редком стечении кадровых и инструментальных возможностей. [2]

### **Основная часть.**

Одной из главных задач в использовании информационного моделирования в проектной организации является повышение кадровой и инструментальной обеспеченности для рационального использования ТИМ на практике. Целью проектирования является достижение этих задач, поскольку это необходимо для обеспечения эффективности и устойчивости процесса использования информационного моделирования.

Для повышения эффективности проектной деятельности в информационном моделировании необходимо решить задачи сокращения ресурсоемкости процесса проектирования путем программной автоматизации рутинных операций. Для эффективного решения таких задач можно использовать параметрическое моделирование, которое позволяет создавать программные апплеты, создающие топологически и информационно насыщенные элементы и связи информационной модели полностью автоматизировано.

Среди инструментов создания таких апплетов можно выделить среды и языки параметрического моделирования, которые присутствуют во всех современных программах информационного моделирования, как в открытом, так и в закрытом виде (доступном только разработчику). В программном продукте ПК ARCHICAD, который является одним из наиболее популярных и функциональных инструментов для информационного моделирования зданий, реализовано параметрическое моделирование в формате Geometric Description Language (GDL). GDL позволяет пользователям создавать параметрические модели в интуитивно понятном и функциональном интерфейсе, который полностью открыт для пользователей. Информация, собранная в параметрических моделях GDL, насыщается во внутренней среде программного комплекса, обеспечивая полную совместимость с разрабатываемыми информационными моделями. Это позволяет пользователям расширять функционал программы ARCHICAD самостоятельно, делать его более гибким, прикладным и клиентоориентированным, а также расширять область ее применения. Также это способствует корпоративной связности и информационной безопасности проектных процессов, которые все чаще выполняются в единой информационной среде. [3].

Расчетное и проектное обоснование принимаемых ферм покрытия при проектировании конструктивных решений осуществляется в соответствии с таблицами из серии «Молодечно» [4]. Ключевыми расчетными алгоритмами, формирующими рутинные проектные операции при конструировании стальных ферм, являются выбор пролета среди типоразмеров 18, 24 и 30м и выбор сечений профилей конструкции, также регламентируемые в серии в соответствии с расчетными нагрузками.

Создание параметрической модели включает формирование управляющих параметров, описание объемного представления (3D тела) и плоского изображения в макете (2D-символа), формирование спецификационных заданий

и, возможно, ограничений на изменение и содержание отдельных параметров модели, обеспечивающих ее безотказность и устойчивость. Параметрами, управляющими внешним видом и информационным наполнением модели фермы, управляемыми пользователем, являются выбор между предварительно спроектированными фермами по серии "Молодечно", а также гибко настраиваемые габаритные размеры конструкции, такие как высота края, наклон верхнего пояса, количество раскосов и сечение всех профилей в ферме (рисунок 1).

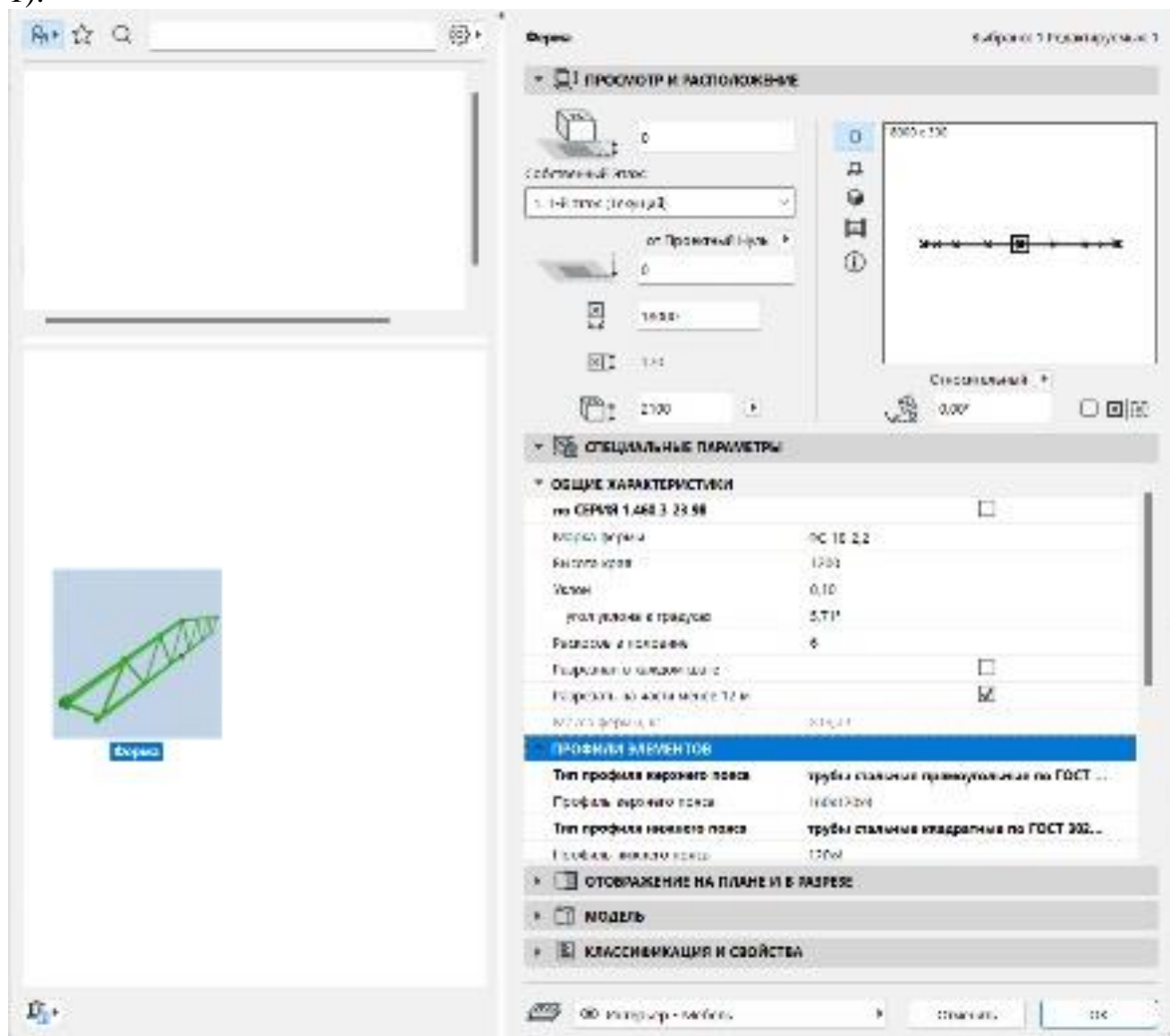


Рисунок 1 - Интерфейс объекта фермы по серии «Молодечно»

Модель содержит описание пространственного и плоского представления элементов, возможность отдельного отображения частей конструкции (сокрытия болтов), алгоритм установки стоек с изменяемыми параметрами пространственной рамы – сечениями раскосов и поясов по различным предварительно заданным сортаментам, количеством стоек в половине конструкции, настройкой толщин фасонки и перечень параметров отвечающих за разделение поясов в каждом шаге, или использования в модели деталей длиной не более 12 метров. На рис. 2 приведен фрагмент скрипта для описания

пространственного положения раскосов с учетом изменяемого наклона верхнего пояса.

```

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!R раскосы!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
dim r_el_geom[16][5]
gapFirst_r=0.05
gap_rv=0.015
gap_rrv=0.03
gap_rn=0.015
ssinto=ss-n_el_param[1][1]-v_el_param[1][1]/cos(uklang)

g1=gap_rn
nakl=1

for i=1 to n_r
  usRasr=drasr[int(i/2)+1]
  nakl=-nakl
  ang=uklang*nakl
  rW=r_el_param[i][1]
  g2U=not(usRasr)
  g2=gap_rv
  if usRasr then
    g2=v_tPlast+gap_rrv
    if i=1 then g2=gapFirst_v+v_tPlast+gapFirst_r
  endif
  if i=n_r then g2=vc_tPlast/2+gap_rrv

  usStart=(i-1*(nakl>0))*stp/2

  h1=usStart*ukl+ssinto
  h2=h1+stp/2*ukl*nakl

  if g2U then
    g2X=g2*cos(ang)
    g2Y=g2*sin(ang)
  else
    g2X=g2
    g2Y=g2*tan(ang)
  endif

  rDX=stp/2-g1-g2X : rDY=h2-g2Y
  rDAng=atn(rDY/rDX) : rD=rDX/cos(rDAng)

  rLDAng=asn(rW/rD) : rL=rD*cos(rLDAng)
  rAng=rDAng+rLDAng

  rTorAng=rAng-ang : rTorL=rW/tan(rTorAng)
  rLG=rL-rTorL

  r_el_geom[i][1]=usStart+g1*nakl
  r_el_geom[i][2]=rLG
  r_el_geom[i][3]=rAng
  r_el_geom[i][4]=rAng-90
  r_el_geom[i][5]=90-rAng+ang
next i

allW_r=0
for i=1 to n_r
  call "профиль к Молодечно" parameters macro="getWeight", el_type0=r_el_type0, el_type=r_el_type[i], el_lev="верх",
  el_length=r_el_geom[i][2], el_cut1=r_el_geom[i][4], el_cut2=r_el_geom[i][5], returned_parameters el_w
  allW_r=allW_r+el_w^2
next i
parameters allW_r=allW_r

```

Рисунок 2 -Скрипт расчета раскосов

## Вывод.

Результаты данного исследования показывают, что использование библиотек параметрических моделей конструкций может значительно улучшить эффективность информационного моделирования в условиях ограниченного

кадрового и программного обеспечения. Создание шаблонных проектируемых конструкций, узлов и элементов может расширить возможности используемого при проектировании программного обеспечения. Хотя создание параметрических моделей конструкций требует усилий и затрат, это окупается благодаря снижению количества проектных ошибок и повышению качества проектной продукции, зачёт сокращению рутинных операций и трудозатрат. Создание широкой каталогизации параметров модели позволяет автоматизировано создавать актуализируемые ресурсные ведомости конструкций и сводные ведомости всей информационной модели. Это обеспечивает наиболее рациональную связку технического конструирования с актуальной ресурсоемкостью вариантных решений. Благодаря этому можно осуществлять оперативный конструктивно-экономический анализ и выбор наиболее эффективного направления проектирования.

#### **Список литературы:**

1. Талапов В.В. Технология BIM. Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. Москва: Общество с ограниченной ответственностью "ДМК пресс. Электронные книги", 2015. 410 с
2. BIM-технологии (рынок России) Информационное моделирование зданий и сооружений [Электронный ресурс]. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:BIM-%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8\\_\(%D1%80%D1%8B%D0%BD%D0%BE%D0%BA\\_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8\)](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:BIM-%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8_(%D1%80%D1%8B%D0%BD%D0%BE%D0%BA_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8)) (дата обращения: 8.05.23).
3. Савченко Р.Н. Основные принципы и особенности BIM технологии // Вопросы науки и образования. 2018. № 27(39). С. 26–29.
4. Фермы типа «Молодечно» [Электронный ресурс]. URL: <https://saitinpro.ru/glavnaya/nesushchie-konstruktsii/metallbcheskie-konstruktsii/stalnye-fermy/fermy-tipa-molodechno/> (дата обращения: 8.05.23).
5. ARCHICAD: RE-OPENING. GDL language: programming for solving architect's problems [Электронный ресурс]. URL: <https://ardexpert.ru/article/10209> (дата обращения: 8.05.23).

<sup>1</sup>Белых Светлана Андреевна, <sup>1</sup>Новоселова Юлия Владимировна,

<sup>2</sup>Ильинский Юрий Юрьевич

### **АНТИПИРЕНЫ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СИЛИКАТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», базовая кафедра  
Строительного материаловедения и технологий, ул. Макаренко, 40, г. Братск,  
Иркутская область, 665709

**Аннотация:** В работе показаны перспективы применения антипиренов на основе модифицированных силикатных композиций для обеспечения защиты строительных конструкций из древесины. Определены закономерности формирования защитных свойств покрытия на основе модифицированных силикатных композиций. Установлен механизм защитного действия разработанных антипиренов на основе модифицированных силикатных композиций с применением в качестве наполнителя кварца углеродистого (черных сланцев) и поверхностно-активного вещества, заключающийся в образовании пор в покрытии при вспучивании и заполнении их парами воды и негорючими газами.

**Ключевые слова:** антипирен, жидкое стекло, микрокремнезем, кварц углеродистый, смачивание древесины, адгезия, огнезащитная эффективность.

В связи с невысокой огнестойкостью древесины, способностью поддерживать горение и способствовать его распространению, актуальной задачей является обеспечение защиты конструкций из древесины. В соответствии с пунктом 6 статьи 52 Федерального закона от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» одним из способов (либо в составе комплекса мер) защиты людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара принято применение огнезащитных составов (в том числе антипиренов) для повышения огнестойкости строительных конструкций.

В современных условиях все большее значение имеют перспективные малоэнергоёмкие ресурсосберегающие технологии с применением вторичных производственных продуктов без негативного влияния на окружающую среду. Распоряжением от 29 октября 2021 года №3052-р Правительство Российской Федерации утвердило Стратегию социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года, целью которой заявлено достижение углеродной нейтральности при устойчивом росте экономики. Среди мероприятий по реализации целевого сценария новой стратегии развития являются оказание мер поддержки в отношении внедрения, тиражирования и масштабирования низко- и безуглеродных технологий. В связи с развитием новейших промышленных технологий и по мере приближения параметров их энергетической эффективности к термодинамическому максимуму все большее значение приобретают стимулирование использования вторичных энергоресурсов и повышение эффективности использования возобновляемых материалов, а также увеличение доли их повторного использования [1-2].

В настоящее время перспективным направлением в области защиты древесины является разработка вспучивающихся антипиренов, которые наносятся тонким слоем на поверхность древесины и проявляют защитный



эффект, сдерживая развитие процессов горения до температуры ниже температуры воспламенения древесины (200-250°C).

Известно, что наибольшая огнезащитная эффективность антипирена обеспечивается в том случае, если его защитное действие получается реализовать сразу по нескольким механизмам. Перспективным является сочетание таких защитных факторов, как например сокращение выхода горючих летучих продуктов и образование теплоизолирующего слоя [3-4]. Важным эффектом защитного действия антипирена является «эффект самозатухания», который заключается в том, что в газовую фазу поступают пары воды и не поддерживающие горение газы ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  и др.). Негорючие газы разбавляют парогазовую смесь продуктов терморазложения древесины, тем самым снижая концентрацию горючих летучих продуктов, а также концентрацию кислорода, необходимого для горения. Плотность этих негорючих газов выше плотности воздуха, соответственно создается защитная «рубашка», а скорость реакции окисления так замедляется, что пламя гаснет

**Целью настоящей работы** является разработка научно-обоснованных составов и технологии защиты конструкций из древесины антипиренами на основе модифицированных силикатных композиций с наполнителями из местных сырьевых ресурсов.

Для достижения поставленной цели сформулированы задачи исследования:

1. научное обоснование выбора местных сырьевых ресурсов для производства антипиренов;
2. разработка и оптимизация составов;
3. исследование структуры и свойств;
4. разработка технологии изготовления и нанесения антипиренов на поверхность древесины;
5. изучение реологических свойств сырьевой смеси, огнезащитной эффективности, адгезии к древесине разработанных антипиренов;
6. апробация новых решений защиты конструкций из древесины антипиренами на основе модифицированных силикатных композиций.

Известно применение жидкого стекла в качестве связующего для изготовления антипиренов [5]. Для снижения энергоемкости производства антипиренов предлагается использовать жидкое стекло из микрокремнезема - побочного продукта производства кристаллического кремния Братского завода ферросплавов.

В качестве наполнителя для получения антипиренов использовали кварц углеродистый (или черные сланцы) – побочный продукт золотодобывающих предприятий региона Иркутской области. По результатам проведенного анализа химического состава черных сланцев [6-10] можно сделать вывод об их эффективности в качестве наполнителя при разработке антипиренов на основе модифицированных силикатных композиций: алюмосиликаты, которые способны дегидратироваться до температур 920-1100 °С, не разрушая жесткий алюмосиликатный каркас, оксид кальция, который может выступать в роли эффективного отвердителя при взаимодействии с жидким стеклом, обеспечивая

структурообразование; оксиды железа и органические вещества, оксиды щелочных металлов.

По результатам проведенного рентгенофазового анализа [6-10] в составе черных сланцев идентифицированы минералы:  $\alpha$  кварц – 72,92 %, мусковит - 20,04 %, доломит–7,04 %, что подтверждает их высокую эффективность для использования в качестве сырьевого компонента в производстве антипиренов.

В качестве добавки поверхностно-активного вещества для обеспечения необходимого условия смачивания древесины использовали синтетический пенообразователь ПО-6 [6]. Сырьевую смесь готовили путем постепенного введения в жидкое стекло добавки ПАВ и наполнителя при постоянном перемешивании с помощью высокоскоростного смесителя. Нанесение композиции осуществляли с помощью малярной кисти в 3 слоя.

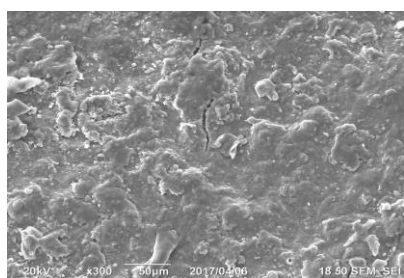
Условную вязкость сырьевой смеси определяли с помощью вискозиметра ВЗ-4. Экспериментальными исследованиями установлена оптимальная вязкость сырьевой смеси 25-30 сек по вискозиметру ВЗ-4 для обеспечения равномерного нанесения жидкостекольных композиций и качественного покрытия. Адгезию защитного покрытия к поверхности древесины определяли экспериментально, по методу решетчатых надрезов, описанном в ГОСТ 15140. Огнезащитную эффективность оценивали с помощью экспериментальной лабораторной установки по методу «керамической трубы», описанном в ГОСТ 16363-98.

С помощью методов математического моделирования с целью планирования эксперимента по его данным математической модели, отражающей изменение свойств разрабатываемых антипиренов в зависимости от рецептурных и технологических факторов изготовления [6, 9-10], были оптимизированы составы антипиренов, которые подтверждены патентом Российской Федерации, и достигнуты требуемые свойства полученных на их основе защитных покрытий для древесины: I группа огнезащитной эффективности, адгезия к древесине 1 балл при расходе состава  $0,45 \text{ кг/м}^2$  -  $0,50 \text{ кг/м}^2$  при трехслойном покрытии.

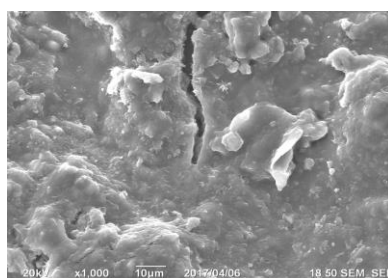
По результатам рентгенофазового анализа разработанных антипиренов на основе модифицированных силикатных композиций [8] установлена идентичность фазового состава антипиренов на основе жидкого стекла по ГОСТ 13078 и жидкого стекла из микрокремнезема с незначительным расхождением в количественных соотношениях. В составах разработанных антипиренов определены кварц, мусковит, корунд, гематит. По результатам данных исследований обоснована эффективность жидкого стекла из микрокремнезема в качестве связующего при получении антипиренов для защиты древесины.

На рисунке 1 представлены результаты электронно-микроскопических исследований структуры защитных покрытий древесины разработанными антипиренами. На снимках, полученных с помощью сканирующего микроскопа при 300-кратном увеличении подтверждается наличие призматических, таблитчатых, бочонкообразных кристаллов, видны микрозернистые минеральные агрегаты, что подтверждает и предыдущее исследование по результатам рентгенофазового анализа. На микрофотографии при 3000-кратном

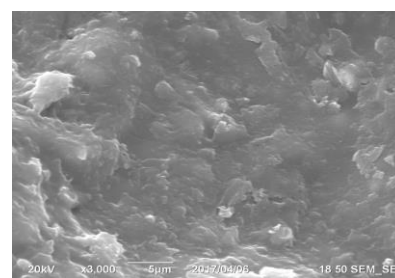
увеличении виден плотный слой кремниевого геля. На снимке при 1000 кратном увеличении в структуре высохшего слоя покрытия видны поры протяженностью в длину до 50  $\mu\text{m}$  (0,05 мм) и в ширину до 3,3  $\mu\text{m}$  (0,0033 мм). Наличие сквозных пор на границе слоев в структуре защитного покрытия подтверждает важность соблюдения правильной технологии нанесения жидкостеклянной композиции в несколько слоев. На снимках образца древесины с нанесенным защитным покрытием (в разрезе) при 100 кратном увеличении можно увидеть проникновение антипирена в открытое межволоконное пространство древесины до глубины порядка 40 мкм и ее закрепление на внешних стенках трахеид. За счет этого обеспечивается хорошая адгезия материала к поверхности древесины.



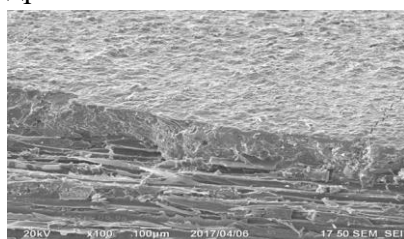
Снимок жидкостеклянной композиции, отвержденной на поверхности образца древесины. Увеличение 300



Снимок жидкостеклянной композиции, отвержденной на поверхности образца древесины. Увеличение 1000



Снимок жидкостеклянной композиции, отвержденной на поверхности образца древесины. Увеличение 3000



Снимки образца древесины с нанесенным защитным покрытием (в разрезе).  
Увеличение 100

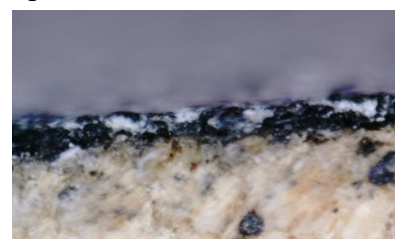
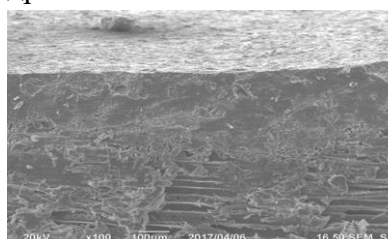
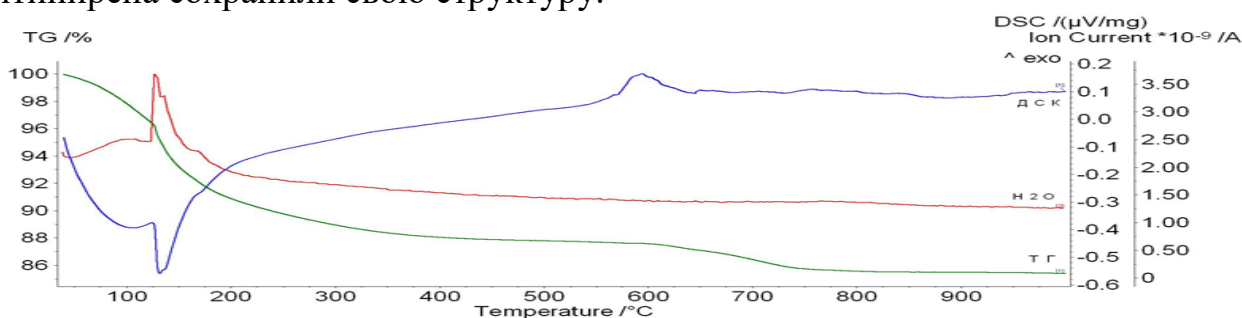


Рисунок 1 - Результаты электронно-микроскопических исследований структуры защитных покрытий древесины разработанными антипиренами

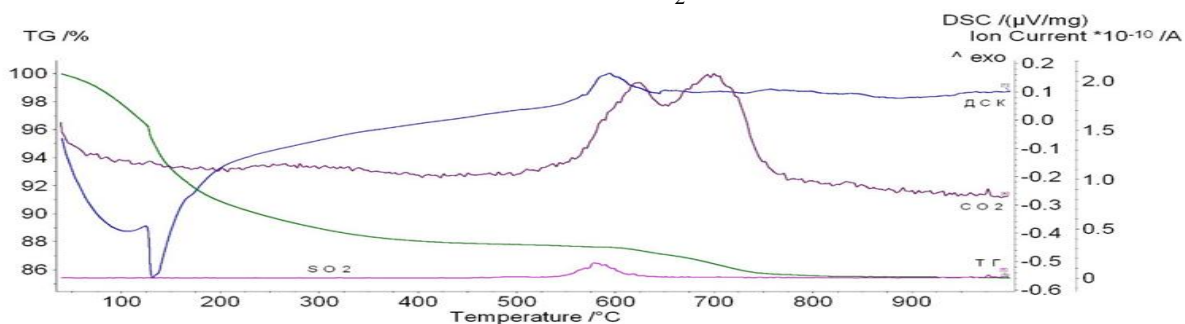
В работах [8-9] авторами проведены исследования структуры антипиренов при высокотемпературном воздействии. Термические превращения, происходящие в структуре антипиренов в диапазоне температур 20-1000 $^{\circ}\text{C}$ , исследованы с помощью комплекса синхронного термического анализа. Прибор синхронного термического анализа совмещен с масс-спектрометром, который анализирует газы, выделяемые при нагреве и разложении образца. Для разработанных антипиренов основной эффект вспучивания, обусловленный выделением воды, зафиксирован в интервале до 200  $^{\circ}\text{C}$ . Образование негорючих газов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  зафиксировано для антипиренов и на основе жидкого стекла по ГОСТ 13078, и на основе жидкого стекла из микрокремнезема.

На рисунке 2 (А; Б) показаны результаты исследований структуры антипирена при высокотемпературном воздействии в сравнении со структурой натриевого жидкого стекла без добавок и наполнителей (рисунок 2 В) для

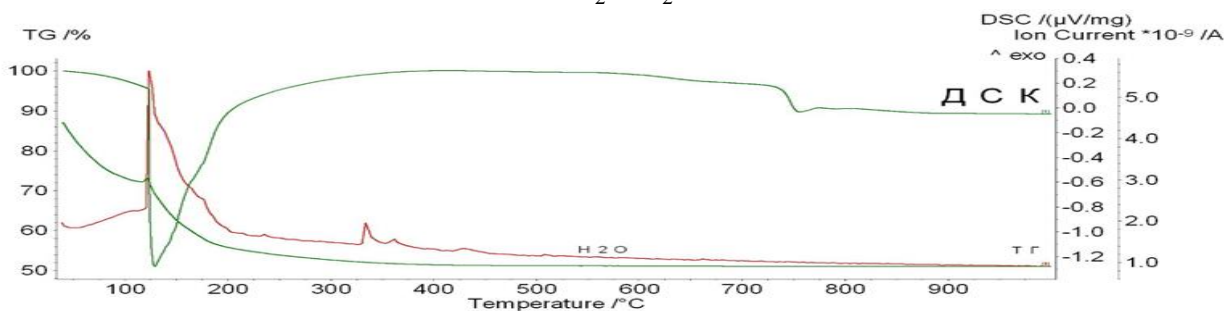
защиты древесины. Для жидкого стекла по ГОСТ 13078 (без добавок и наполнителей) при высокотемпературном воздействии выявлен лишь эффект интенсивного выделения воды в интервале температур до 125°C и зафиксирована постоянная потеря массы образцом. Выделения негорючих газов при исследовании структуры жидкого стекла без добавок зафиксировано не было. В структуре антипирена при высокотемпературном воздействии выявлен эффект выделения воды (вспучивание материала), а также зафиксировано выделение углекислого газа CO<sub>2</sub> и диоксида серы. После завершения эксперимента высокотемпературного воздействия до 1000°C жидкое стекло (без добавок и наполнителей) превратилось в расплав, а образцы разработанного антипирена сохранили свою структуру.



А) Термограммы антипирена, отражающие тепловые эффекты, потерю массы и выделение H<sub>2</sub>O



Б) Термограммы антипирена, отражающие тепловые эффекты, потерю массы и выделение CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>



В) Термограммы отвержденного натриевого жидкого стекла (ГОСТ 13078-2021), отражающие тепловые эффекты, потерю массы и выделение H<sub>2</sub>O

Рисунок 2 - Результаты исследований структуры антипирена при высокотемпературном воздействии в сравнении со структурой натриевого жидкого стекла без добавок и наполнителей

Авторами [9] установлена зависимость изменения коэффициента теплопроводности разработанных антипиренов от воздействия температуры в сравнении с коэффициентом теплопроводности покрытия из натриевого жидкого

стекла по ГОСТ 13078-2021 (без добавок и наполнителей). Можно предположить, что резкое повышение коэффициента теплопроводности жидкого стекла после достижения температуры 600 °С связано с разрушением вспученного слоя жидкого стекла. В поверхностном слое покрытия можно рассмотреть поры сферической формы размером от 1 до 12 мм, образовавшиеся при вспучивании антипирена после огневого воздействия (рисунок 3). Это подтверждает еще один механизм защитного действия разработанных антипиренов – образование защитного теплоизолирующего слоя на поверхности материала.

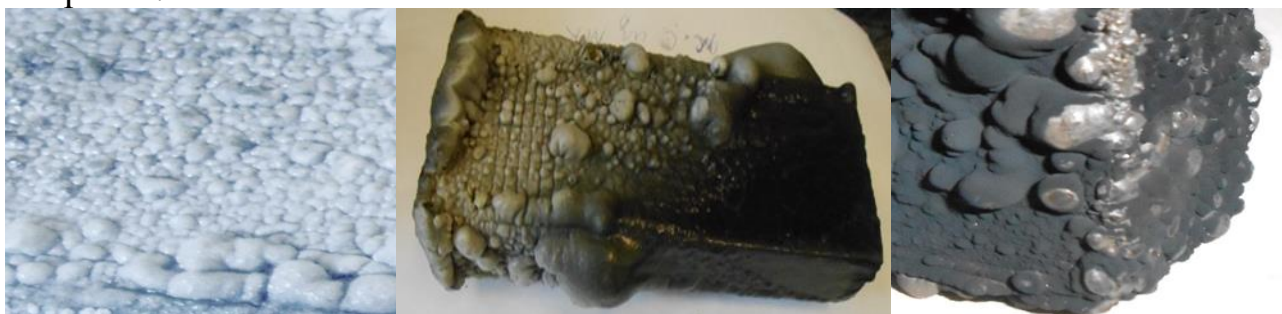


Рисунок 3 - Вспученный слой защитного покрытия после огневых испытаний

На основе проведенных исследований, с учетом энергоэффективных ресурсосберегающих технологий, с применением побочных продуктов промышленности, разработаны новые составы антипиренов на основе модифицированных силикатных композиций для защиты древесины с использованием в качестве связующего жидкого стекла по ГОСТ 13078-81 и жидкого стекла из микрокремнезема, изготовленного по низкочувствительной технологии. Установлены оптимальные дозировки сырьевых компонентов в составе антипиренов для обеспечения наилучшей адгезии к древесине и огнезащитной эффективности. Установлен механизм защитного действия новых разработанных антипиренов на основе модифицированных силикатных композиций с применением в качестве наполнителя кварца углеродистого (черных сланцев) и поверхностно-активного вещества, заключающийся в образовании пор в покрытии при вспучивании и заполнении их парами воды и негорючими газами.

### Литература:

- 1 Воронцов В.М. Строительные материалы нового поколения. - М.: Инфра-Инженерия, 2022.- 128с.
- 2 Киселев С.И., Снегирев И.Д., Снегирев Д.Г., Лебедева Н.Ш. Огнезащитная обработка древесины – современное состояние и перспективы на будущее // Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Издательство: ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской

- обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий». - Иваново, 2021. – С. 46-53.
- 3 Леонович А.А. Древесноплитные материалы специального назначения: Учебное пособие. – 2-е изд., испр. И доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2019. – 160 с.
  - 4 Леонович А.А. Модифицирование древесных плит. Основные направления дисциплины: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2019. – 104 с.
  - 5 Суровцев И.С., Никулина Т.Д., Поляков В.А., Рудаков О.Б. Растворы силиката натрия как связующее в термоогнестойких вспучивающихся композициях строительного назначения // Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. – Воронеж, 2012. – Т.1. – С. 47-49.
  - 6 Белых С.А., Новоселова Ю.В. Жидкостекольная композиция для защиты древесины от возгорания // Системы. Методы. Технологии. – 2016. - № 1(29). - С. 120-126.
  - 7 Белых С.А., Новоселова Ю.В., Кудяков А.И. Жидкое стекло из микрокремнезема в качестве связующего при получении огнезащитной композиции для древесины // Системы. Методы. Технологии. – 2016. - № 4(32). - С. 154-160.
  - 8 Белых С.А., Новоселова Ю.В., Новоселов Д.А., Кудяков А.И. Структурообразование жидкостекольных композиций для защиты древесины от возгорания // Системы. Методы. Технологии. – 2017. - № 3(35). - С. 80-86.
  - 9 Ермоченков М.Г., Белых С.А., Новоселова Ю.В. Исследование структуры антипиренов при высокотемпературном воздействии в сравнении с натриевым жидким стеклом без добавок для защиты конструкций из древесины // Системы. Методы. Технологии. – 2022. - № 2(54). - С. 146-154.
  - 10 Svetlana Belykh, Julija Novoselova, and Denis Novoselov. Fire Retardant Coating for Wood Using Resource-Saving Technologies // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018, Vol. 982, pp 673-681 (2020).

**<sup>1,2</sup>Таскин Андрей Васильевич, <sup>1,2</sup>Федюк Роман Сергеевич, <sup>2,3</sup>Иванников Сергей Игоревич, <sup>1,2</sup>Федотов Демьян Романович, <sup>1,2</sup>Кулаков Никита Дмитриевич**

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕСГОРЕВШЕГО УГЛЯ В ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДАХ**

<sup>1</sup>*Дальневосточный федеральный университет, Политехнический институт (Школа), 690922, г. Владивосток*

<sup>2</sup>*ООО «ЛПИ», г. Владивосток*

<sup>3</sup>*Институт химии ДВО РАН, г. Владивосток*

**Аннотация.** Исследованы вопросы утилизации золошлаковых отходов при производстве различных материалов на основе предприятий энергетики Приморского края. Изучен химический состав золошлаковых смесей и возможности изготовления строительных материалов на их основе.

**Ключевые слова:** недожог, уголь, золошлаковые отходы, портландцемент, шлаки, экология.

#### *Образование и состав несгоревшего углерода в золе*

Несгоревший углерод образуется из несгоревших органических компонентов, которые существуют в различных физических формах кокса. Механизм образования несгоревшего углерода всесторонне рассмотрен Блиссеттом и Роусоном [1]. В процессе образования несгоревшего углерода можно выделить три стадии: сушка и предварительный нагрев, сжигание и выгрузка. Влага испаряется, а летучие вещества теряются в основном на стадии сушки и предварительного нагрева. На стадии сжигания происходит контакт летучих веществ с кислородом, воспламенение частиц углерода и сгорание отвержденного углерода. Основным источником энергии для котла - сжигание углерода на второй стадии. Затем материал поступает на стадию разгрузки. По мере продолжения горения увеличивается зольность и уменьшается содержание кислорода, что может препятствовать дальнейшему сгоранию несгоревших частиц углерода. Затем эти несгоревшие частицы углерода выгружаются вместе с зольным компонентом. Обычно несгоревший углерод в золе состоит из полукокса и кокса и в основном существует в следующих трех формах: (1) частицы мономерного углерода, выходящие из котла при отсутствии полного сгорания, причем часть частиц теряется в виде летучих веществ; (2) частицы углерода, прилипшие к поверхности частиц золы; (3) частицы углерода, внедренные в частицы золы. Форма существования несгоревшего углерода определяет, нужно ли измельчать и диссоциировать зерна частиц перед сепарацией [2]. В основном минералогия углерода зависит от типа угольной золы. Обычно основными компонентами являются мономерные частицы углерода и частицы углерода, слипшиеся с поверхностью. Для извлечения мономерного углерода подходят различные методы разделения. Однако метод флотации может быть оптимальным выбором вместо электростатической сепарации и агломерации масла, если частицы углерода прилипли к поверхности частиц золы, поскольку раствор флотации и кондиционирование пульпы могут отделить частицы углерода от поверхности частиц золы. При наличии частиц углерода в частицах золы необходимо измельчение, а гравитационное разделение может быть более эффективным, чем флотация, которая требует полной диссоциации.

Содержание несгоревшего углерода в летучей золе обычно характеризуется с помощью испытаний на потерю при прокаливании (LOI) (потеря массы после сжигания золы). При сжигании угля образуется как донная, так и летучая зола. В большинстве испытаний на сжигание процент несгоревшего углерода в летучей-золе выше, чем в донной золе [3]. Конструкция

системы сжигания и условия эксплуатации, а также характеристики угля являются основными факторами, влияющими на содержание несгоревшего углерода в золе [4]. Было показано, что условия эксплуатации электростанций, которые могут влиять на содержание несгоревшего углерода в угольной золе, включают тип топочного устройства, тип и количество горелок, технологию кислородного сжигания, дожигание углеродных остатков в золе, температуру и давление сжигания, наличие кислорода и тепловую нагрузку на печь [5-6]. При этом наиболее существенное влияние на содержание несгоревшего углерода в золе оказывают характеристики угля, в том числе ранг угля, мацеральный состав угля, содержание летучих веществ, влажность, размер частиц, свойства углей, минеральное вещество угля, состав угольной смеси и сжигание угля с альтернативными видами топлива [7]. Обычно значения LOI зависят от типа угольной золы, где 0-5% LOI для золы бурого угля, 0-3% LOI для золы суббитуминозного угля и 0-15% LOI для золы битуминозного угля [8]. Для оптимизации реальных процессов сжигания угля с целью снижения содержания несгоревшего углерода в золе необходимо учитывать большинство из перечисленных выше факторов. Значение параметра LOI может служить справочной информацией для выбора процесса обесшламливания и оборудования. Низкое значение LOI указывает на то, что зола содержит большую долю минеральной золы, и поэтому может потребоваться операция предварительного обесшламливания (например, циклон и обесшламливающий грохот).

#### *Распределение недожога по размерам и плотности*

Не существует однозначного распределения несгоревшего углерода по размерам, поскольку факторы влияния слишком сложны. В некоторых исследованиях было установлено, что содержание несгоревшего углерода уменьшается с уменьшением размера частиц [9]. Однако, поскольку основная размерная фракция летучей золы обычно составляет -75 мкм, общее количество углерода, распределенного в тонкой-фракции, может быть выше, чем в крупной фракции [9]. Распределение по размерам девяти образцов летучей золы исследовали в работе Лу и др [10]. Было установлено, что большое количество углерода в битумной золе распределено во фракциях -150 + 75 и -5 мкм, в то время как >75% углерода в суббитумной золе распределено во фракции +150 мкм. Авторы предположили, что суббитуминозные угли обычно обладают более высокой реакционной способностью при сжигании и, следовательно, дают золу, обогащенную углеродом в относительно крупных фракциях [10]. Распределение по размерам и плотности оказывает большое влияние на эффективность просеивания и гравитационной сепарации. Просеивание может быть эффективным способом для удаления несгоревшего углерода, если в сырье присутствует большое количество крупнозернистого углерода в сырой золе [4]. Напротив, когда несгоревший углерод сконцентрирован в легкой фракции, оптимальным методом для отделения несгоревшего углерода становится быть флотация.



Плотность несгоревшего углерода обычно ниже, чем плотность частиц золы [11]. Оболочечная плотность несгоревшего углерода колеблется в пределах 0,26-0,87 г/см<sup>3</sup> из-за наличия развитой пористости [8]. Сообщалось, что инертная фракция имеет наименьшую плотность - менее 1,65 г/см<sup>3</sup>, в то время как изотропный и анизотропный кокс имеют более высокую плотность (1,70-1,94 г/см<sup>3</sup>). Разница в плотности делает возможным гравитационное разделение несгоревшего углерода. Следует отметить, что эффективность гравитационного разделения также зависит от размера и не является эффективной для разделения мелких фракций несгоревшего углерода.

#### *Химический состав поверхности частиц недожога*

В целом в несгоревшем углероде преобладающим элементом был углерод, а Н, N, S и О составляли незначительную долю [12]. Гидроксильные группы в процессе горения всегда уменьшались, а в несгоревшем углероде они практически отсутствовали. Тем не менее, присутствие кислородсодержащих групп на поверхности несгоревшего углерода все же было обнаружено [13-14]. В работе [13] на основе ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье изучались свойства поверхности недогоревшего бурого угля. Результаты показали, что содержание алифатических углеводородных групп и С=С групп уменьшилось по сравнению с сырым бурым углем. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (XPS) была использована для анализа свойств поверхности двух образцов несгоревшего углерода (UC-A и UC-C). (UC-A и UC-B) по методике Ванг и др. [15]. XPS-спектры двух образцов несгоревшего углерода приведены на рисунок 1. Энергии связи при 284,4, 285,2 и 288,1 эВ были отнесены к С-С, С-О и СОО- функциональным группам соответственно. Содержание связей С-С и С-О было одинаковым и превышало содержание связей О-С=О в UC-A. Для UC-B основной функциональной группой является С-С является основной функциональной группой, за которой следуют С-О и О-С=О [15].

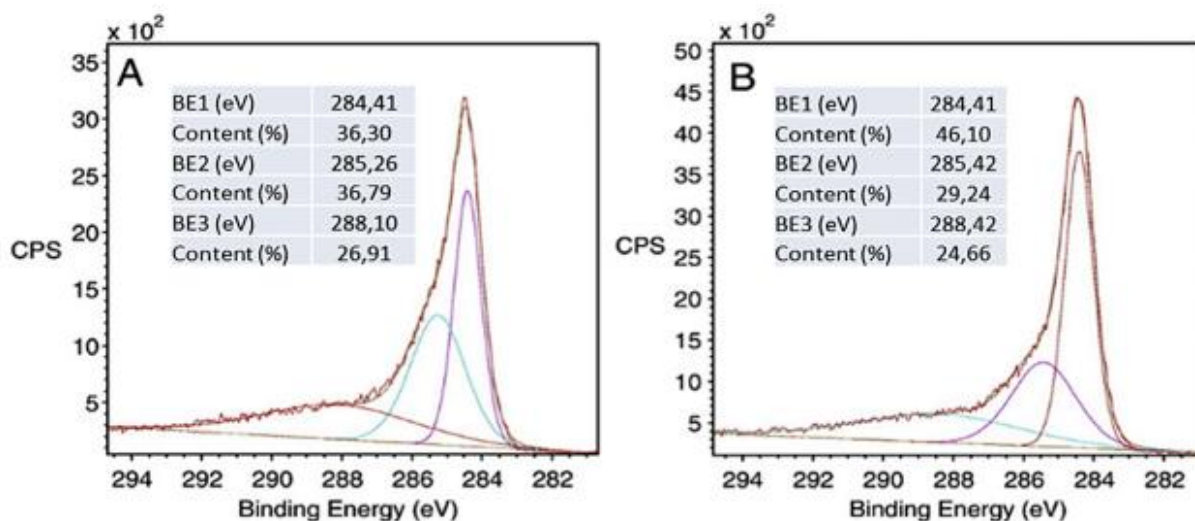


Рисунок 1. XPS-спектры двух образцов несгоревшего углерода [15]

Поверхность несгоревшего углерода в процессе его образования может быть сильно окислена, аналогично окисленной поверхности угля. На

гидрофильных участках поверхности окисленного несгоревшего углерода за счет эффекта водородной связи образовывается гидратационный слой [16]. Кроме того, снижается эффективность адсорбции маслянистого коллектора и прикрепления пузырьков к частицам [17-18]. Таким образом, в присутствии кислородсодержащих функциональных групп происходит значительное снижение смачиваемости несгоревшего углерода. Действительно, исследования контактного угла прямо подтвердили хорошую гидрофильность золы угля, проведенные Сао и др. [19]. Следует отметить, что присутствие кислородсодержащих групп увеличивает гидрофильность несгоревшего угля и, следовательно, ухудшает эффективность флотации. Поверхностные химические свойства несгоревшего углерода, особенно функциональные группы, оказывают большое влияние на эффективность флотации, которая требует высокой гидрофобности поверхности частиц.

Дополнительной сложностью, связанной с извлечением недожога угля из золошлаковых отходов Дальневосточных ТЭЦ является большое количество бурых углей, характерных для данного региона. Бурый уголь — это самый низкий сорт угля с высоким содержанием летучих веществ, химической реактивностью и содержанием воды, низкой калорийностью и легко выветриваемостью [20]. На долю бурого угля приходится около 40% всех запасов угля в мире. Для бурого угля полярные кислородсодержащие функциональные группы могут соединяться с молекулами воды через водородные связи, и на его поверхности образуется более плотный гидратационный слой [21]. При обычно при флотации маслянистые собиратели должны вытеснить гидратационный слой, чтобы взаимодействовать с гидрофобными участками на поверхности угля, однако для бурых углей этот процесс затруднён. Кроме того, даже если гидратационный слой вытеснен, многочисленные полярные функциональные группы на поверхности бурого угля затрудняют образование тесных связей с обычными маслянистыми собирателями [21]. Поэтому количество коллектора, используемого для бурого угля, выше, чем для других углей, а эффективность бурого угля очень низкая. Высокая пористость бурого угля также приводит к чрезмерному расходу реагентов в процессе флотации. Структура пор бурого угля показана на рисунок 2.

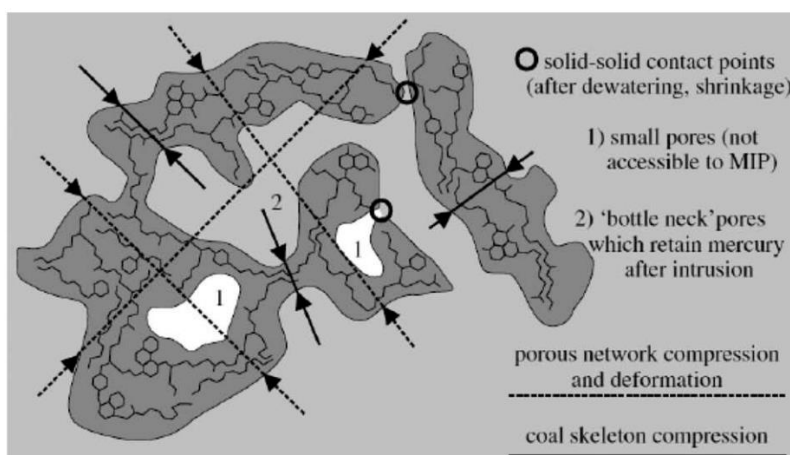


Рисунок 2. Структура пор бурого угля [22]

Для низкопористых углей, особенно бурых, количество флотационных собирателей находится в диапазоне от 2 до 50 кг/т. Однако, когда дозировка собирателей достигает критического значения, селективность собирателей становится плохой. Поэтому уменьшение количества собирателя и повышение его селективности стало одним из важнейших направлений исследований в области буроугольного обогащения [21].

#### *Морфология частиц недожога и распределение пор по размерам*

Как видно из рисунок 3, несгоревший уголь характеризуется высокой пористостью и высокой удельной площадью поверхности [4,8]. Ключевыми факторами, влияющими на микроструктуру несгоревшего угля, являются марка угля и способ его сжигания, что подробно рассмотрено Бартоновой, Хауэром и др. [8]. Было отмечено, что пористость и площадь поверхности в целом увеличиваются по мере увеличения летучести, т.е. от угля высокого ранга к углю низкого ранга [23-24]. Морфология частиц и распределение пор по размерам также являются ключевыми факторами, влияющими на отделение несгоревшего углерода при флотации и агломерации нефти. Реагенты для флотации/агломерации могут проникать в поры под действием капиллярного давления, что значительно увеличивает расход реагентов [25-26]. В результате эффективная концентрация реагентов на поверхности снижалась, а значит, уменьшалась эффективность агломерации. С другой стороны, шероховатость еще больше увеличивает гидрофильность поверхности несгоревшего углерода в соответствии с теорией Венцеля.

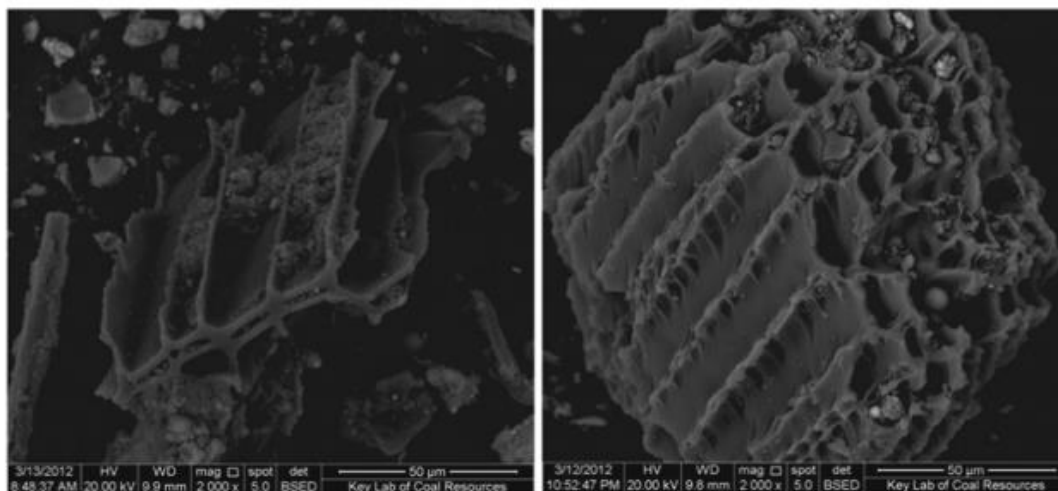


Рисунок 3 - Частицы недожога в летучей золе [4]

#### *Электростатические свойства недожога*

Свойство заряда является ключевым фактором, влияющим на удаление несгоревшего углерода при электростатической сепарации [26-27]. Разница в электрических свойствах частиц несгоревшего углерода и золы является основой для успешной электростатической сепарации. В случае золы частицы золы имеют более высокую электронную плотность, поэтому в процессе электростатической сепарации они приобретают электроны и становятся отрицательно заряженными. Напротив, частицы углерода имеют более низкую

электронную плотность и, теряя электроны, становятся положительно заряженными.

Было обнаружено, что размер частиц оказывает значительное влияние на поведение заряда частиц летучей золы. Для описания зарядовых свойств частиц летучей золы был определен параметр - отношение заряда к массе. Отношение заряда к массе углерода и золы в различных размерных фракциях измерялось для оценки электросепарируемости золы [27]. Абсолютное значение отношения заряда к массе углерода и золы увеличивается с уменьшением размера частиц. То есть для частиц меньшего размера отделение несгоревшего углерода от золы происходит легче, если другие условия остаются неизменными. Однако в реальном процессе электросепарации для частиц с промежуточным отношением заряда к массе может происходить агломерация частиц, электрическая нейтрализация и турбулентное возмущение потока. Кроме того, турбулентность воздушного потока оказывает большее влияние на частицы меньшего размера. Поэтому использование отношения заряда к массе для оценки применимости электростатического эффекта может быть не совсем точным.

Содержание углерода также повлияло на поведение заряда летучей золы. Для низкоуглеродистой золы (<1% углерода) отношение заряда к массе составило около  $-10 \text{ мкКл кг}^{-1}$ , в то время как чистый заряд синтетических смесей с содержанием углерода, аналогичным содержанию углерода в сырой золе с содержанием углерода, близким к содержанию углерода в сырой золе (~12% углерода), были практически нейтральными. Для сырой летучей золы, напротив, при тех же условиях вибрации отношение заряда к массе составило около  $-6 \text{ мкКл*кг}^{-1}$ . Это различие объясняется в основном меньшим размером частиц углерода, используемых в синтетических смесях [27]. Влажность также являлась важным фактором, влияющим на поведение заряда для частиц золы. В связи с явлением обращения заряда в присутствии воды эффективность электростатического разделения значительно снижается при воздействии влаги [28]. Предварительная сушка оказалась эффективным способом устранения негативного влияния воды на электростатическую сепарацию.

#### **Список литературы:**

1. Blissett R. S., Rowson N. A. A review of the multi-component utilisation of coal fly ash // *Fuel*. – 2012. – Vol. 97. – pp. 1-23.
2. Li G. Regulation of flotation froth stability and removal of unburned-carbon from coal fly ash. – 2013.
3. Bartoňová L., Klika Z., Spears D. A. Characterization of unburned carbon from ash after bituminous coal and lignite combustion in CFBs // *Fuel*. – 2007. – Vol. 86. – №. 3. – С. 455-463.
4. Hower J. C. et al. Coal-derived unburned carbons in fly ash: A review // *International journal of coal geology*. – 2017. – Vol. 179. – pp. 11-27.
5. Morris W. J., Yu D., Wendt J. O. L. Soot, unburned carbon and ultrafine particle emissions from air-and oxy-coal flames // *Proceedings of the Combustion Institute*. – 2011. – Vol. 33. – №. 2. – pp. 3415-3421.

6. Sathyanathan V. T., Mohammad K. P. Prediction of unburnt carbon in tangentially fired boiler using Indian coals // *Fuel*. – 2004. – Vol. 83. – №. 16. – pp. 2217-2227.
7. Helle S. et al. Coal blend combustion: link between unburnt carbon in fly ashes and maceral composition // *Fuel Processing Technology*. – 2003. – Vol. 80. – №. 3. – pp. 209-223.
8. Bartoňová L. Unburned carbon from coal combustion ash: An overview // *Fuel Processing Technology*. – 2015. – Vol. 134. – pp. 136-158.
9. Külaots I., Hurt R. H., Suuberg E. M. Size distribution of unburned carbon in coal fly ash and its implications // *Fuel*. – 2004. – Vol. 83. – №. 2. – pp. 223-230.
10. Lu Y. et al. Characteristics of fly ashes from full-scale coal-fired power plants and their relationship to mercury adsorption // *Energy & Fuels*. – 2007. – Vol. 21. – №. 4. – pp. 2112-2120.
11. Maroto-Valer M. M., Taulbee D. N., Hower J. C. Characterization of differing forms of unburned carbon present in fly ash separated by density gradient centrifugation // *Fuel*. – 2001. – Vol. 80. – №. 6. – pp. 795-800.
12. Zhang Y. et al. Comparison of high-unburned-carbon fly ashes from different combustor types and their steam activated products // *Energy & Fuels*. – 2003. – Vol. 17. – №. 2. – pp. 369-377.
13. Demir U. et al. Characterization and column flotation of bottom ashes from Tuncbilek power plant // *Fuel*. – 2008. – Vol. 87. – №. 6. – pp. 666-672.
14. Wang S., Ma Q., Zhu Z. H. Characteristics of unburned carbons and their application for humic acid removal from water // *Fuel Processing Technology*. – 2009. – Vol. 90. – №. 3. – pp. 375-380.
15. Xing Y. et al. Clean low-rank-coal purification technique combining cyclonic-static microbubble flotation column with collector emulsification // *Journal of Cleaner Production*. – 2017. – Vol. 153. – pp. 657-672.
16. Xia Y. et al. Improving the adsorption of oily collector on the surface of low-rank coal during flotation using a cationic surfactant: An experimental and molecular dynamics simulation study // *Fuel*. – 2019. – Vol. 235. – pp. 687-695.
17. Xing Y. et al. Interaction forces between paraffin/stearic acid and fresh/oxidized coal particles measured by atomic force microscopy // *Energy & Fuels*. – 2017. – Vol. 31. – №. 3. – pp. 3305-3312.
18. Cao Y. J. et al. Removal of unburned carbon from fly ash using a cyclonic-static microbubble flotation column // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. – 2012. – Vol. 112. – №. 10. – pp. 891-896.
19. Zhang Y. Y. et al. Investigation on the structural feature of Shengli lignite // *International Journal of Mining Science and Technology*. – 2018. – Vol. 28. – №. 2. – pp. 335-342.
20. Cheng G. et al. Research progress in lignite flotation intensification // *International Journal of Coal Preparation and Utilization*. – 2018.
21. Polat H., Chander S. Interaction between physical and chemical variables in the flotation of low rank coals // *Mining, Metallurgy & Exploration*. – 1998. – Vol. 15. – pp. 41-47.

22. Bartonova L. et al. Study of unburned carbon and volatility of elements during co-combustion of coal and waste alternative fuel // *Chemical and Process Engineering*. – 2010. – Vol. 31. – pp. 725-739.
23. Williams A. et al. Pollutants from the combustion of solid biomass fuels // *Progress in Energy and Combustion Science*. – 2012. – Vol. 38. – №. 2. – pp. 113-137.
24. Moxon N. T. et al. Insoluble oils in coal flotation: the effects of surface spreading and pore penetration // *International Journal of Mineral Processing*. – 1987. – Vol. 21. – №. 3-4. – pp. 261-274.
25. Yang Z. et al. Effects of pore compression pretreatment on the flotation of low-rank coal // *Fuel*. – 2019. – Vol. 239. – pp. 63-69.
26. Cangialosi F. et al. The effects of particle concentration and charge exchange on fly ash beneficiation with pneumatic triboelectrostatic separation // *Separation and Purification Technology*. – 2008. – Vol. 62. – №. 1. – pp. 240-248.
27. Zhang L. et al. Fluidization characteristics and charging behavior of fly ash in a vibro-fluidized bed // *Powder technology*. – 2012. – Vol. 215. – pp. 235-241.
28. Cangialosi F. et al. The role of weathering on fly ash charge distribution during triboelectrostatic beneficiation // *Journal of Hazardous Materials*. – 2009. – Vol. 164. – №. 2-3. – pp. 683-688.

**<sup>1,2</sup>Таскин Андрей Васильевич, <sup>1,2</sup>Федюк Роман Сергеевич, <sup>2,3</sup>Иванников Сергей Игоревич, <sup>1,2</sup>Федотов Демьян Романович, <sup>1,2</sup>Кулаков Никита Дмитриевич**

## **ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ОТДЕЛЕНИЯ НЕСГОРЕВШЕГО УГЛЕРОДА ОТ ЗОЛЫ**

<sup>1</sup>*Дальневосточный федеральный университет, Политехнический институт (Школа), 690922, г. Владивосток*

<sup>2</sup>*ООО «ЛПИ», г. Владивосток*

<sup>3</sup>*Институт химии ДВО РАН, г. Владивосток*

**Аннотация.** Изучены вопросы утилизации золошлаковых отходов при производстве различных материалов на основе предприятий энергетики Приморского края. Исследован химический состав золошлаковых смесей и возможности изготовления строительных материалов на их основе.

**Ключевые слова:** углерод, недожог, уголь, золошлаковые отходы, портландцемент, шлаки, экология.

*Просеивание.* При сухом просеивании (сепарация по размеру) отсутствует риск выщелачивания опасных элементов, так как нет необходимости в использовании жидкой среды [1]. В принципе, просеивание является самым простым способом удаления углерода, особенно если в сырой золе присутствовало большое количество грубого углерода [2]. Циклонный классификатор является типичным сепаратором для классификации сырой золы. Однако следует отметить, что эффективность сепарации в больших масштабах

трудно обеспечить из-за ограничений по размерам. Поэтому в качестве грубой сепарации несгоревшего углерода всегда использовалось грохочение [2-3].

Известна запатентованная технология, направленная на удаление из ЗШО недожога флотационным методом до содержания не более 5% (подготовка к производству строительных материалов), предусматривающая предварительное обогащение ЗШО путём фракционирования на гидроциклонах [4]. ЗШО из отвала подаются в бункер, измельчаются до крупности не более 50мм (предусмотрено удаление каменных и металлических включений) и дозированно направляются в смеситель с лопастной мешалкой, заполняемый водой и золошлаковой смесью. Золошлаковая пульпа подвергается гидроциклонированию в двух последовательно установленных гидроциклонах; пески первого гидроциклона доизмельчаются и являются питанием второго гидроциклона. Фракционный состав ЗШО после доизмельчения: 80% –90мкм, 15% –200+90мкм, 5% –900+200мкм.

Сунг и др. [3] использовали метод ультразвукового просеивания для предварительной концентрации несгоревшего углерода перед трибоэлектростатической сепарацией. При ультразвуковом просеивании на основе традиционной сетки вибросита подается низкоамплитудная и высокочастотная ультразвуковая вибрационная волна, в результате чего ультрадисперсный порошок подвергается сильному ультразвуковому ускорению, что препятствует блокировке, такой как слипание, трение и расклинивание. Это просеивающее устройство особенно подходит для разделения мелких частиц. Ультразвуковое просеивание может иметь следующие преимущества: (1) сокращение или отсутствие времени очистки сетки; (2) отсутствие загрязнения порошка вспомогательными материалами; (3) сохранение размера сетки и стабилизация точности просеивания; (4) разложение клейкого материала; (5) сокращение времени просеивания.

#### *Гравитационная сепарация*

Гравитационная сепарация использует разницу в плотности между целевыми и нецелевыми минеральными частицами. Благодаря своей дешевизне и высокой эффективности гравитационная сепарация широко используется для обогащения угля и разделения металлов и неметаллических минералов. Частицы с меньшей плотностью могут быть отделены от частиц золы с большей плотностью путем сепарации по плотности. Марото-Валер и др. [5] для разделения трех образцов несгоревшего угля объединили предварительное трибоэлектростатическое обогащение с плотностным градиентным центрифугированием (ПГЦ) с использованием высокоплотной среды из политунгстата лития. Максимальная чистота была получена при 1,50-1,65 г см<sup>-3</sup> для инертинита, 1,72-1,78 г см<sup>-3</sup> для изотропного кокса и 1,88-1,95 г см<sup>-3</sup> для анизотропного кокса. Для выделения несгоревшего углерода из крупной фракции (+100 меш) золы использовалась гравитационная сепарация, и извлечение углерода из трех образцов составило >80% [6].

До настоящего времени традиционное оборудование для гравитационной сепарации при обогащении полезных ископаемых, такое как мелкая ячейка,

циклон с тяжелой средой, концентрационный стол, спиральный сепаратор, концентратор Кнельсона, концентратор Фалькона и воздушный плотный слой, не нашло промышленного применения для отделения несгоревшего углерода от золы. Чтобы увеличить разницу в силе между подачами, к гравитационному полю обычно добавляются дополнительные силовые поля, такие как центробежное и магнитное. Для удаления несгоревшего углерода гравитационная сепарация может быть полезна только для обработки крупнозернистой золы, поскольку влияние размера на конечную скорость частиц становится значительным для мелкой фракций.

Таким образом, концентрационный стол с тяжелой средой и сильным центробежным полем может стать перспективным методом сепарации несгоревшего углерода в промышленных масштабах.

#### *Электростатическая сепарация*

В соответствии с различными механизмами заряда электростатическое разделение золы можно разделить на индукционное, трибоэлектрическое и коронное. В частности, трибоэлектрическая зарядка является наиболее распространенным методом сепарации несгоревшего углерода благодаря своей высокой эффективности. При этом нет необходимости в контакте каждой частицы с заземленным барабаном или пластиной. В процессах трибоэлектростатической сепарации используется газообразная среда-носитель, что позволяет преодолеть явление агломерации частиц золы и эффективно повысить производительность. Принцип трибоэлектростатической сепарации летучей золы показан на рисунке 1.

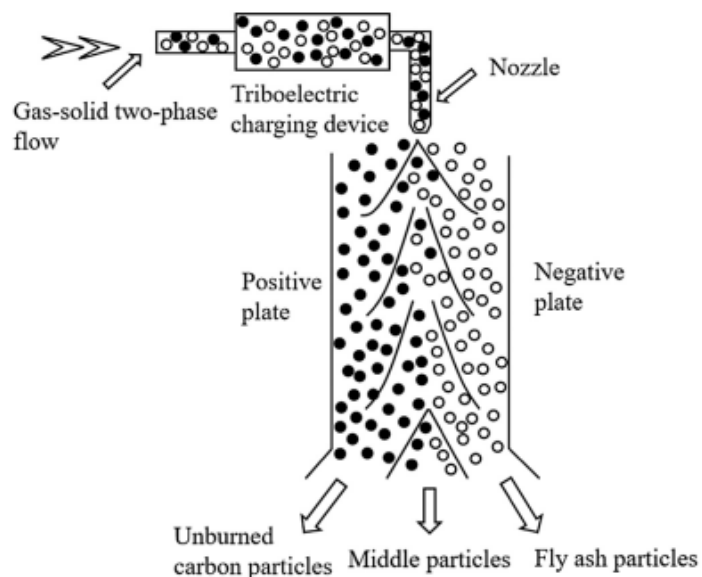


Рисунок 1 - Принципиальная схема трибоэлектростатической сепарации.

Электрические свойства частиц несгоревшего углерода и золы различаются. При прохождении частиц через фрикционное устройство под действием уноса воздуха возникает трение за счет столкновений между



частицами и между частицами и стенками фрикционного устройства. Частицы углерода и золы заряжаются с разной полярностью и зарядами. Затем заряженные частицы через сопло попадают в высоковольтное электростатическое поле. Благодаря противоположным полярностям частицы несгоревшего углерода и золы могут быть разделены гравитационным и электрическим полями. Обогащение частиц несгоревшего углерода и золы происходит на двух пластинах. Частицы с недостаточным или нейтральным зарядом собираются в качестве промежуточного продукта для повторной сепарации. Следует отметить, что частицы золы перед электростатической сепарацией должны быть сухими, иначе эффективность может существенно снизиться [54]. Наилучшим методом является исключение воздействия влаги на золу. Однако это нецелесообразно и может привести к увеличению затрат на обработку.

В работе Сунга и др. [7] для обогащения частиц золы угля использовались параллельные и жалюзийные пластинчатые сепараторы, как показано на рисунке 2. Параллельный пластинчатый сепаратор состоит из системы подачи Вентури, приводимой в движение газообразным азотом под давлением, инжекционного сопла для трибоэлектрического заряда и высоковольтной сепарационной секции [7]. Для определения массовых долей положительно и отрицательно заряженных частиц, т.е. распределения заряда, в сырой золе использовались две различные конфигурации электродов. Было установлено, что частицы выветрившейся золы имеют в среднем нулевой заряд, в то время как частицы углерода имеют в среднем отрицательный заряд, противоположный нормальной полярности углерода. Содержание влаги в золе (собранной сухим способом) чрезвычайно мало. Однако из-за богатой пористости частиц вода может легко адсорбироваться после размещения в течение определенного времени. Внутренняя и внешняя вода угольной золы серьезно влияет на ее электрические свойства, такие как диэлектрическая проницаемость. Влажность воздуха обычно считается основным фактором, влияющим на электростатическую сепарацию. Чем выше влажность частиц золы, тем хуже эффективность сепарации несгоревших частиц углерода.

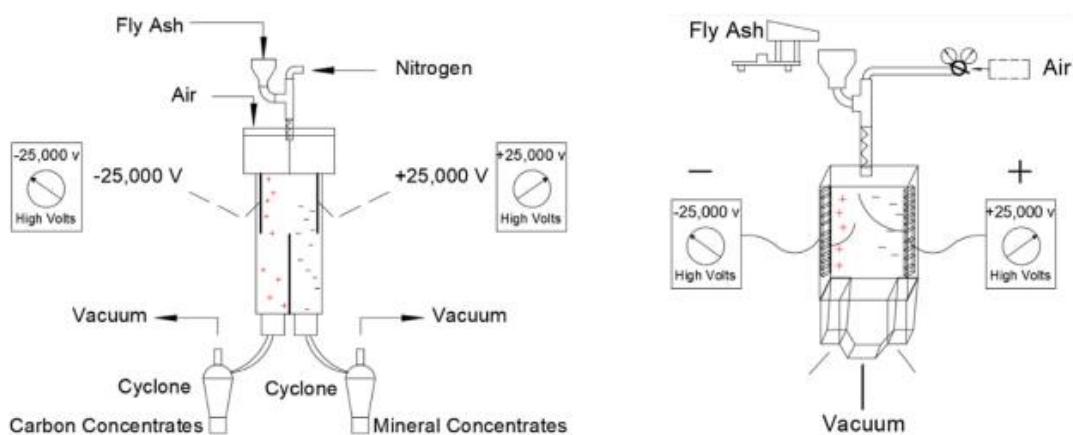


Рисунок 2 - Схема пластинчатого сепаратора: (слева) параллельный; (справа) жалюзийный

[7]

Трибоэлектростатический сепаратор с обратной продувкой был разработан Ли и др [8]. Схема трибоэлектростатического сепаратора с обратной продувкой приведена на рисунке 3. В сопле создается отрицательное давление за счет воздушного потока, создаваемого системой отрицательного давления, и частицы золы поступают в сопло через всасывающую трубу отрицательного давления. Под действием воздушного потока зола вдувается в трубопровод с газо-твердой смесью, образуя газо-твердый двухфазный поток, и происходит равномерное перемешивание подаваемых частиц. Заряженные частицы золы, поступающие в высоковольтную камеру статической сепарации, под действием электрического поля разделяются на частицы золы и частицы углерода. В то же время в процессе разделения частиц золы в направлении, противоположном направлению движения электрического поля, подается поток воздуха с обратным обдувом. В результате частицы с большой массой заряда быстро дезактивируются для достижения быстрого разделения, а частицы с малой массой заряда замедляются, увеличивая время пребывания частиц в высоковольтной камере статической сепарации, и частицы статической сепарационной камере, и частицы далее разделяются под действием электрического поля.

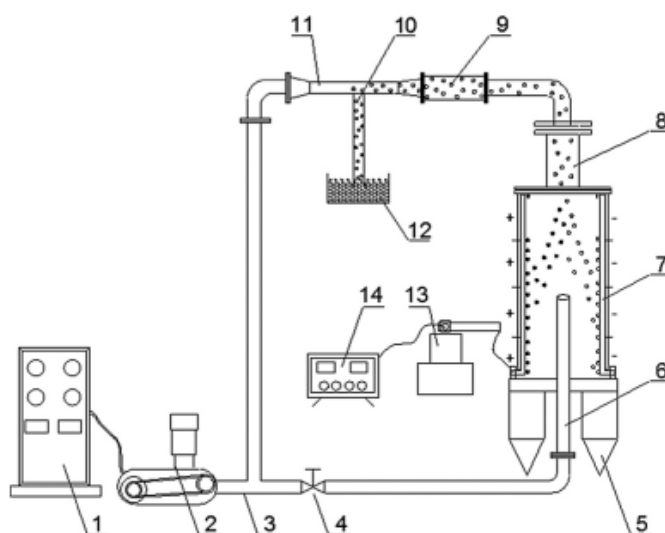


Рисунок 3 - Принципиальная схема трибоэлектростатического сепаратора с обратной продувкой [8]

В целом метод электростатическая сепарации может найти свое применение хоть и отличается сложностью исполнения.

#### *Флотационное отделения недожога углерода*

В настоящее время псевдосжиженная флотация является широко распространенным методом разделения минералов в обрабатывающей и углеобогащительной промышленности [9]. Для отделения несгоревшего углерода в золе в лабораторных условиях использовалась традиционная денверская флотационная ячейка [10]. Наличие большого количества пор приводило к увеличению расхода дизельного топлива. Было установлено, что дозировка

дизельного топлива и частота вращения крыльчатки при кондиционировании оказывают наиболее существенное влияние на извлечение углерода. В работе Хуанга и др. [11] для удаления несгоревшего углерода использовалась традиционная флотационная колонна. Было проведено систематическое исследование влияния скорости подачи газа, значения рН, дозы керосина в коллекторе и различных типов золы на эффективность разделения. Было показано, что метод колонной флотации может быть эффективно использован для удаления несгоревшего углерода.

Флотационная машина Джеймсона была впервые представлена в конце 1980-х годов как решение конструктивных и эксплуатационных недостатков, присущих колонным и традиционным флотомашинам. В настоящее время в разных отраслях и для различных применений в эксплуатации находится более 320 машин этого типа, из которых примерно 45% применяется в угольной промышленности. Хотя большинство флотомашин «Джеймсон» используется в настоящее время для коксующихся углей, они все чаще применяются для переработки ультратонкого энергетического угля, в том числе с высоким содержанием в рядовом угле золы [12]. Принципиальная схема ячейки Джеймсона приведена на рисунке 4 [13].

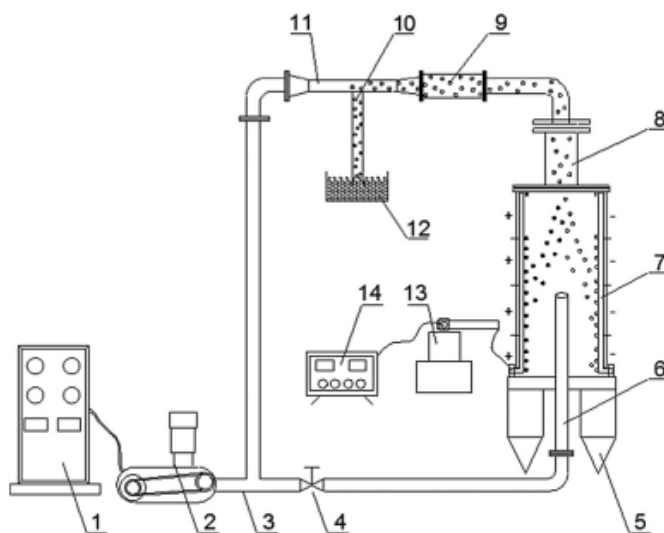


Рисунок 4 - Схематическая диаграмма флотационной ячейки Джеймсона [13]

Ячейка Джеймсона зарекомендовала себя как эффективное оборудование для флотации с высокой степенью извлечения микрочастиц. Влияние переменных параметров работы ячейки Джеймсона на извлечение и кинетику недожога углерода изучал Учурум [14]. В исследованных диапазонах оптимальными условиями были плотность пульпы 15%, скорость промывной воды  $0,17 \text{ см/с}^{-1}$  и глубина погружения донного аппарата 50 см, что указывает на эффективность метода флотации по Джеймсону для удаления несгоревшего углерода. Также было установлено, что классическая кинетическая модель хорошо согласуется с данными испытаний. Ячейка Джеймсона также использовалась в работе Şahbaz et al. [15] для отделения несгоревшего углерода от золы. В работе было изучено влияние скорости сверхреактивного газа,

коэффициента смещения, процентного содержания твердых частиц, дозировки реагентов и времени кондиционирования на извлечение несгоревшего углерода из шлака [16]. Было показано, что извлечение недожога углерода очень чувствительно к дозировке пенообразователя при необычно высоких значениях. Различия в физико-химических свойствах поверхности частиц обеспечивают возможность пенного разделения. В то же время турбулентная среда флотационного аппарата способствует сцеплению частиц с пузырьками и улучшает способность к извлечению и улучшает способность к извлечению. При проведении исследования на пневматической флотомашине типа «Jameson Cell» можно отметить высокую способность к аэрации при стабильном получении пузырьков воздуха крупностью 300-600 мкм, простоту в управлении всем процессом, а также весьма надежную и простую конструкцию. Результаты ее сравнения с импеллерной флотомашинной показали более высокую эффективность разделения при меньшем расходе реагентов [17].

Флотацию осуществляли на лабораторной флотационной машине 240 ФЛ с объемом камеры 1 л. И экспериментальной пневматической машине объемом камеры 200 л. На флотацию в 240 ФЛ подавали песковый продукт гидроциклона в виде суспензии с содержанием твердого 200 г/л. В качестве собирателя использовали пиролизный керосин, пенообразователя – масло Т66, депрессора – жидкое стекло. Расход собирателя 500 г/т, вспенивателя 77 г/т. В результате дробной флотации получен пенный продукт со средней зольностью 34,2%. Зольность камерного продукта в этом случае составила 89%. Контрольное дообогащение пенного продукта не привело к существенному улучшению зольности пенного продукта и после 2 флотации составило 32,1%.

Флотационная машина типа «Jameson Cell» показала лучшие характеристики. После первой флотации был получен пенный продукт с зольностью 25,1%, а зольность камерного продукта составила 95%. Расход собирателя составил 195 г/т, а вспенивателя – 50 г/т [17].

Таблица 1 – Технологические показатели обогатимости золы [17]

Продукт	Выход, %	Зольность, %
Исходный		
Грохочение до крупности 0,8 мм		
Класс +0,8 мм	0,13	99,3
Класс -0,8 мм	99,87	73,1
Магнитная сепарация		
Магнитный	6,91	-
Немагнитный	92,96	-
Классификация в гидроциклоне ГЦ30		
Песковый	38,20	79,9
Слив	54,76	-
Флотация		
Пенный	8,25	25,1
Камерный	29,95	95

Более высокое извлечение углерода в концентрат (89,69 %, что на 6,5 % выше, чем показатели в стандартной флотационной машине) обеспечивается применением флотационной колонны усовершенствованной конструкции с циклонно-статической микропузырьковой флотационной колонной для удаления несгоревшего углерода из золы [18].

Циклонно-статическая микропузырьковая флотационная колонна, как показано на рисунке 5, включает несколько этапов минерализации, в том числе противоток, циклон и трубный поток в одной колонне [19]. Противоточная минерализация была реализована для получения высококачественного концентрата из сырья. Преимуществом схемы с противоточной минерализацией является больший размер камеры для минерализации, чем обычно. Это увеличивает время пребывания частиц в процессе минерализации, что позволяет отводить уловленные частицы обратно в пульпу. Впоследствии минерализация на этапе циклонной сепарации дополнительно разделяет флотационный среднюю часть для получения высококачественных хвостов. Циклонная минерализация увеличивает вероятность столкновения между частицами и пузырьками и позволяет принудительно извлекать плавающие минералы в зависимости от высокоинтенсивного центробежного силового поля и обилия пузырьков в циклонной секции. Наконец, минерализация трубного потока была использована для разделения средней части циклона и циркуляции пульпы. Трубный поток минерализации вдыхал и дробил воздух на микропузырьки и создавал сильную турбулентность, которая увеличивала вероятность столкновения между частицами и пузырьками, особенно для мелких частиц. Процесс также показал значительные преимущества по сравнению с традиционными флотационными включая потребность в меньшем физическом пространстве и энергии, а также большую способность извлекать более ценные мелкие частицы [19].

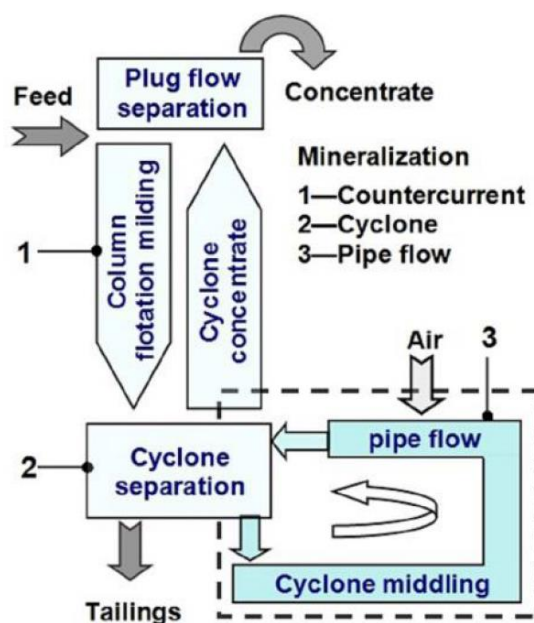


Рисунок 5 - Схематический чертеж циклонно-статической микропузырьковой флотационной колонны [19]

Новая система одновременной флотационных колонн была разработана Алтуном и др [20]. В ней были объединены статический смеситель в питателе, сепаратор пены и дополнительный генератор пузырьков, способствующий их образованию, как показано на рисунке 6. Роль статического смесителя (S1) заключалась в обеспечении сильной турбулентности и эффективного столкновения пузырьков с частицами. Дополнительный генератор пузырьков (S2) устанавливался для получения достаточного количества воздушных пузырьков, что позволяло захватывать отделившиеся или свободные частицы углерода, выходящие из пенной фазы, и тем самым повышать степень извлечения. Эксперименты по флотации несгоревшего углерода проводились с использованием новой системы колонн одновременной флотации с дополнительным генератором пузырьков и без него. Содержание углерода в зольном продукте составило 2,53% и 1% с использованием дополнительного пузырькового генератора и без него, соответственно. По сравнению с флотационной машиной, флотационная колонна увеличивает время контакта между пузырьком и частицей, что подходит для разделения недобгоревшего углерода.

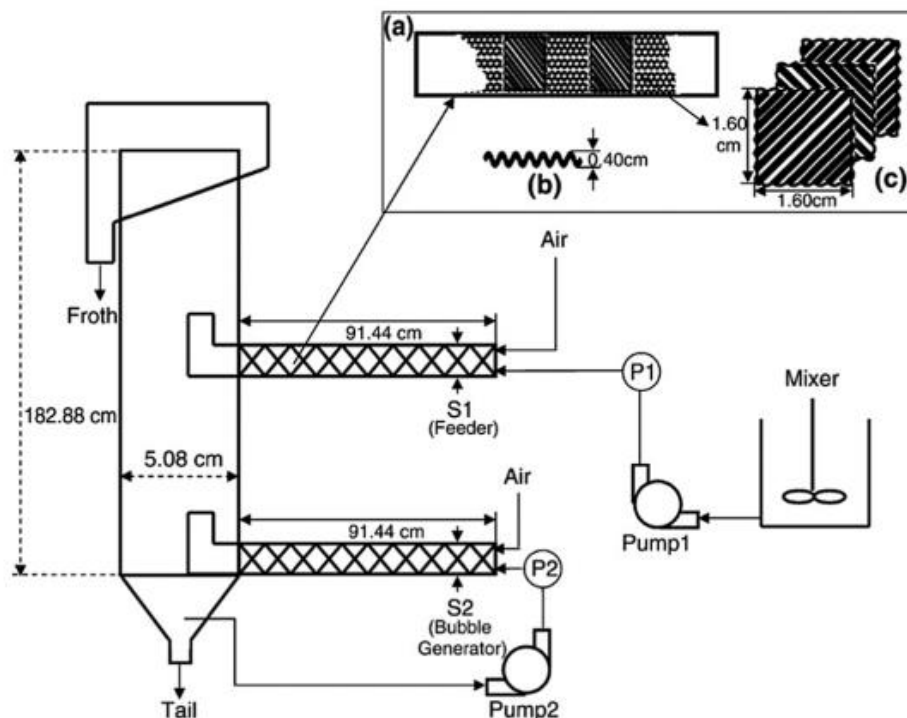


Рисунок 6 - Схема одновременной флотационной колонны и сальниковых устройств: а) устройство сальниковых устройств в статических смесителях, б) вид сбоку на устройство сальниковых устройств, в) вид сверху на устройство сальниковых устройств [20]

Однако, по сравнению с флотацией руд, в процессе удаления несгоревшего углерода все еще существуют технические проблемы, такие как плохая флотационность, микрочастицы сырья и отсутствие хорошей стабильности пены [11,20,21]. Сжигание угля при высокой температуре приводит к существенному изменению физико-химических характеристик на границе раздела несгоревших

углей, включая образование многопористых и сильно окисленных поверхностей, а также осаждение на поверхности несгоревших углей некоторых труднообрабатываемых минералов, сплавляющихся в процессе горения. Специальные полярные собиратели, использовавшиеся при окислении угля, могут быть перспективными для перспективными при окислении угля, такие как карбоновая кислота, аммониевая соль, сложный эфир. соль и сложный эфир. Сообщается, что смесь полярного реагента и масла может могут быть использованы в качестве эффективных коллекторов при осаждении несгоревшего углерода [22,22]. Кроме того, химический состав растворов целлюлозы в флотационных схемах системах имеет различные характеристики. Эти изменения приводят к нестабильности пенных флотационных систем и затруднениям в удалении несгоревшего углерода при флотации. Следует отметить, что продукты флотации необходимо обезвоживать, что является большой проблемой после процесса флотации. Раньше чистый уголь обезвоживался с помощью напорного фильтра, но в процессе производства выяснилось, что влажность угля влажность кека фильтра повышается, что сказывается на качестве продукта флотационного продукта, увеличивает транспортные расходы и влияет на экономическую выгода.

Для интенсификации процессов флотационного извлечения недожога угля применяются различные методы, например предварительная ультразвуковая обработка сырья. Так в работе [23] использовали следующие подходы: предварительную ультразвуковую обработку воды используемой для приготовления пульпы; последовательную электрохимическую и ультразвуковую обработку пульпы; ультразвуковую обработку собирателя с водой; ультразвуковую обработку пульпы. Опытным путём было установлено, что ультразвуковая обработка воды и пульпы обеспечивает повышение извлечение углерода в концентрат на 5-7% по сравнению со стандартной флотацией без применения интенсифицирующих воздействий [23]. Ультразвуковая энергия очень сильна и может изменять свойства поверхности минералов и характеристики газовой фазы в флотационной системе. Она может отслаивать оксидный слой на поверхности частиц недожога, при этом образуется большое количество микропузырьков, тем самым улучшая показатели флотации бурого угля [24]. На рисунке 7 схематично показан механизм физической очистки угля ультразвуком от кавитационных пузырьков.

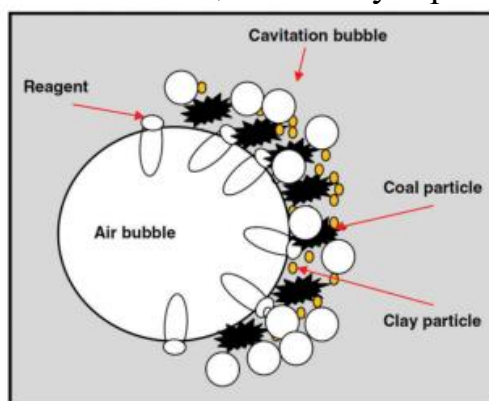


Рисунок 7 - Структура пор бурого угля [25]

Другим подходом к улучшению эффективности флотации за счёт предварительной подготовки сырья является механическая термическая экспрессионная обработка (МТЭО) и шлифование. МТЭО позволяет уменьшить количество кислородсодержащих функциональных групп на поверхности частиц недожога, уменьшить пористость и площадь поверхности, а также предотвратить проникновение собирателя в поры, тем самым улучшая адсорбционную эффективность флотации [26]. В своей работе авторы обнаружили, что выход чистого угля после МТЭО (9 МПа и 200°C) на 21,11% выше, чем у необработанного угля [27]. МТЭО приводит к увеличению гидрофобности и уменьшению пористости бурого угля.

В процессе измельчения происходит отшелушивание оксидного слоя на крупнозернистой поверхности [28]. Добавление ПАВ в процессе измельчения может повысить адсорбционную способность реагентов на поверхности частиц и улучшить их смачиваемость. Так в своей работе авторы добавляли битумную угольную смолу в процессе сухого измельчения угля, что привело к увеличению извлечения чистого угля с 22,1 до 89,9% и снижению зольности чистого угля с 11 до 8%. зольности чистого угля с 11,8 до 10,1% [29]. По сравнению с дизельным топливом, керосином и другими собирателями битумная смола имела более высокую вязкость и более длинные углеродные цепи, что способствовало лучшему проникновению в уголь и избирательному закреплению на гидрофобных группах угля.

Соответствующая предварительная обработка нагревом может повысить жирность бурого угля и недожога, тем самым уменьшить количество кислородсодержащих функциональных групп на поверхности [30]. Характеристики помола недожога могут быть улучшены путем предварительной микроволновой обработки [31]. Так в работе [32] авторы удалили молекулы воды, застрявшие в порах и адсорбированные на поверхности угля с помощью микроволнового нагрева, что привело к снижению гидрофильности угля и что снизило гидрофильность угля и улучшило эффективность его флотации.

В процессе термической переработки Лю с соавторами [33] обнаружил, что влагоудерживающая способность (ВУС) снижается в диапазоне температур 105-600 °С, что связано с уменьшением количества гидрофильных кислородсодержащих функциональных групп. В интервале 600-900 °С ВУС увеличивается за счет увеличения объема микропор и их сужения в условиях повышенной влажности. Эрсой, Тургут и Гювен [34] обнаружили, что термическая обработка бурого угля может удалить поровую воду и некоторые кислородсодержащие функциональные группы на поверхности, тем самым улучшая эффект флотации.

В работе [30] было установлено, что увеличение времени термической обработки приводит к резкому росту извлечения недожога методом флотации с 11% до 83,4% после 4 ч термической обработки. При этом содержание золы и общей серы в сырье снизилось с 7,50 до 5,74% и с 2,50 до 1,52% соответственно. Низкотемпературный нагрев удаляет захваченные молекулы воды в порах и на



поверхности угля и тем самым повышает его гидрофобность. В результате термической обработки постепенно разрушаются кислородсодержащие группы, например карбоксильные, что повышает гидрофобность угля; при окислении некоторых углеводородных цепочек на поверхности угля образуются новые фенольные и карбоксильные группы, что повышает гидрофильность угля.

#### *Флотационные реагенты для отделения несгоревшего углерода*

Не только наличие кислородсодержащих групп на поверхности несгоревшего углерода, но и обширные макропористые структуры делают традиционные реагенты для флотации (керосин, дизельное топливо) малоэффективными. На основе полярных реагентов, разработанных для окисленных и низкосортных углей, были получены многочисленные эвристики, обусловленные сходством свойств поверхности низкосортного, окисленного и несгоревшего угля, включая пористость и наличие кислородсодержащих функциональных групп [35-36]. Таким образом, коллекторы, эффективные для окисленных и низкосортных углей, могут быть пригодны и для несгоревших частиц углерода. Между новыми полярными реагентами и кислородсодержащими группами на поверхности несгоревшего угля образуется водородная связь, что улучшает его плавкость. Доказано, что смесь обычного масла и полярных реагентов, таких как нонилфенол и гексадекан или мазут [37-38], 4-додецилфенол (ДДФ) и гексадекан (ГХД) [39], олеиновая кислота и мазут №2 [40], а также дизельное топливо, уксусная кислота и запатентованный алканоламид [40], является эффективным средством повышения степени восстановления несгоревшего углерода. Для повышения эффективности диспергирования собирателя на углеродной поверхности в работе Zhou и др [41] исследованы четыре различных ПАВ (додецилсульфат натрия, додецилбензолсульфонат натрия, Tween-80 и Triton X-100) в смеси с коллектором (керосином). Результаты флотации выявили сильную связь между LOI продукта и типом используемых поверхностно-активных веществ. При смешивании Triton X-100 с коллекторами был получен наилучший показатель флотации: 79,58% восстановления горючего и 54,43% LOI. Исследование механизма удаления показало, что длина хвоста ПАВ существенно влияет на адсорбцию керосина. Помимо коллекторов, пенообразователи играют очень важную роль в осаждении несгоревшего углерода. Отсутствие хорошей устойчивости пены является одной из трудностей при проведении осаждения недожога углерода. В будущем необходимо продолжить исследования по созданию высокоэффективных пенообразователей.

Присутствие электролитов в суспензии также может изменить электрические свойства поверхности недожога углерода. При добавлении в раствор катионов некоторых металлов отрицательный заряд на поверхности угля уменьшается, поверхностный потенциал меняется с отрицательного на положительный, а катионные электролиты способствуют адсорбции недожога углерода и поверхностно-активных веществ, тем самым повышая степень всплываемости угля [42]. А в работе [43] показано, что присутствие NaCl может снижать дзета-потенциал на поверхности углерода, а затем ослаблять

электростатическое отталкивание между частицами угля и пузырьками. Порядок способности ионов влиять на потенциал следующий:  $Al^+ > Ca^+ > Mg^+ > Na^+$ , причем эффективность катионных ПАВ выше, чем анионных.

Периодически отдельные исследовательские группы предпринимают попытки модифицировать сам метод флотации для более эффективного решения поставленной задачи. Под обратной флотацией понимается использование методов, при которых попутные минералы вымываются в пенный слой, а ценные минералы остаются в ячейке в зависимости от различий свойств ценных и попутных минералов. Обратная флотация широко используется при переработке железных руд, диаспорово-бокситовых руд, фосфатных пород, каолиновых минералов и т.д. Низкокаменный уголь, особенно бурый, легко расслаивается, а его природная обогатимость невысока. В процессе обратного флотирования бурого угля в работе [44] установили, что с увеличением содержания ПАВ додециламин, выход флотата увеличивается, зольность уменьшается, а общая эффективность обратной флотации сначала увеличивается, а потом снижается. В другой работе обратное флотирование суббитуминозного угля проводилось с использованием декстрина и Lilafлот D817M в качестве ингибитора и собирателя, соответственно [45]. В обоих случаях подход доказал свою эффективность. Сходные результаты могут быть получены и для недожога угля, ввиду сходства свойств.

При обычной флотации собиратель обычно диспергируется в суспензии в виде капель. Чтобы изменить гидрофобность угольных частиц, необходимо удалить гидратационный слой на поверхности угля, и тогда частицы могут столкнуться с пузырьками. При масляной флотации на поверхности каждого пузырька имеется слой масла. Когда слой масла прилипает к минеральным частицам, адсорбция минеральных частиц и пузырьков также улучшается, время индукции значительно сокращается, а дозировка коллектора значительно снижается [46]. Чен и соавторы обнаружили, что масляно-пузырьковая флотация может увеличить извлечение бурого угля, снизить расход масел и повысить эффективность флотации бурого угля [47].

Масляная агломерация - это процесс, который впервые был разработан для очистки угля на микроуровне. Для очень мелких (<100 меш) частиц угля эффективность флотации не может поддерживаться на высоком уровне из-за низкой вероятности столкновения частиц и пузырьков. Методы масляной агломерации представляется весьма перспективными для извлечения таких микрочастиц угля. Аналогичным образом масляная агломерация использовалась для удаления несгоревшего углерода из угольной золы [48]. При масляной агломерации частицы углерода смачиваются маслом и при перемешивании образуют агломераты, а минеральные частицы золы остаются во взвешенном состоянии. Поверхностные свойства твердых частиц и нефти являются ключевыми факторами для агломерации нефти. Грей и др. [49] использовали шестифутовую агломерационную колонну для удаления несгоревшего углерода из угольной золы, получив извлечение углерода на уровне 55-57% и чистоту 66-71%. Сравнение эффективности агломерации

проводилось с использованием четырех растворителей (пентана, гексана, циклогексана и гептана), и лучшим растворителем в данных условиях оказался циклогексан. Ультразвуковые волны в диапазоне частот 0-1 МГц применялись для усиления перемешивания циклогексана и золы в резервуаре и на дне ультразвуковой агломерационной колонны, как показано на рисунке 8 [50].

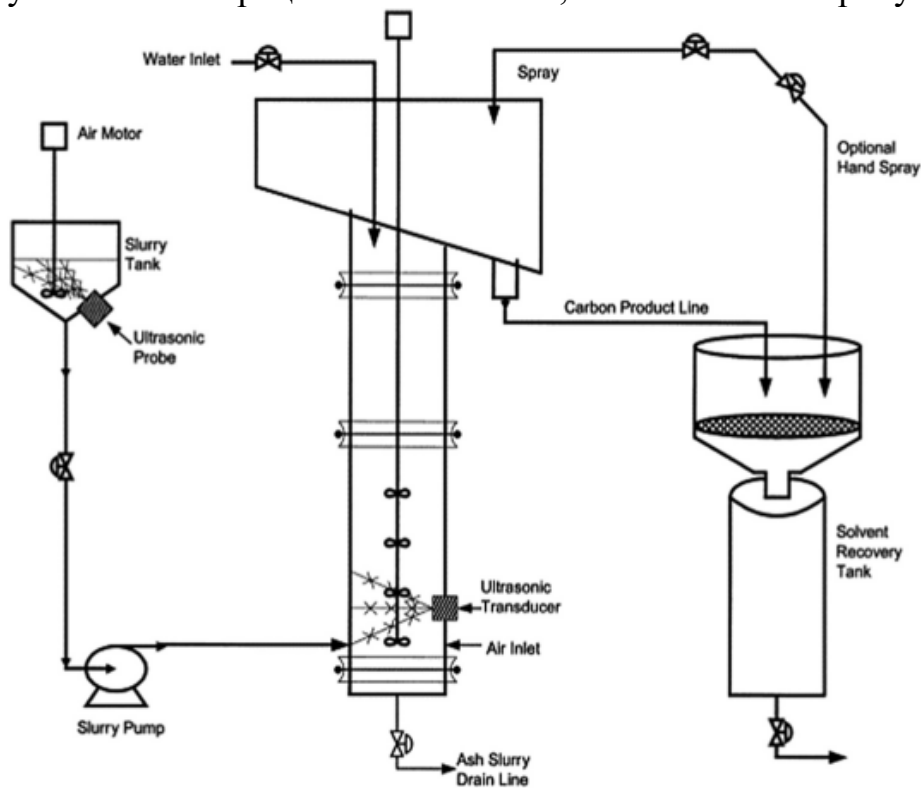


Рисунок 8 - Принципиальная схема системы ультразвуковых агломерационных колонн [50]

При использовании этого метода в агломерационной колонне извлечение углерода составило 54,54%, а LOI - 53,23%. В качестве растворителя агломератов для концентрации несгоревшего углерода также использовалось растительное масло [51]. Однако в этом исследовании данных по регенерации не приводилось. Следует отметить, что остатки масла на частицах несгоревшего угля могут влиять на площадь поверхности и другие адсорбционные характеристики продуктов сгорания. Хотя агломерация масла является хорошим методом разделения частиц, следует учитывать дозировку масла и гидрофобность поверхности частиц.

Метод селективной флокуляции чаще всего используется при неполной флотации минералов. Технология селективной флокуляции заключается в добавлении в суспензию диспергаторов, сокулянтов, регуляторов и т.д. для регулирования и изменения силовых свойств частиц. В результате чего одни частицы агломерируются, а другие остаются в стабильной суспензии. Затем взвешенные частицы отделяются друг от друга путем отстаивания, просеивания и т.д. Если частицы флокулянта и взвешенные частицы трудно эффективно разделить седиментацией, можно использовать селективную флокуляционную флотацию.

Этот метод коксования очень эффективен для переработки отходов бурого угольной промышленности. Так в работе [52] авторы оценили целесообразность обогащения низкокачественного бурого угля с помощью метода флокуляции. При этом изучалось влияние различных факторов, таких как время, рН, дозировка флокулянта и содержание твердого вещества. При использовании триметиламмониевого производного гуарана было достигнуто 40%-ное удаление золы. Дуэйол и Сенсогут [53] исследовали влияние рН, концентрации силиката натрия и керосина на поведение гидрофобной флокуляции. Были получены гидрофобные флокуляты с извлечением недожога 90% и зольностью 9,8%.

#### **Список литературы:**

1. Bartoňová L. Unburned carbon from coal combustion ash: An overview // *Fuel Processing Technology*. – 2015. – Vol. 134. – pp. 136-158.
2. Rubio B. et al. Preparation and characterization of carbon-enriched coal fly ash // *Journal of environmental management*. – 2008. – Vol. 88. – №. 4. – pp. 1562-1570.
3. Soong Y. et al. Dry beneficiation of high loss-on-ignition fly ash // *Separation and Purification Technology*. – 2002. – Vol. 26. – №. 2-3. – pp. 177-184.
4. Патент РФ №2494816 В03В9,10.10.2013. Технологическая линия для переработки золошлаковых отходов – продуктов сжигания угольного топлива// Патент России №2494816 В03В9, 2012 / Таскин А.В., Обухов И.В.
5. Maroto-Valer M. M., Taulbee D. N., Hower J. C. Novel separation of the differing forms of unburned carbon present in fly ash using density gradient centrifugation // *Energy & Fuels*. – 1999. – Vol. 13. – №. 4. – pp. 947-953.
6. Hwang J. Y. et al. Unburned carbon from fly ash for mercury adsorption: I. Separation and characterization of unburned carbon // *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*. – 2002. – Vol. 1. – №. 01. – pp. 39.
7. Soong Y., Schoffstall M. R., Link T. A. Triboelectrostatic beneficiation of fly ash // *Fuel*. – 2001. – Vol. 80. – №. 6. – pp. 879-884.
8. Li H. S. et al. Reverse-blowing tribo-electrostatic separation method and device for fly ash decarburization // *China: Google Patents, CN105149099A*. – 2015.
9. Xia Y. et al. Enhancement of the surface hydrophobicity of low-rank coal by adsorbing DTAB: An experimental and molecular dynamics simulation study // *Fuel*. – 2019. – Т. 239. – С. 145-152.
10. Zhang W., Honaker R. Studies on carbon flotation from fly ash // *Fuel processing technology*. – 2015. – Vol. 139. – pp. 236-241.
11. Huang Y., Takaoka M., Takeda N. Removal of unburned carbon from municipal solid waste fly ash by column flotation // *Waste Management*. – 2003. – Vol. 23. – №. 4. – pp. 307-313.
12. Jameson G. J. et al. Application of the Jameson cell technology for algae and phosphorus removal from maturation ponds // *International Journal of Mineral Processing*. – 2004. – Vol. 73. – №. 1. – pp. 23-28.

13. Li S. et al. Industrial application of a modified pilot-scale Jameson cell for the flotation of spodumene ore in high altitude area // Powder technology. – 2017. – Vol. 320. – pp. 358-361.
14. Uçurum M. Influences of Jameson flotation operation variables on the kinetics and recovery of unburned carbon // Powder Technology. – 2009. – Vol. 191. – №. 3. – pp. 240-246.
15. Şahbaz O. et al. Separation of unburned carbonaceous matter in bottom ash using Jameson cell // Separation and Purification Technology. – 2008. – Vol. 62. – №. 1. – pp. 103-109.
16. Березняк А.А., Дрешпак А.С., Глухова Н.Р. Исследование обогащения золы-уноса ТЭС на пневматической флотомашине типа «Jameson Cell». – 2019.
17. Xu M. et al. A comparison of removal of unburned carbon from coal fly ash using a traditional flotation cell and a new flotation column // Physicochemical Problems of Mineral Processing. – 2017. – Vol. 53. – №. 1. – pp. 628-643.
18. Deng X. et al. Velocity distribution of the flow field in the cyclonic zone of cyclone-static micro-bubble flotation column // International Journal of Mining Science and Technology. – 2013. – Vol. 23. – №. 1. – pp. 89-94.
19. Altun N. E., Xiao C., Hwang J. Y. Separation of unburned carbon from fly ash using a concurrent flotation column // Fuel Processing Technology. – 2009. – Vol. 90. – №. 12. – pp. 1464-1470.
20. Drzymala J., Gorke J. T., Wheelock T. D. A flotation collector for the separation of unburned carbon from fly ash // Coal Preparation. – 2005. – Vol. 25. – №. 2. – pp. 67-80.
21. Niewiadomski M. et al. Recovery of coke fines from fly ash by air sparged hydrocyclone flotation // Fuel. – 1999. – Vol. 78. – №. 2. – pp. 161-168.
22. Walker A., Wheelock T. D. Separation of carbon from fly ash using froth flotation // Coal Preparation. – 2006. – Vol. 26. – №. 4. – pp. 235-250.
23. Полтарецкая А. Е., Рассказова А. В. Повышение комплексности использования угольных ресурсов путем переработки техногенных золошлаковых отходов // Ученые заметки ТОГУ. – 2018. – Т. 9. – №. 2. – С. 1037-1041.
24. Polat H., Chander S. Interaction between physical and chemical variables in the flotation of low rank coals // Mining, Metallurgy & Exploration. – 1998. – Vol. 15. – pp. 41-47.
25. Mao Y. et al. Discussion on ultrasonic enhanced lignite flotation and its action mechanism // Meitan Xuebao. – 2017. – Vol. 42. – №. 11. – pp. 3006-3013.
26. Lian L. L., Gui X. H. Effect of hot-pressing on lignite flotation // Coal Technology. – 2017. – Vol. 36. – №. 10. – pp. 283-85.
27. Gui X. et al. Enhancing lignite flotation performance by mechanical thermal expression treatment // International Journal of Coal Preparation and Utilization. – 2020. – Vol. 40. – №. 1. – pp. 51-58.

28. O'Brien G., Firth B., Adair B. The application of the coal grain analysis method to coal liberation studies // *International Journal of Coal Preparation and Utilization*. – 2011. – Vol. 31. – №. 2. – pp. 96-111.
29. Ateşok G., Boylu F., ÇelİK M. S. Carrier flotation for desulfurization and deashing of difficult-to-float coals // *Minerals Engineering*. – 2001. – Vol. 14. – №. 6. – pp. 661-670. doi:10.1016/S0892-6875(01)00058-9.
30. Çınar M. Floatability and desulfurization of a low-rank (Turkish) coal by low-temperature heat treatment // *Fuel Processing Technology*. – 2009. – T. 90. – №. 10. – C. 1300-1304. doi:10.1016/j.fuproc.2009.06.017.
31. Sahoo B. K. et al. Enhancement of rheological behavior of Indian high ash coal– water suspension by using microwave pretreatment // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 2010. – Vol. 49. – №. 6. – pp. 3015-3021.
32. Özbayoğlu G., Depci T., Ataman N. Effect of microwave radiation on coal flotation // *Energy Sources, Part A*. – 2009. – Vol. 31. – №. 6. – pp. 492-499.
33. Liu L. H. et al. Effect of moisture adsorption and air pre-oxidation on spontaneous combustion liability of upgraded lignite // *Journal of Fuel Chemistry and Technology*. – 2016. – Vol. 44. – №. 10. – pp. 1153-59.
34. Ersoy Ö. F. et al. Effect of heat treatment on the flotation of Turkish lignites in brine solution // *Materials Science and Technology*. – 2013. – Vol. 10. – pp. 2044-2052.
35. Dey S. Enhancement in hydrophobicity of low rank coal by surfactants— A critical overview // *Fuel Processing Technology*. – 2012. – Vol. 94. – №. 1. – pp. 151-158.
36. Gui X. et al. Intensification mechanism of oxidized coal flotation by using oxygen-containing collector  $\alpha$ -furanacrylic acid // *Powder Technology*. – 2017. – Vol. 305. – pp. 109-116.
37. Harris T., Wheelock T. D. Process conditions for the separation of carbon from fly ash by froth flotation // *International journal of coal preparation and utilization*. – 2008. – Vol. 28. – №. 3. – pp. 133-152.
38. Walker A., Wheelock T. D. Separation of carbon from fly ash using froth flotation // *Coal Preparation*. – 2006. – Vol. 26. – №. 4. – pp. 235-250.
39. Drzymala J., Gorke J. T., Wheelock T. D. A flotation collector for the separation of unburned carbon from fly ash // *Coal Preparation*. – 2005. – Vol. 25. – №. 2. – pp. 67-80.
40. Eisele T. C., Kawatra S. K. Use of froth flotation to remove unburned carbon from fly ash // *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. – 2002. – Vol. 23. – №. 1. – pp. 1-10.
41. Zhou F. et al. The result of surfactants on froth flotation of unburned carbon from coal fly ash // *Fuel*. – 2017. – Vol. 190. – pp. 182-188.
42. Li Y. Research on particle size effect and interface interaction in low rank coal reverse flotation // *China University of Mining and Technology: Xuzhou*. – 2017. – pp. 8-10.

43. Li Y.G. et al. Flotation behaviors of coal particles and mineral particles of different size ranges in coal reverse flotation // *Energy & Fuels*. – 2016. – Vol. 30 (11). – pp.33–38. doi:10.1021/acs.energyfuels.6b01516.
44. Qu W. Experimental study on the reverse flotation of the lignite from Xilin Haote. Xuzhou: China University of Mining and Technology. – 2014.
45. Li Y.G. et al. Flotation behaviors of coal particles and mineral particles of different size ranges in coal reverse flotation // *Energy & Fuels*. – 2016. – Vol. 30 (11). – pp.33–38. doi:10.1021/acs.energyfuels.6b01516.
46. Vickers N. J. Animal communication: when i'm calling you, will you answer too? // *Current biology*. – 2017. – Vol. 27. – №. 14. – pp. R713-R715. doi:10.1016/j.powtec.2017.06.030.
47. Chen S. J. et al. Attachment characteristics between oily bubbles and low rank coal particles // *Journal of China Coal Society*. – 2017. – Vol. 42. – №. 3. – pp. 745-52.
48. Blissett R. S., Rowson N. A. A review of the multi-component utilisation of coal fly ash // *Fuel*. – 2012. – Vol. 97. – pp. 1-23.
49. Gray M. L. et al. Parametric study of the column oil agglomeration of fly ash // *Fuel*. – 2001. – Vol. 80. – №. 6. – pp. 867-871.
50. Gray M. M. L. et al. Physical cleaning of high carbon fly ash // *Fuel processing technology*. – 2002. – Vol. 76. – №. 1. – pp. 11-21.
51. Rubio B. et al. Preparation and characterization of carbon-enriched coal fly ash // *Journal of environmental management*. – 2008. – Vol. 88. – №. 4. – pp. 1562-1570.
52. Singh A. V., Sharma N. K. Advances in flocculation technology based on polysaccharide for beneficiation of low-quality lignite from deposits of Bikaner, India // *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. – 2015. – Vol. 37. – №. 17. – pp. 1915-1920.
53. Duzyol S., Sensogut C. The relation between hydrophobic flocculation and combustion characteristics of coal // *Fuel Processing Technology*. – 2015. – Vol. 137. – pp. 333-338. doi:10.1016/j.fuproc.2015.03.021.

**Бондаренко Юлия Валерьевна<sup>1</sup>, Бондаренко Алексей Валерьевич<sup>2</sup>**  
**ОПИСАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ДОБЫЧИ КРАБОВ**

<sup>1</sup>ДВФУ, Департамент морской техники и транспорта, Политехнический институт (школа), г. Владивосток о. Русский, поселок Аякс - 10, кампус ДВФУ, 690922.

<sup>2</sup>ООО «ТОПМЕД ДВ», г. Хабаровск, ул. Сыроева д. 2, 680012

Научный руководитель: Бугаев Виктор Григорьевич д.т.н., профессор, ДВФУ, Департамент морской техники и транспорта

**Аннотация**

В статье описывается организация промысла краба, с описанием основных районов добычи Дальневосточных морей. Представлены основные схемы работы промыслового флота и элементы промыслового рейса.

**Ключевые слова:** крабы, организация промысла, районы добычи, промысловый флот, элементы промыслового рейса.

**Введение**

Организация работы промыслового флота в море, должна преследовать в первую очередь цель, обеспечить систематическое выполнение и перевыполнение плановых суточных уловов добывающими судами, а также свести к минимуму все затраты времени судов, не связанные непосредственно с ловом краба. Промысловые суда отличаются от транспортных судов не только составом своего оборудования, но и режимом их использования в течении промысловых рейсов. В данной статье будут подробно представлены элементы промыслового рейса, основные формы организации работы промыслового флота.

**Описание крабового промысла**

Крабовый промысел, добыча (вылов) крабов с целью последующей переработки или коммерческой реализации. Объектами крабового промысла являются крабы (Brachyura) и крабоиды (Lithodidae), отряд десятиногих [1].

Основу российского крабового промысла составляют 9 шельфовых видов: камчатский краб, синий и равношипый крабы, крабы-стригуны (опилио и бэрди) и другие. С конца 20 в. в Охотском и Японском морях добывают глубоководные виды (крабы-стригуны – красный и ангулятус).

Добыча шельфовых крабов ведётся на глубинах 20–700 м, глубоководных – 800–1500 м.

На рисунках 1-3 представлены диаграммы среднесуточного вылова, максимального суточного вылова, нарастающего вылова краба по видам.

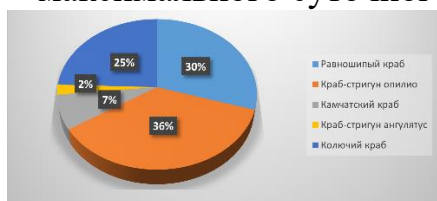


Рисунок 1 - Среднесуточный вылов краба по видам

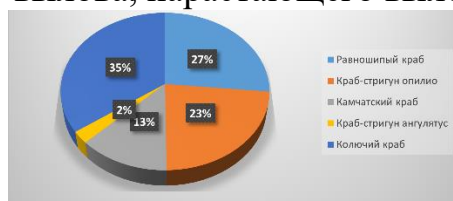


Рисунок 2 - Максимальный суточный вылов краба по видам

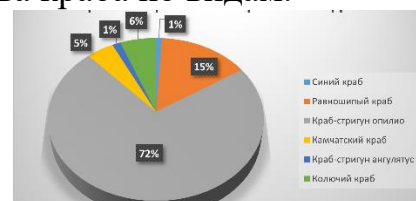


Рисунок 3 - Нарастающий вылов краба по видам



Основными районами (около 70% общероссийского вылова) являются Берингово, Охотское и Японское моря с прилегающими к ним в пределах 200-мильной экономической зоны РФ акваториями Тихого океана (рисунок 4):

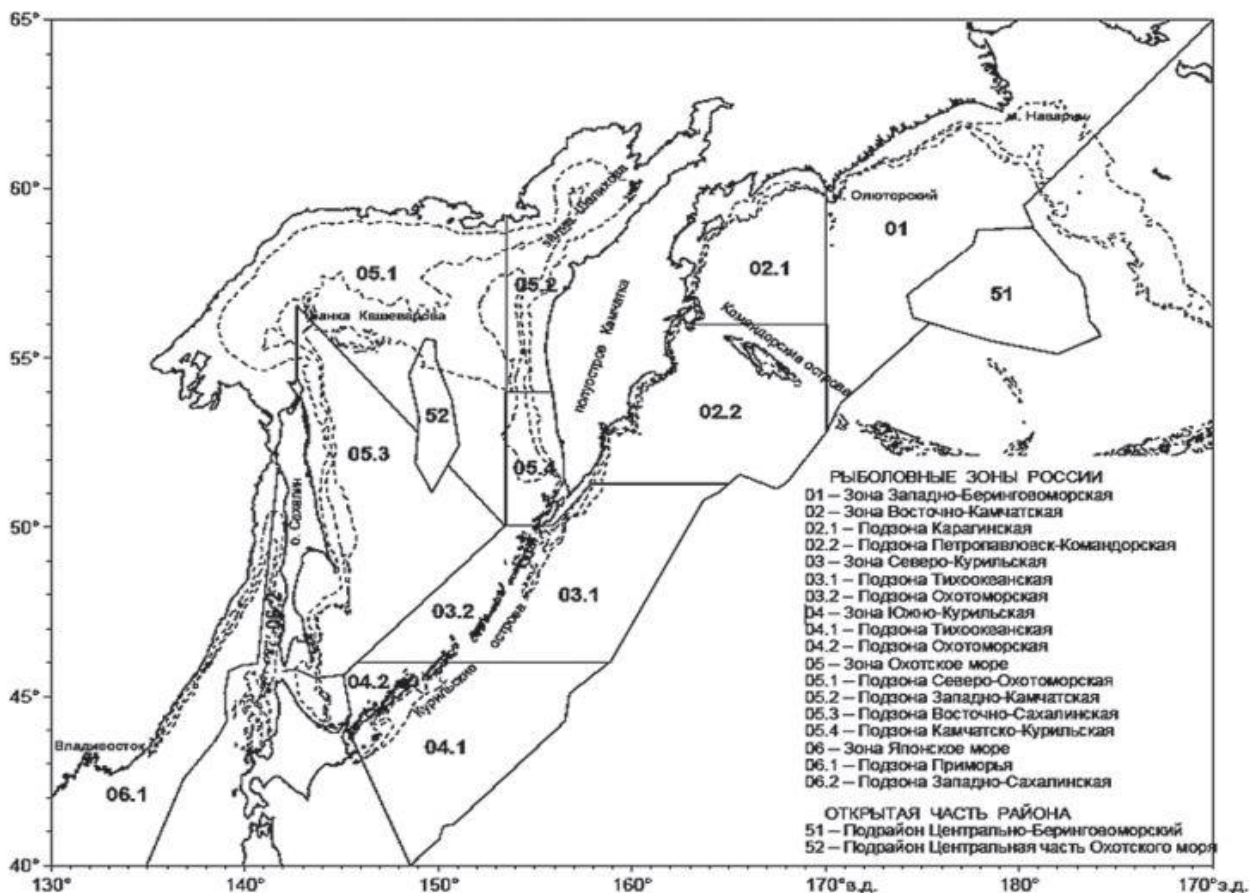


Рисунок 4. Промысловые районы Дальневосточных морей и прилегающих вод Тихого океана [2]

В настоящее время добыча крабов осуществляется только с помощью крабовых ловушек. Они представляют собой прямоугольные, конусообразные или пирамидальные клетки из прочной стальной рамы, на которую натянута металлическая или нейлоновая сеть. В ловушке имеется ловчее отверстие, кормушка, в которую укладывается наживка (кусоч свежей или замороженной рыбы), и открывающееся дно. Перед спуском в воду к порядку клеток подсоединяется трос с закрепленным сигнальным бумом. После этого ловушка сбрасывается на глубину 100-200 м и оставляется на дне в течение нескольких дней. За один раз устанавливают до 200 таких клеток на площади до 100 кв. км. Через максимум два дня судно возвращается и поднимает со дна ловушки с пойманными крабами. Осредненные уловы на ловушку колебались от 100 до 300 экз./лов [3].

На рисунке 5 показана коническая сетная крабовая ловушка со стальным каркасом, имеющая вид усеченного конуса с выходным отверстием диаметром 0,5 м. Для расправления во время лова ловушки иногда оснащают плавом.

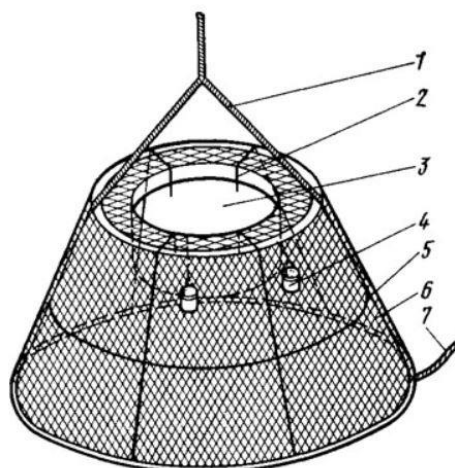


Рисунок 5 - Коническая сетная крабовая ловушка:

- 1 - поводец ловушки; 2 — поводец горловины; 3 — входное отверстие ловушки; 4 — кормушка; 5 — стальной каркас ловушки; 6 — сетное полотно; 7 — гайтян

Крабовые ловушки (до 50—60 шт.) объединяют в порядок (рисунок 6). Расстояние между ловушками в порядке составляет 20—30 м. Каждую ловушку или порядок в целом соединяют с бумом, отмечающим их положение.

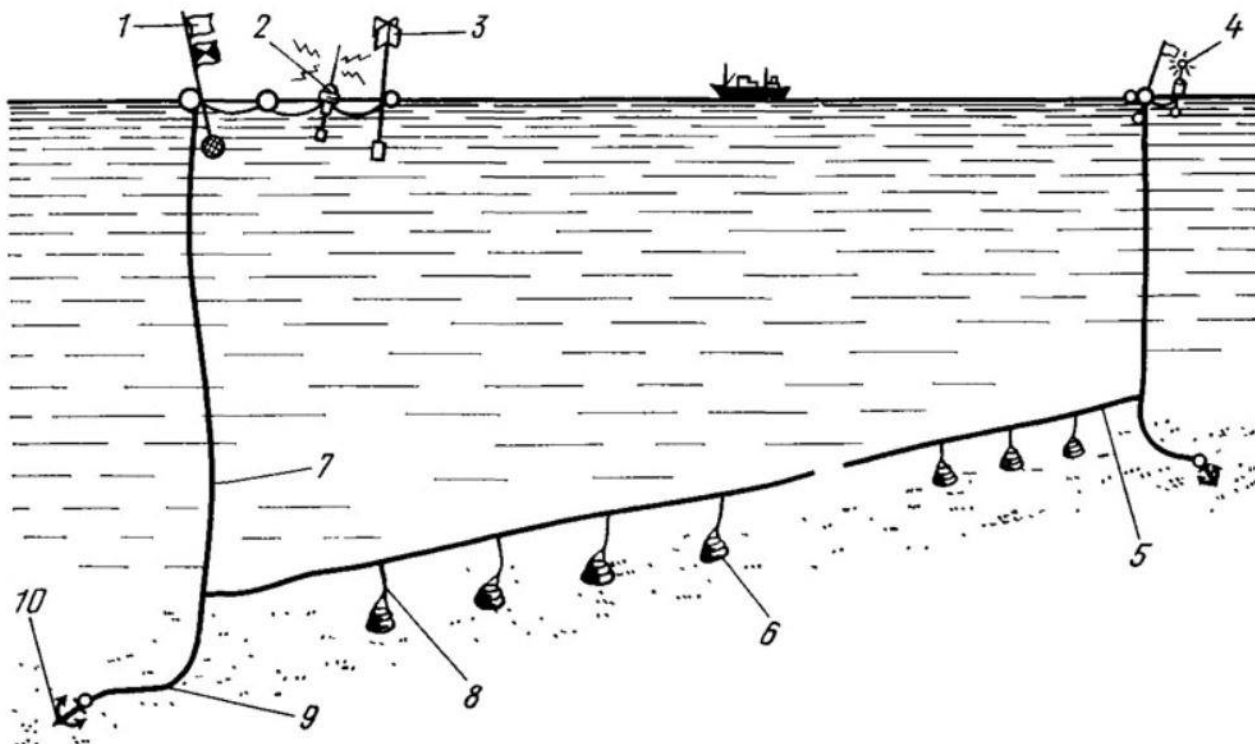


Рисунок 6. Порядок крабовых ловушек:

- 1 — флаг; 2 — радиобуй; 3 — радиолокационный отражатель; 4 — светящийся буй; 5 — вожак (хребтина) 6 — ловушка; 7 — буйковый поводец; 8 — поводец ловушки; 9 — якорная цепь; 10 — якорь

### Организация работы промыслового флота

Организация работы промыслового флота в море, должна преследовать в первую очередь цель, обеспечить систематическое выполнение и перевыполнение плановых суточных уловов добывающими судами, а также

свести к минимуму все затраты времени судов, не связанные непосредственно с ловом краба [4].

Традиционно выделяют две основные формы организации промысла: автономная и экспедиционная.

При автономной организации промысла краболовное судно вылавливает краба и по заполнении трюмов сдает живого краба/ полуфабрикат/ выработанную им готовую продукцию непосредственно на береговые предприятия.

При экспедиционной форме организации промысла краболовное судно уходит на промысел на длительное время. Обработка и транспортировка улова в порт осуществляется специальными производственно-транспортными судами.

Схемы организации промысла представлены на рисунке 7.



Рисунок 7 - Основные схемы организации промысла

Промысловые суда отличаются от транспортных судов не только составом своего оборудования, но и режимом их использования в течении промысловых рейсов. Как известно, один рейсообразот обычного грузового транспортного

судна состоит лишь из двух элементов – переходы между портами назначения и стоянок в этих портах под погрузкой или разгрузкой. При этом на переходах двигатели работают стабильно на полную мощность.

Иначе организованы рейсы промыслового судна, рейсооборот такого судна включает в себя следующие элементы [5]:

1. Переходы из порта в район промысла (5-15% рейсооборота)
2. Работа на промысле (70-90 % рейсооборота) и в том числе:
  - 2.1 переходы из квадрата в квадрат (8-10% промысла),
  - 2.2 работа с орудием лова (8-10 % промысла),
  - 2.3 процесс добычи (50-70% промысла),
  - 2.4 переходы к плавбазам (до 5% промысла),
  - 2.5 стоянка у плавбаз и др. (5-10% промысла).
3. Штормовые простои (1-3% рейсооборота)
4. Переходы с промысла в порт базирования (5-15% рейсооборота)
5. Стоянка в порту с погрузо-разгрузочными операциями и др. (5-15% рейсооборота).

В заключении хотелось бы отметить, что организация работы промыслового флота для добычи крабов является сложным процессом, в котором необходимо учитывать различные вероятностные факторы, такие как: штормовые простои, места скопления крабов, суточные уловы крабов, кроме того, при перевозке живого краба необходимо учитывать предельные сроки перевозки и оптимальные загрузки ёмкостей (RSW-танков) для сохранения жизнеспособности краба.

#### **Список литературы:**

1. Метелев Е. А., Абаев А. Д., Клинушкин С. В., Васильев А. Г. Распределение и численность промысловых видов крабов в центральной части Охотского моря // Труды ВНИРО. 2017. Том 165. С. 3-12. [Электронный ресурс]: режим доступа: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspredelenie-i-chislennost-promyslovyh-vidov-krabov-v-tsentralnoy-chasti-ohotskogo-morya>
2. Балыкин П.А. Современное состояние промысла крабов на Дальнем Востоке России // Национальная (всероссийская) научно-практическая конференция «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование». 2021. № XII. С. 86-90. [Электронный ресурс]: режим доступа: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-promysla-krabov-na-dalнем-vostoke-rossii>
3. Моисеев С. И., Моисеева С. А. Проблемы содержания и транспортировки крабов в живом виде на крабовых судах // Труды ВНИРО. 2017. Том 166. С. 22-31. [Электронный ресурс], режим доступа: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-soderzhaniya-i-transportirovki-krabov-v-zhivom-vidе-na-krabovnyh-sudah>
4. Слизкин А., Сафронов С. Промысловые крабы прикамчатских вод: учебник: Петропавловск Камчатский - Северная пачифика. 2000. С. 142.

5. Ефремов Л.В. Техническая эксплуатация промышленного флота: конспект лекций: Санкт-Петербург, 2007. С. 48. [Электронный ресурс], режим доступа: URL: <https://kuzy.ucoz.com/ЛЕКЦИЯ.pdf>

**Титеев Иван Сергеевич, Бирюков Юрий Александрович**  
**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА РЕКОНСТРУКЦИИ: АНАЛИЗ**  
**ФАКТОРОВ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОДХОДЫ**

*Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения им генерала армии В.А. Хрулева, кафедра «Управления строительством и эксплуатацией объектов военной инфраструктуры». Почтовый адрес: Санкт-Петербург, Россия, 191123 ул.Захарьевская дом 22.*

**Аннотация:** научная статья рассматривает важные аспекты выбора наилучшего способа реконструкции объекта с учетом основных факторов, таких как капитальные вложения, физический и моральный износ объекта. Авторы подчеркивают, что реконструкция является перспективным подходом, позволяющим улучшить условия эксплуатации под современные стандарты, без необходимости полного сноса объекта. Однако, каждый проект реконструкции требует индивидуального подхода и учета различных факторов. В статье представлены разнообразные способы реконструкции, такие как усиление несущих строительных конструкций, надстройка мансарды, пристройка отдельных секций, а также комбинированные, инновационные и традиционные подходы.

**Ключевые слова:** реконструкция объектов, способы реконструкции, усиление конструкций, надстройка, пристройка, физический износ, моральный износ.

Реконструкция объектов является одним из важных направлений в строительстве по нескольким причинам:

- сохранение культурного наследия (многие объекты имеют историческую и культурную ценность, являясь частью национального и мирового наследия. Реконструкция позволяет сохранить архитектурные шедевры и культурные памятники для будущих поколений);

- увеличение эффективности использования (реконструкция позволяет адаптировать устаревшие объекты под современные потребности с помощью изменения функциональности, улучшения энергоэффективности или создания пространств для новых видов деятельности);

- экономическая эффективность (использование существующей инфраструктуры и строительных материалов может снизить затраты и сократить сроки выполнения работ. Стоимость сноса, транспортировки и утилизации отходов составит примерно 30-50% от стоимости строительства нового здания такой же площади) [1, 2];

- обновление устаревших объектов (такие объекты подвержены высокому физическому износу и использованием устаревших технологий).

Реконструкция иногда необходима в связи с изменением функционального назначения при передаче его для дальнейшей эксплуатации от одной организации к другой.

В обобщенном виде, реконструкция охватывает разнообразные организационно-технические мероприятия и строительные работы, целью которых является изменение основных технико-экономических показателей и улучшение функциональности объекта, подлежащего реконструкции.

Большинство объектов обладают длительным сроком эксплуатации, однако с течением времени они становятся морально устаревшими с точки зрения функционального назначения в связи с техническим прогрессом.

Следует отметить, что моральный износ связан с несоответствием основных параметров объекта, которые определяют условия проживания или производства, объем и качество предоставленных услуг, современным требованиям [3]. Моральный износ связан с устареванием функциональности и несоответствия здания современным потребностям. Здание может быть в хорошем техническом состоянии, но устаревшее или непригодное для современных требований. В этом случае реконструкция может быть направлена на изменение планировки помещений, модернизацию инженерных систем и приведение объекта в соответствие с современными стандартами и технологиями.

В то время как физический износ характеризуется ухудшением технических показателей здания и связанных с ними других характеристик его эксплуатационного состояния на определенный момент времени [3]. Физический износ относится к физическому старению, износу материалов, компонентов и структур объекта со временем. Если объект имеет значительный физический износ, реконструкция может потребоваться для восстановления и усиления его основных конструкций, замены устаревших материалов или систем, а также ремонта повреждений, чтобы обеспечить безопасность и функциональность.

Таким образом, при выборе способа и метода реконструкции необходимо учитывать капиталовложения в объект, физический и моральный износ, а также конкретные потребности и цели проекта реконструкции. Оценка состояния объекта и анализ его функциональности поможет определить оптимальный подход к реконструкции и достижению желаемых результатов.

Анализ публикаций [4-13] и исследование практического опыта в области реконструкции объектов, показал многочисленное разнообразие предлагаемых способов проведения реконструктивных работ. Эффективность этих способов не является универсальной и зависит от производственных условий, степени физического износа конструктивных элементов и морального износа самого объекта.

В процессе реконструкции выделяется четыре основных возможных способа:

- надстройка и обстройка здания с использованием монолитных несущих

конструкций на отдельном фундаменте;

- надстройка мансарды;
- пристройка отдельных секций;
- усиление несущих конструкций объекта.

Надстройка и обстройка объекта с использованием монолитных несущих конструкций на отдельном фундаменте приводит к изменению объема объекта, который может быть значительно более масштабным, чем надстройка мансарды. Такая надстройка, осуществленная на отдельном фундаменте, позволяет создавать дополнительные этажи, начиная от трех-пяти этажей и даже более, в зависимости от несущей способности основания (таблица 1).

Таблица 1. Основные достоинства и недостатки при выполнении надстройки и обстройки объекта с использованием монолитных несущих конструкций на отдельном фундаменте.

<b>Надстройка и обстройка объекта с использованием монолитных несущих конструкций на отдельном фундаменте</b>	
<b>Достоинства</b>	
1.	Позволяет значительно увеличить объем объекта, создавая дополнительные этажи и значительно увеличивая жилую или рабочую площадь.
2.	Позволяет реализовать разнообразные планировочные решения для адаптации объекта под различные потребности и функции
3.	Высокая несущая способность. Отдельный фундамент обеспечивает дополнительную поддержку и устойчивость надстройки, позволяя создавать более высокие и масштабные конструкции
4.	Использование отдельного фундамента для надстройки минимизирует воздействие на существующую часть объекта, что способствует сохранению его целостности и минимизации возможных повреждений
5.	Возможность придать объекту современный и эстетически привлекательный вид, что повышает его стоимость и привлекательность
6.	В сравнении с новым строительством, надстройка на отдельном фундаменте может быть более экономически эффективной
<b>Недостатки</b>	
1.	Строительство отдельного фундамента и монолитных конструкций может быть затратным, особенно если реконструируется крупный объект или требуется значительное увеличение площади
2.	Некоторые существующие здания могут иметь ограниченные технические характеристики или несущую способность, что может ограничивать возможности проведения надстройки
3.	Реконструкция с использованием монолитных несущих конструкций может оказывать воздействие на соседние объекты, вызывая трещины или деформации
4.	Некоторые устаревшие или поврежденные объекты имеют архитектурные особенности, которые могут быть сложными для сохранения или сочетания с новой надстройкой

Надстройка мансарды представляет собой создание мансардных помещений на месте перестроенного чердака, чтобы использовать дополнительное пространство под крышей, либо возведение дополнительной мансарды, что приводит к увеличению этажности объекта (таблица 2).

Таблица 2. Основные достоинства и недостатки при выполнении надстройки мансарды.

№ п/п	Надстройка мансарды
<b>Достоинства</b>	
1.	позволяет использовать ранее неиспользуемое пространство, что приводит к значительному увеличению полезной площади объекта без необходимости увеличения его земельного участка
2.	значительно позволяет улучшить архитектурный облик объекта, добавив ему уникальности
3.	увеличивает функциональность объекта, может быть использована для различных целей, таких как жилая площадь, рабочее пространство и т.д.
4.	сохранение исторической ценности
5.	возможность использования уже существующих коммуникаций
6.	простой и относительно экономичный метод реконструкции, стоимость которого на 20-50% ниже, чем у обычных способов
<b>Недостатки</b>	
1.	мансардные помещения могут иметь ограниченные возможности для утепления и обеспечения хорошей вентиляции, что может привести к проблемам с тепло- и звукоизоляцией
2.	для проведения надстройки мансарды часто требуются разрешительные документы и согласования с городскими или муниципальными органами, что может затянуть процесс реализации проекта
3.	новая надстроенная часть приводит к относительно небольшому увеличению общей площади здания
4.	в некоторых случаях надстройка мансарды может увеличить общую стоимость реконструкции, особенно если требуется сложная инженерная подготовка

К пристройке отдельных секций относится как добавление дополнительных объёмов в виде отдельных комнат и секций к фасадным и торцевым поверхностям реконструируемого объекта, так и пристройка дополнительных объёмов, таких как лоджии, эркеры, лифтовые шахты, санитарно-технические узлы и т.д. (таблица 3).

Таблица 3. Основные достоинства и недостатки при выполнении пристройки отдельных секций.

№ п/п	Пристройка отдельных секций
<b>Достоинства</b>	
1.	позволяет более гибко вписывать новые объёмы в существующую застройку, что открывает широкий спектр архитектурных решений
2.	позволяет эффективно использовать доступные участки и максимально увеличить общую площадь объекта
3.	позволяет комбинировать различные методы реконструкции, такие как надстройка или добавление лоджий и эркеров, что позволяет создать уникальные архитектурные решения
4.	позволяет облегчить проблемы, связанные с переселением жильцов, особенно в случае, когда реконструируется группа жилых объектов
5.	позволяет проводить реконструкцию поэтапно, с постепенным переселением



	жителей в пределах реконструируемой группы
<b>Недостатки</b>	
1.	целесообразна при реконструкции группы объектов или когда существует возможность уплотнения застройки
2.	занимает значительное время из-за необходимости интегрировать новые секции с уже существующей застройкой
3.	потребность в достаточном финансировании

Усиление несущих строительных конструкций объекта играет ключевую роль в процессе реконструкции и может оказать значительный положительный эффект [4]. Это важный инженерный подход, который позволяет улучшить техническое состояние объекта, повысить его надежность и функциональность без необходимости полного сноса и строительства нового здания (таблица 4).

Таблица 4. Основные достоинства и недостатки при выполнении усиления несущих строительных конструкций объекта.

№ п/п	Усиление несущих строительных конструкций
<b>Достоинства</b>	
1.	экономическая эффективность (усиление строительных конструкций часто оказывается более экономически выгодным по сравнению с полным сносом и новым строительством, что позволяет сэкономить значительные затраты на материалы, трудозатраты и время)
2.	позволяет сохранить уникальную архитектуру и культурное наследие, что особенно важно для сохранения исторического облика городов и районов
3.	позволяет повысить надежность, прочность и устойчивость конструкций, что может быть особенно важным в случае изменения нагрузок или функционального назначения объекта
4.	может быть более экологически ответственным подходом, поскольку это сокращает объем строительных отходов, связанных с полным сносом и новым строительством
5.	занимает меньше времени, чем строительство нового объекта, что позволяет быстрее достичь желаемого результата
<b>Недостатки</b>	
1.	сильные повреждения строительных конструкций приводят к неэффективности или невозможности их усиления
2.	может потребовать более продолжительных сроков реализации, особенно при использовании сложных технологий или при усилении больших площадей
3.	требует применения инженерных методов и технологий, а также опытных специалистов с высокой квалификацией

Таким образом, для выбора наилучшего способа реконструкции объекта, основными факторами, которые следует учитывать, являются капитальные вложения, физический и моральный износ объекта. Реконструкция объектов представляет собой перспективный подход, который позволяет улучшить условия эксплуатации под современные стандарты, не прибегая к полному сносу.

Однако, каждый проект реконструкции требует индивидуального подхода и учета различных факторов. Конечный выбор оптимального способа реконструкции должен базироваться на методологическом обеспечении и всестороннем анализе, для достижения наилучшего результата с точки зрения экономической эффективности и улучшения условий использования объекта.

#### **Список литературы:**

1. Григоренко К.А., Петренева О.В. Реконструкция домов первых массовых серий как способ увеличения полезной площади // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 1. – С. 47-55.
2. Бирюков А.Н., Денисов В.Н., Бирюков Ю.А. Снос зданий и сооружений в современных условиях (монография). – СПб., ВА МТО. - 2014. – 256 с.
3. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния (дата актуализации – 01.07.2023) – 95 с.
4. Баранов С.А., Курлапов Д.В., Лебедин А.П., Ключев А.А., Борисов А.А., Щемелинин А.И., Рузманов М.Д., Петров В.В., Бирюков Д.В., Добрышкин Е.О., Титеев И.С. Способ усиления железобетонной колонны после техногенных воздействий // Патент на изобретение Российской Федерации № RU 2754526 С1 (МПК E04G 23/02.: № 2020144333).
5. Бирюков А.Н., Добрышкин Е.О., Кравченко И.Н. Планирование восстановления объектов жилищного фонда на основе вариантного проектирования // Системные технологии. – 2019. – № 1(30). – С. 63-70.
6. Бирюков А.Н., Макаров Р.В. Анализ реконструкции инфраструктуры в северо-западном федеральном округе. Нормирование и оплата труда в строительстве. 2019. № 3. С. 10-13.
7. Бирюков Ю.А., Макаров Р.В. Оценка экономической эффективности при обосновании варианта и планирования реконструкции зданий (на примере Северо-Западного федерального округа) // Сметно-договорная работа в строительстве. 2020. № 12. С. 30-33.
8. Бирюков Ю.А., Титеев И.С. Влияния повреждений строительных конструкций на состояние зданий и сооружений // Коммунально-эксплуатационное обеспечение военной инфраструктуры: горизонты будущего: Сборник статей, Санкт-Петербург, 2023. – С. 190-197.
9. Бирюков Ю.А., Титеев И.С. Зарубежный опыт проведения реконструкции зданий и сооружений // Актуальные проблемы естественных и технических наук: Сборник статей межвузовской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 21 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 27-54.
10. Добрышкин Е.О., Титеев И.С., Курашев Н.В. Управление эксплуатационным содержанием объектов инфраструктуры на основе информационного моделирования и применения автоматизированных систем // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : Материалы VI

Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 19–21 апреля 2023 года – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 26-31.

11. Климанов С. Г. Особенности проектирования при реконструкции городов и населенных пунктов // Актуальные проблемы военно-научных исследований. – 2022. – № 2(21). – С. 195-202.

12. Король Е.А., Дрепалов И.Ф. Реконструкция зданий с использованием BIM-технологий // Системные технологии. 2021. № 4 (41). С. 47-51.

13. Шрейбер К. А., Шрейбер К. К. Организационно-технологическая подготовка мероприятий по обеспечению надежности зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 3. С. 42-46.

#### Bibliography:

1. Grigorenko K.A., Petreneva O.V. Rekonstrukciya domov pervyh massovyh serij kak sposob uvelicheniya poleznoj ploshchadi // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2016. – Т. 7, № 1. – С. 47-55.

2. Biryukov A.N., Denisov V.N., Biryukov YU.A. Snos zdaniy i sooruzhenij v sovremennyh usloviyah (monografiya). – SPb., VA MTO. - 2014. – 256 s.

3. GOST 31937-2011. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya (data aktualizacii – 01.07.2023) – 95 s.

4. Baranov S.A., Kurlapov D.V., Lebedkin A.P., Klyuchev A.A., Borisov A.A., SHCHemelinin A.I., Ruzmanov M.D., Petrov V.V., Biryukov D.V., Dobryshkin E.O., Titeev I.S. Sposob usileniya zhelezobetonnoj kolonny posle tekhnogennyh vozdeystvij // Patent na izobretenie Rossijskoj Federacii № RU 2754526 C1 (MPK E04G 23/02.: № 2020144333).

5. Biryukov A.N., Dobryshkin E.O., Kravchenko I.N. Planirovanie vosstanovleniya ob'ektov zhilishchnogo fonda na osnove variantnogo proektirovaniya // Sistemnye tekhnologii. – 2019. – № 1(30). – С. 63-70.

6. Biryukov A.N., Makarov R.V. Analiz rekonstrukcii infrastruktury v severo-zapadnom federal'nom okruge. Normirovanie i oplata truda v stroitel'stve. 2019. № 3. С. 10-13.

7. Biryukov YU.A., Makarov R.V. Ocenka ekonomicheskoy effektivnosti pri obosnovanii varianta i planirovaniya rekonstrukcii zdaniy (na primere Severo-Zapadnogo federal'nogo okruga) // Smetno-dogovornaya rabota v stroitel'stve. 2020. № 12. С. 30-33.

8. Biryukov YU.A., Titeev I.S. Vliyaniya povrezhdenij stroitel'nyh konstrukcij na sostoyanie zdaniy i sooruzhenij // Kommunal'no-ekspluatacionnoe obespechenie voennoj infrastruktury: gorizonty budushchego: Sbornik statej, Sankt-Peterburg, 2023. – С. 190-197.

9. Biryukov YU.A., Titeev I.S. Zarubezhnyj opyt provedeniya rekonstrukcii zdaniy i sooruzhenij // Aktual'nye problemy estestvennyh i tekhnicheskikh nauk: Sbornik statej mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Sankt-Peterburg, 21 aprelya 2023 goda. – Sankt-Peterburg, 2023. – С. 27-54.

10. Dobryshkin E.O., Titeev I.S., Kurashev N.V. Upravlenie ekspluatacionnym sodержaniem ob'ektov infrastruktury na osnove informacionnogo modelirovaniya i primeneniya avtomatizirovannyh sistem // BIM-modelirovanie v zadachah stroitel'stva i arhitektury : Materialy VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Sankt-Peterburg, 19–21 aprelya 2023 goda – Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, 2023. – S. 26-31.

11. Klimanov S. G. Osobennosti proektirovaniya pri rekonstrukcii gorodov i naseleennyh punktov // Aktual'nye problemy voenno-nauchnyh issledovanij. – 2022. – № 2(21). – S. 195-202.

12. Korol' E.A., Drepalov I.F. Rekonstrukciya zdaniy s ispol'zovaniem BIM-tehnologij // Sistemnye tekhnologii. 2021. № 4 (41). S. 47-51.

13. SHrejber K. A., SHrejber K. K. Organizacionno-tekhnologicheskaya podgotovka meropriyatij po obespecheniyu nadezhnosti zdaniy // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2020. № 3. S. 42-46.

**<sup>1</sup>А.Ю. Герасимов, <sup>2</sup>А.А. Лаврусевич**  
**МЕТОДОЛОГИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**  
**ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ**

<sup>1</sup>аспирант, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» НИУ МГСУ, г. Москва, alexandergerasimovmo@yandex.ru, г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>заведующий кафедрой Инженерных изысканий и геоэкологии (ИИиГЭ) НИУ МГСУ «Московский Государственный Строительный Университет», профессор, доктор геолого-минералогических наук, lavrusevich@yandex.ru, г. Москва, Российская Федерация

**Аннотация**

В рамках лабораторных исследований просадочных грунтов, на первой и второй ступенях давления грунты проявляют свойства свободного относительного набухания, что свидетельствует о большой поглощающей способности самих частиц грунтов и их структурными связями. В рамках малых нагрузок от сооружений у таких грунтов стоит рассматривать ступени давления, соответствующие нагрузке, передаваемой от сооружения и соответственно учитывать свободное относительное набухание, а не относительную просадочность грунтов.

**Ключевые слова**

Лабораторные исследования, компрессионные испытания, относительная просадочность, свободное набухание.

**Введение**

Объектом исследования являются современные просадочные грунты, слагающие основания недействующей рисовой оросительной системы совхоза Краснооктябрьского, где в рамках развития дорожной сети Краснодарского края происходит строительство автомобильной дороги А 289. Мелиоративная рисовая система была построена в 1970 годах.

На территории Краснодарского края широко развиты процессы просадочности и относятся к лессовидным грунтам, распространенным на равнинной части края. Наибольшие значения относительной просадочности характерны для лессов, покрывающих обширные плоские водоразделы, их склоны, поверхность высоких террас и пойм. Просадки разделяются на естественные, происходящие при естественном увлажнении, и техногенные, возникающие вследствие хозяйственной деятельности человека.

Стоит отметить, что при создании рисовой оросительной системы, аллювиальные суглинистые грунты основания уплотняли, что привело к серьезному нарушению, а местами и к полному отсутствию дренирования поверхностных вод и первого от поверхности четвертичного аллювиального водоносного горизонта в рисовых чеках и в основании каналов и образованию техногенных тел в условиях агромелиорации [1].

Участок исследования относится к аллювиальной гипотезе образования лёссовых пород по Н.И. Кригеру и относится к группе современных лессовидных отложений [2].

Характеристики просадочности следует определять по относительному сжатию, полученному по результатам испытаний образцов грунта ненарушенного сложения в компрессионных приборах без возможности бокового расширения образцов грунта. Испытания проводят на образцах грунта ненарушенной структуры с природной влажностью и с замачиванием их водой при давлении, последовательно увеличиваемом ступенями.

Испытания просадочных грунтов в компрессионных приборах проводились по схеме «двух кривых» – для определения относительной просадочности  $\varepsilon_{sl}$  при различных давлениях, начального просадочного давления  $p_{sl}$ .

Отбор образцов из скважин проводился при помощи тонкостенных грунтоносов диаметром 116 мм, обеспечивающих сохранение природного сложения и влажности грунта диаметром 108 мм.

В соответствии с требованиями ГОСТ 12071-2014, были отобраны образцы для лабораторных исследований.

Грунты отбирались в термоконтейнеры, для сохранения природных характеристик свойств грунтов. Далее образцы транспортировались в грунтовую лабораторию ООО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ» в г. Москва, где были помещены в кернохранилище. Лаборатория ООО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ» аккредитована в системе аккредитации испытательных лабораторий (центров) согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2019, № RU.МСС.АЛ.1037 от 05 июня 2020 года.

Испытания по схеме «двух кривых» проводилось на двух образцах грунта, отобранных из одного образца керна. Один образец испытывали по схеме «одной кривой», второй образец замочили до полного водонасыщения, начиная замачивание не менее чем за 6 ч — при испытаниях просадочных суглинков и глин. Затем проводили нагружение штампа на образец ступенями до заданного давления  $p_s$ , продолжая замачивание.

В случаях набухания образца грунта, замачиваемого до нагрузки (при испытаниях по схеме «двух кривых»), необходимо определять свободное относительное набухание  $e_{sw}$  по ГОСТ 12248.6-2020.

Стоит отметить, что способность к поглощению свободной воды образцами просадочных грунтов свойственна высокопористым грунтам и грунтам, обладающим значительными порами в массиве. Также произошло растворение кальцитовых оболочек, поверх которой размещается глинистая «рубашка», представленная глинистыми минералами, и уменьшилась вязкость аморфного геля  $SiO_2$ , вследствие этого нарушилось структурное строение пылеватой частицы просадочного грунта. На первой ступени нагрузки в водонасыщенном состоянии, глинистые минералы, таких групп как каолинит, смектит, гидрослюды (иллит) и хлорит начинают активно проявлять свойства изоморфизма и активно менять кристаллическую решетку образца грунта. Минералы смектитовой группы способны адсорбировать молекулы воды в межслойном пространстве и увеличивать расстояние структурного слоя. Гидратация внутренних базальных поверхностей приводит к снижению плотности глинистых минералов, увеличению объема адсорбированной ими воды, изменению физических свойств [2]. Также просадочные грунты обладают низкими значениями показателя плотности грунтов, что свидетельствует о активном протекании внутрикристаллического набухания, которое в совокупности с вышесказанным дает отрицательные значения просадочности на первой ступени нагрузки в компрессионном приборе. Чаще всего это присуще аллювиальным грунтам, либо техногенным переотложенным делювиальным, элювиальным и аллювиальным. На объекте исследования просадочные грунты представляют собой антропогенно измененные, переотложенные и уплотненные отложения аллювиально-лиманного генезиса с большим содержанием органических веществ до 1970 года.

### **Выводы**

Свободное набухание зачастую проявляется на первых ступенях нагрузки, что соизмеримо с нагрузкой от здания и сооружения, имеющих малозаглубленные фундаменты. Просадочные свойства грунтов чаще всего начинают проявляться на 4-5 ступенях в компрессионном приборе, что при проектировании и строительстве некоторых объектов не достигается и при слабом увлажнении и незначительной нагрузке процесс просадочности может не проявиться, а проявиться свободное относительное набухание.

С целью профилактических мероприятий по снижению негативного процесса набухания грунтов основания сооружения рекомендуется использовать незначительную песчаную подготовку до 10-20 см под фундаментом.

Существует неопределенность в вопросах выделения инженерно-геологических элементов в рамках камеральной обработки материалов инженерно-геологических изысканий, так как двумя подобными специфическими свойствами, такими как просадочность и набухаемость выделенный инженерно-геологический элемент не может обладать. Соответственно при выполнении инженерно-геологических изысканий

предоставляется неполная информация, так как для определенного класса сооружений могут быть важнее параметры свободного набухания при незначительных нагрузках от сооружений.

#### **Список литературы:**

1. Суздалева А.Л. Вторая геология – наука о техногенных телах литосферы: монография – М.: РадиоСофт, 2022. – 584 с.
2. Кригер Н.И. Лёсс, его свойства и связь с географической средой. М.: Наука, 1965. 295 с.
3. Осипов В.И., Соколов В.Н. Глины и их свойства. Состав, строение и формирование свойств — М.: ГЕОС. 2013. 576 с.

### **<sup>1</sup>С.С. Герасимова, <sup>2</sup>А.А. Лаврусевич МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПАСНЫХ КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ В РАМКАХ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ М-12 (7 ЭТАП)**

<sup>1</sup>аспирант, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» НИУ МГСУ, г. Москва, sofia.sergeevna779@gmail.com, г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>заведующий кафедрой Инженерных изысканий и геоэкологии (ИИиГЭ) НИУ МГСУ «Московский Государственный Строительный Университет», профессор, доктор геолого-минералогических наук, lavrusevich@yandex.ru, г. Москва, Российская Федерация

**Аннотация:** В пределах многих регионов Российской Федерации, ведется активное хозяйственное освоение закарстованных территорий, в том числе в Республике Татарстан.

Агрессивная урбанизация вызывает активизацию экзогенных процессов, что в ряде случаев ведет к развитию эндогенных процессов. Перманентное поддержание факторов, влияющих на усиление воздействия техногенной нагрузки, изменение режима грунтовых вод и их геохимического состава, участвующих в процессе карста.

Карст относится к опасным экзогенным процессам, требующим комплексного подхода в его изучении, что в свою очередь определяет подход к методологии его исследования, ввиду постоянного увеличения техногенной нагрузки на вновь осваиваемые территории.

Неоднократно при исследованиях закарстованных территорий возникает проблема эффективности проектных решений, обеспечивающих надежность зданий и сооружений, а также их экономичности.

В рамках строительства автомобильной дороги М-12 (7 этап) при возведении тела насыпи происходит нарушение естественного гидрогеологического режима, вследствие чего ускорится рост размеров существующих карстовых воронок, а также вырастет активность появления

новых карстовых форм, а сточные воды с автомобильной дороги повлияют на химический состав грунтовых вод.

**Ключевые слова:** Карстовые формы, оценка устойчивости, экономика объекта, карбонатный карст.

### **Введение**

Участок исследования расположен в Кайбицком и смежных районах Республики Татарстан. Кайбицкий район по результатам дешифрирования аэрофотоматериалов имеет серьезное поражение территории карстовыми и карстово-суффозионными процессами.

Грунтами, склонными к процессу карстования, являются верхнепермские карбонатные отложения, имеющие слоистое залегание в толще.

Карст представляет собой сложный многообразный процесс, развивающийся при наличии соответствующих условий под влиянием многих изменяющихся во времени и в пространстве внутренних и внешних факторов. Карстовые явления могут существовать и развиваться лишь при следующих основных условиях: наличии карстующихся горных пород, их способности пропускать воду, наличии движущейся воды, способной растворять. Это основные условия, выделенные Д.С. Соколовым в 1951, 1959 г., без которых невозможно карстообразование. При отсутствии одного из условий процесс карстообразования не будет развиваться [1]. В результате возникают поверхностные и подземные скульптурные, а при выпадении из раствора, обрушении – и аккумулятивные формы. Образование и разрушение подземных полостей может сопровождаться обвалами, провалами и даже местными землетрясениями [2].

Основными задачами карстологических исследований являются прогноз и разработка мероприятий, предотвращающих негативное воздействие карста на хозяйственную деятельность человека.

### **Результаты исследования и выводы**

Инженерная геология карста в вопросах нормативной оценки устойчивости территорий пошла по пути совершенствования методов стандартного прогнозирования провалообразования, снизив активность глубокого изучения геологических основ закономерностей развития закарстованного массива [7]. В соответствии с таблицей 5.1 и 5.2 СП 11-105-97 ч. II категория устойчивости территории в районе участка исследования составляет от V-Г до VI. Расстояние между карстовыми полями различно и составляет от нескольких метров до более 1 км. Соответственно оценка устойчивости по количеству провалов на 1км<sup>2</sup> территории (случаи/ км<sup>2</sup> год) уместна при мелкомасштабных исследованиях, где возможно введение среднеплощадной оценки провалообразования. При крупномасштабных исследованиях следует учитывать крайнюю неравномерность развития карста. Соответственно требуется комплексная оценка набора геоморфологических параметров, инженерно-геологическая изученность района проведения изыскания, учет факторов, влияющих на активизацию карстовых процессов и оценка категории устойчивости территории.



В больших инфраструктурных объектах строительства существует значительная трудность реализации их, так как денежные средства являются государственными и соответственно иногда практически невозможно обосновать необходимость производства тех или иных работ за пределами границ проектирования. Все вышесказанное с учетом периода эксплуатации дороги, а это более 50 лет может привести к необратимым последствиям и аварийным ситуациям.

В рамках строительства автомобильной дороги М-12 будет нарушен поверхностный сток, а также существенно изменен гидрогеологический режим. Все это приведет к активизации проявления поверхностных форм карста и непосредственной угрозе технической безопасности автомобильной дороги. В следствие чего необходимо оценивать опасные геологические процессы не только в границах производства работ, а также и за пределами.

Стоит отметить, что при строительстве объектов дорожной инфраструктуры геотехнический мониторинг закладывается достаточно редко и чаще всего на период строительства и до ввода объекта в эксплуатацию. В большинстве своем даже визуальный осмотр объектов, расположенных на территориях, серьезно пораженных процессами, уже позволит минимизировать риски аварийной технологической ситуации объекта, так в большинстве своем проявляются признаки активизации опасного геологического процесса.

Так как процесс карста в большинстве своем протекает совместно с процессом суффозии, то стоит добавить, что поверхностное водоотведение с при дорожной части зачастую работает не эффективно, так как множество борозд линейной эрозии на не укрытых откосах автодорожного полотна и сухие водоотводные лотки, приподнятые над спланированным рельефом, свидетельствуют об обратном.

Методология исследования карстовых процессов должна состоять из системы принципов и походов, на которые опирается исследователь в ходе получения данных о процессе. Рекомендуется ввести прогнозные оценки с учетом технических, геотехнических и эксплуатационных параметров с учетом опасности/пораженности территории в зависимости от границ развития процесса.

#### **Список литературы:**

1. Максимович Г.А. Основы карстоведения, том I. Типография Пермского университета, 1963 г., 444. – 444 с.
2. Максимович Г.А. Тектонические закономерности распределения карста на территории СССР. Общие вопросы карстоведения, изд. АН СССР, М., 1962 б, стр. 40–54.
3. Максимович Г.А., Голубева Л.В. Генетические типы карстовых воронок. Доклады АН СССР, т. 87, № 4, 1952, стр. 653–655.
5. Родионов Н.В. Инженерно-геологические исследования в карстовых районах. Госгеолтехиздат, М., 1958, стр. 64–74.
6. Соколов Д.С. Основные условия развития карста. М., 1959.

7. Катаев В.Н. Методология и практика сравнительно-оценочного карстологического районирования: Учебное пособие по спецкурсу / Перм. ун-т. - Пермь, 2001. - 85 с.

**Иванов Андрей Андреевич, Урханова Лариса Алексеевна, Лхасаранов Солбон Александрович, Культиков Сергей Сергеевич**  
**ВЛИЯНИЕ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО БЕТОНА**  
*Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, кафедра «Строительные материалы, автомобильные дороги и деревообработка», г. Улан-Удэ, ул. Ключевская 40В, 670013*

**Аннотация:** В статье приведены результаты исследования возможности применения стекловидного и закристаллизованного перлита для получения композиционных вяжущих гидротехнического бетона. Рассмотрена кинетика твердения цементных растворов с применением стекловидного и закристаллизованного перлита с различной степенью дисперсности и суперпластификаторов Sika Viscocrete и С-3.

Целью работы является применение модифицированных вяжущих на основе тонкодисперсных добавок и ПАВ для решения вопросов трещиностойкости гидротехнического бетона.

**Ключевые слова:** добавки, гидротехнический бетон, перлит, тепловыделение, гидратация, трещиностойкость.

*Статья подготовлена в рамках гранта «Молодые ученые ВСГУТУ-2023».*

### **Введение**

Одна из ключевых проблем при строительстве гидротехнических сооружений - это появление температурных трещин. Для решения этой проблемы, особые требования предъявляются к вяжущим веществам. Вяжущие вещества должны обеспечивать умеренное тепловыделение при гидратации. Проблема борьбы с температурным трещинообразованием существовала с момента начала строительства гидротехнических сооружений, и до сих пор не была полностью решена [1].

Один из методов борьбы с трещинообразованием в гидротехническом бетоне заключается в снижении использования цемента и замене его тонкодисперсными добавками. Применение таких добавок позволяет обеспечить более оптимальный гранулометрический состав цементного вяжущего, путем увеличения доли частиц с размерами от 0,01 до 5,0 мкм, которые в обычном портландцементе составляет не более 30–35 %. Также, тонкодисперсные частицы обеспечивают более плотную упаковку цемента, повышая связность цементного теста, ускоряет твердение и повышает прочность цементного камня [2].

## Материалы и методы исследования

В работе использовался портландцемент ЦЕМ I 32,5 Н ООО "Тимлюйцемент", тонкодисперсные добавки на основе стекловидного и закристаллизованного перлита Мухор-Талинского месторождения с различной удельной поверхностью - 400 и 800 м<sup>2</sup>/кг. В зависимости от составов применялись суперпластификаторы на основе сульфированных нафталиноформальдегидных соединений (С-3) и на основе модифицированных поликарбоксилатов (Sika Viscocrete).

Химический состав стекловидного и закристаллизованного перлита приведены в таблице 1.

Таблица 1-Химический состав стекловидного и закристаллизованного перлита, масс. %

Материал	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub>	Fe	CaO	Mg	TiO	SO	K <sub>2</sub> O	Na	R <sub>2</sub>	п.п.
Перлит стекловидный	68,4	13,7	0,50	0,0	0,50	0,30	0,15	0,1	3,91	3,3	-	5,97
Перлит закристалли- зованный	73,1	11,7	1,08	1,7	0,55	0,30	-	-	-	-	6,4	7,65

После определения типа тонкодисперсной добавки, ключевым фактором становится выбор степени ее дисперсности, поскольку это существенно влияет на формирование физико-механических характеристик гидратного камня.

Увеличение степени дисперсности добавок способствует улучшению физико-механических характеристик композиционного вяжущего. Это обусловлено формированием структурного каркаса из частиц добавки, которые взаимодействуют друг с другом через макромолекулы, адсорбированные на их поверхности.

Для определения физико-механических свойств модифицированных цементных композитов были изготовлены образцы размером 20x20x20 мм.

### Результаты исследований и их обсуждение

Результаты исследования по влиянию вида и количества тонкодисперсных добавок с различной удельной поверхностью и ПАВ на прочностные характеристики цементного камня представлены на рисунках 1-4.

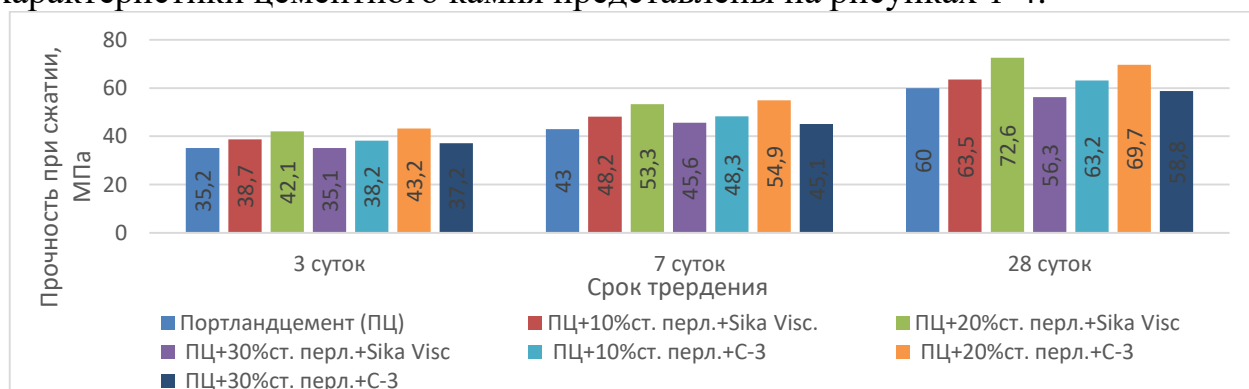


Рисунок 1 - Влияние дисперсного стекловидного перлита, удельной поверхностью 400 м<sup>2</sup>/кг, на прочностные характеристики цементного камня

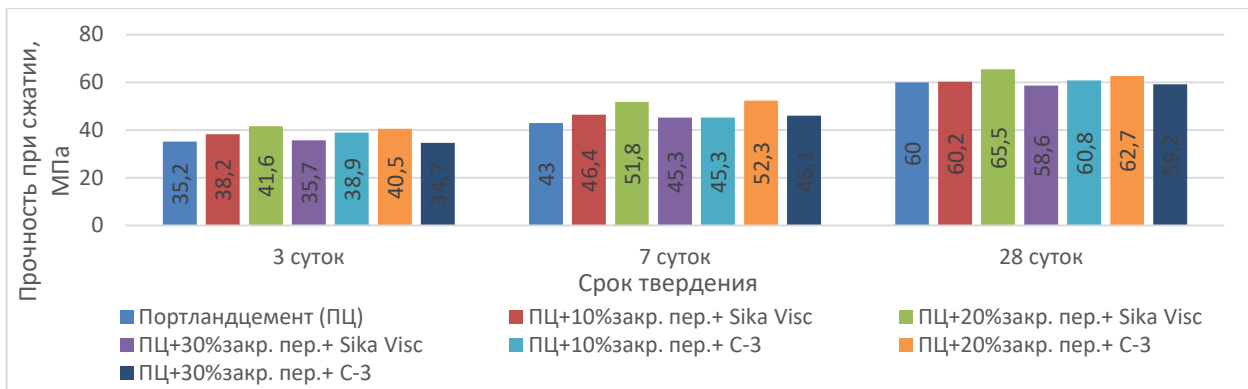


Рисунок 2 - Влияние дисперсного закристаллизованного перлита, удельной поверхностью 400 м<sup>2</sup>/кг, на прочностные характеристики цементного камня

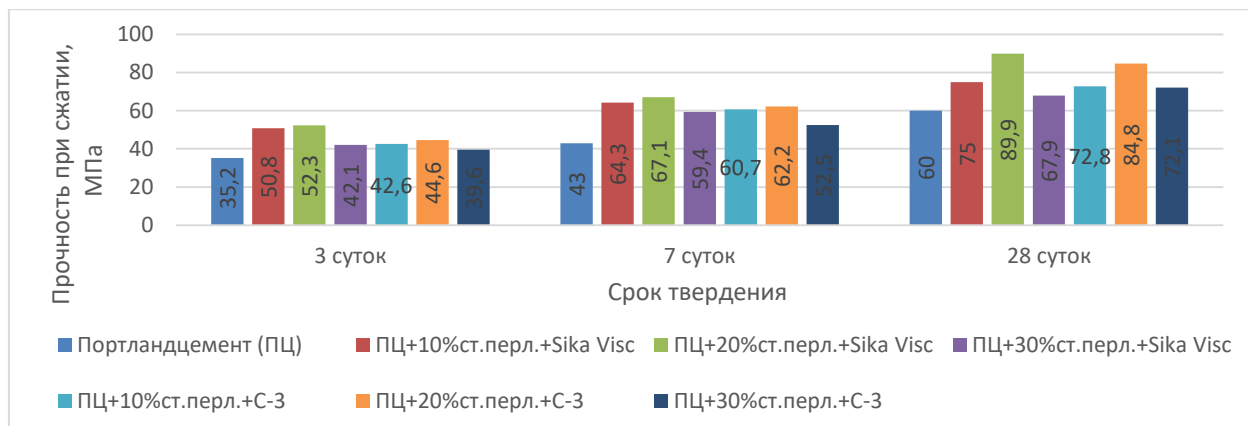


Рисунок 3 - Влияние дисперсного стекловидного перлита, удельной поверхностью 800 м<sup>2</sup>/кг, на прочностные характеристики цементного камня

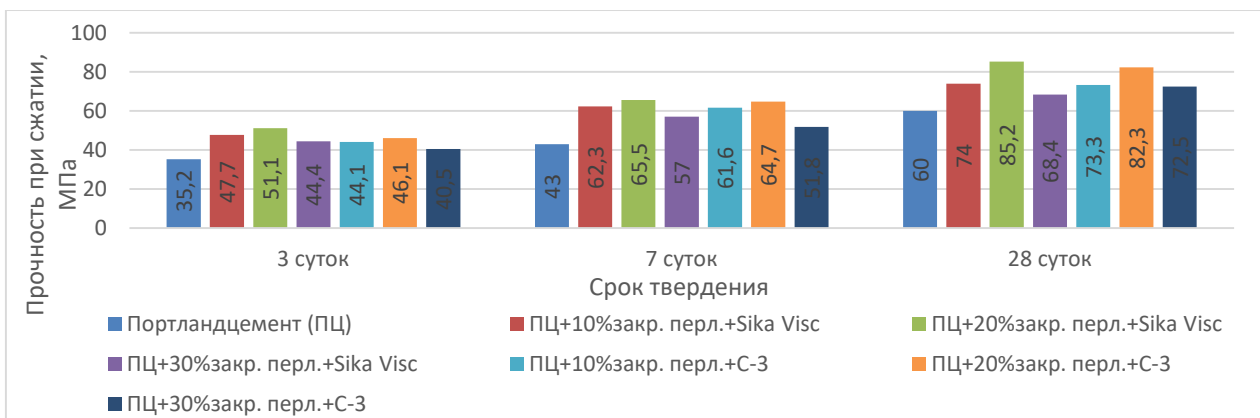


Рисунок 4 - Влияние дисперсного закристаллизованного перлита, удельной поверхностью 800 м<sup>2</sup>/кг, на прочностные характеристики цементного камня

По результатам эксперимента можно сделать выводы, что составы с дисперсным стекловидным и закристаллизованным перлитом, удельной поверхностью 800 м<sup>2</sup>/кг в количестве 20 % и суперпластификатором Sika Viscocrete показали самые высокие значения по прочности на сжатие по сравнению с контрольными образцами – 89,9 и 85,2 МПа, что больше значений

по прочности на сжатии контрольных образцов на 50 и 42% соответственно. Также высокий результат показал состав с дисперсным стекловидным перлитом, удельной поверхностью 800 м<sup>2</sup>/кг в количестве 20 % и суперпластификатором С-3. Значения прочности на сжатие цементного камня составили 84,8 МПа, что больше значения прочности на сжатие контрольного образца на 41%.

Перлит оказывает воздействие на структуру и химический состав цементного камня, что приводит к повышению предела прочности при сжатии. Этот процесс связан с химическим фактором, который изменяет баланс между гидратными фазами в составе цементного камня. В результате происходит увеличение объема более прочных и устойчивых низкоосновных гидросиликатов кальция (ГСК) и образование плотных структур конгломератов [3]. Присутствие значительного объема аморфной фазы кремнезема в стекловидном перлите способствует повышению прочности при сжатии за счет того, что механически неустойчивая фаза гидроокиси кальция замещается более прочной гидросиликатной фазой.

Для повышения трещиностойкости гидротехнического бетона одновременно с прочностью на сжатие интерес представляет исследование процессов тепловыделения при гидратации композиционных вяжущих с суперпластификаторами по сравнению с портландцементом (рис. 5).

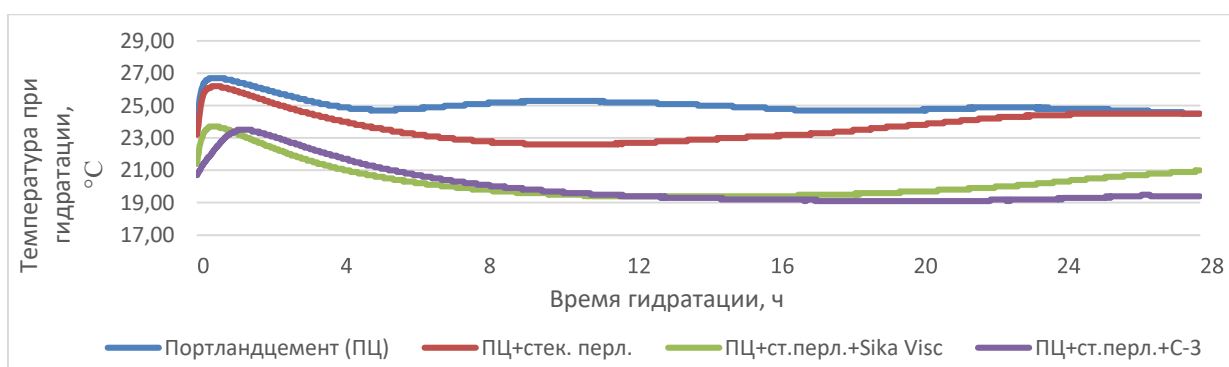


Рисунок 5 - Исследование температуры при гидратации вяжущих

По результатам эксперимента видно, что средняя температура при гидратации составов: ПЦ, ПЦ + Стекловидный перлит, ПЦ + Стекловидный перлит + Sika Viscocrete, ПЦ + Стекловидный перлит + С-3 в первые сутки составляет 25,7; 24,4; 20,1; 20,5 °С, соответственно. Средняя температура при гидратации во вторые сутки составляет: 24,8; 23,3; 19,5; 19,0 °С.

Температура при гидратации составов со стекловидным перлитом и суперпластификаторами снизилась по отношению к контрольному составу ПЦ: в первые сутки – на 5,6 и 5,2 °С, во вторые сутки – на 5,3 и 5,8 °С.

Снижение температуры при гидратации составов с использованием перлита и суперпластификаторов обусловлено образованием адсорбционной пленки на зернах цемента и гидратных новообразованиях. Это явление замедляет начальную гидратацию, увеличивает индукционный период гидратации и в результате приводит к снижению температуры при гидратации вяжущих веществ [4].

## Выводы

Результаты экспериментов показали, что составы вяжущих с применением стекловидного и закристаллизованного перлита и суперпластификаторов позволяют получить композит с требуемыми показателями по прочности на сжатие, при этом с пониженными значениями тепловыделения при гидратации цемента по сравнению с традиционными составами, что, на наш взгляд, скажется на термической трещиностойкости бетона для массивных гидротехнических сооружений.

Установлено, что применение стекловидного и закристаллизованного перлита, удельной поверхностью  $800 \text{ м}^2/\text{кг}$  в количестве 20% и суперпластификатором - Sika Viscocrete показали прочность на сжатие на 50 и 42% выше, чем прочностные характеристики контрольных образцов, при этом с пониженным тепловыделением при гидратации цемента по сравнению с традиционными составами на 5,6 и 5,2 °С – в первые сутки; на 5,3 и 5,8 °С – во вторые сутки.

### Список литературы:

1. Сайгашова Е.Е. Особенности бетонов для строительства гидротехнических сооружений // Вестник ХГУ им. Н. Ф. Катанова, 2017. - №20. – С.41-43.
2. Баженова О.Ю., Баженова С.И., Баженов М.И. Исследование некоторых свойств цементов с тонкодисперсной добавкой // Молодой ученый, 2013. - № 10. - С. 96-97.
3. Жерновой Федор Евгеньевич, Мирошников Евгений Владимирович Комплексная оценка факторов повышения прочности цементного камня добавками ультрадисперсного перлита // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова, 2009. - №2. С. 55-60.
4. Анискин Николай Алексеевич, Чонг Чык Нгуен. Проблема температурного трещинообразования в бетонных гравитационных плотинах // Вестник МГСУ, 2020. -№3. – С. 380-398.

### Bibliography

1. Saygashova Ekaterina Egorovna Features of concrete for the construction of hydraulic structures // Bulletin of the N. F. Katanov KSU, 2017. - No. 20. – pp. 41-43.
2. Bazhenova O.Y., Bazhenova S.I., Bazhenov M.I. Investigation of some properties of cements with a fine additive // Young scientist, 2013. - No. 10. - pp. 96-97.
3. Zhernovoy Fedor Evgenievich, Miroshnikov Evgeny Vladimirovich Comprehensive assessment of factors for increasing the strength of cement stone with additives of ultrafine perlite // Bulletin of V. G. Shukhov BSTU, 2009. - No.2. pp. 55-60.
4. Aniskin Nikolay Alekseevich, Chong Chik Nguyen. The problem of temperature cracking in concrete gravity dams // Bulletin of MGSU, 2020. - No. 3. – pp. 380-398.

**Савранский Илья Дмитриевич**

## **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ В ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

*Дальневосточный федеральный университет*

*Департамент информационных и компьютерных систем*

*Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, 690922*

*Научный руководитель: д.т.н., доц., советник РААСН Федюк Роман Сергеевич*

**Аннотация:** Данная статья исследует применение нейросетей в организации строительства. Нейросети являются мощным инструментом для решения различных задач в строительной отрасли, включая прогнозирование расходов, планирование и управление ресурсами, улучшение процессов строительства и обеспечение безопасности на строительных площадках. В данной статье рассматриваются примеры применения нейросетей и их недостатки.

**Ключевые слова:** Нейросети, Строительство, Прогнозирование, Планирование, Безопасность

### **Введение**

В настоящее время строительная отрасль сталкивается с различными вызовами, связанными с увеличением сложности проектов, ограниченными ресурсами и повышенными требованиями к безопасности. В этом контексте применение нейросетей может значительно улучшить эффективность и результативность процессов строительства. Нейросети способны анализировать большие объемы данных, выявлять скрытые закономерности и предсказывать будущие события. В данной статье мы рассмотрим способы применения нейросетей в организации строительства, а также проанализируем их и недостатки.

### **1. Способы использования нейросетей в организации строительства.**

#### **Прогнозирование расходов**

Нейросети могут быть использованы для прогнозирования расходов на строительные проекты. Они способны анализировать исторические данные о расходах на материалы, трудовые затраты, оборудование и другие факторы, чтобы предсказать будущие затраты на конкретный проект. Это помогает строительным компаниям более точно планировать свои бюджеты и избежать финансовых неудач.

#### **Планирование и управление ресурсами**

Нейросети могут быть применены для оптимизации планирования и управления ресурсами на строительных площадках. Они могут анализировать данные о доступных ресурсах, включая материалы, оборудование и рабочую силу, и оптимизировать распределение этих ресурсов для достижения максимальной эффективности. Нейросети также способны предсказывать возможные проблемы и более эффективно планировать действия для их предотвращения.

### **Улучшение процессов строительства**

Нейросети могут быть использованы для улучшения различных процессов в строительной отрасли. Например, они могут помочь в улучшении планирования транспортировки материалов и оптимизации расписания работ путем анализа данных о прогрессе работ, доступности ресурсов и ограничениях проекта. Нейронные сети могут предложить оптимальные варианты расписания, учитывая различные факторы, такие как сроки, зависимости между задачами и доступность ресурсов. Это способствует повышению производительности и сокращению времени, необходимого для завершения проекта.

### **Обеспечение безопасности на строительных площадках**

Нейросети могут играть важную роль в обеспечении безопасности на строительных площадках. Они могут анализировать данные с мониторинговых камер, датчиков и других источников, чтобы обнаруживать потенциально опасные ситуации, такие как падение предметов, нарушение правил безопасности или неправильное использование оборудования. На основе этих данных нейросети могут предпринять соответствующие меры, например, отправить предупреждение или автоматически отключить опасное оборудование.

### **Управление рисками**

Управление рисками является неотъемлемой частью строительной деятельности. Нейронные сети могут быть использованы для анализа и прогнозирования рисков, связанных с проектом. Они могут анализировать исторические данные о рисках, такие как несчастные случаи, проблемы с поставками и задержки, и предсказывать вероятность их возникновения в будущем. Это помогает предпринять соответствующие меры по снижению рисков и повышению безопасности на строительных площадках.

## **2. Недостатки использования нейросетей.**

### **Необходимость большого объема данных**

Нейросети требуют большого объема данных для обучения и достижения высокой точности предсказаний. В строительстве может быть ограничен доступ к достаточному количеству разнообразных и качественных данных, особенно в случае новых проектов или использования нестандартных методов. Получение достаточного количества данных может быть сложной задачей и потребовать длительного времени.

### **Сложность обучения и настройки**

Обучение нейросетей требует экспертных знаний и временных ресурсов. Необходимо провести подготовительную работу по сбору и подготовке данных, выбору архитектуры нейросети и оптимизации ее параметров. Неправильная настройка нейросети может привести к недостаточной точности или неправильным предсказаниям, что затрудняет их применение на практике.

### **Интерпретируемость результатов**

Нейросети часто являются "черными ящиками", то есть их внутренние механизмы и решения не всегда являются понятными или легко интерпретируемыми. Это может создавать проблемы для инженеров и



менеджеров, которым требуется объяснить принятые решения или основать свои действия на них. В таких случаях требуется дополнительное усилие для анализа и объяснения результатов, что может быть сложным и трудоемким.

### **Высокие затраты**

Разработка и реализация нейросетей могут быть связаны с высокими затратами. Включает в себя стоимость оборудования, компьютерных ресурсов, обучения и подготовки специалистов. Малые или средние организации в строительной отрасли могут столкнуться с ограниченными финансовыми возможностями для внедрения и использования нейросетей.

### **Заключение**

Несмотря на некоторые недостатки, применение нейросетей в организации строительства имеет большой потенциал для повышения эффективности и результативности проектов. Важно учитывать эти недостатки и разрабатывать стратегии и методы, которые позволят максимально использовать преимущества нейросетей и преодолеть ограничения и сложности их применения. Дальнейшие исследования и развитие технологий нейросетей в строительстве могут привести к еще более эффективному и инновационному использованию данного инструмента в будущем.

### **Список литературы:**

1. Saygashova Ekaterina Egorovna Features of concrete for the construction of hydraulic structures // Bulletin of the N. F. Katanov KSU, 2017. - No. 20. – pp. 41-
2. Bazhenova O.Y., Bazhenova S.I., Bazhenov M.I. Investigation of some properties of cements with a fine additive // Young scientist, 2013. - No. 10. - pp. 96-97
3. Zhernovoy Fedor Evgenievich, Miroshnikov Evgeny Vladimirovich Comprehensive assessment of factors for increasing the strength of cement stone with additives of ultrafine perlite // Bulletin of V. G. Shukhov BSTU, 2009. - No.2. pp. 55-60.
4. Aniskin Nikolay Alekseevich, Chong Chik Nguyen. The problem of temperature cracking in concrete gravity dams // Bulletin of MGSU, 2020. - No. 3. – pp. 380-398.

**Мамедов Эльнур Эльхан Оглы, Горохов Сергей Иванович, Ковалев**

**Никита Святославович**

**КЛИНКЕРНАЯ ФАСАДНАЯ ОБЛИЦОВОЧНАЯ ПЛИТКА**

*Тамбовский государственный технический университет; кафедра  
«Конструкции зданий и сооружений», 392000 г. Тамбов, ул. Советская, д.106*

**Аннотация:** В данном исследовании представлен анализ фасадных облицовочных клинкерных плит. Представлена технология производства изготовления клинкерных плиток, а также даны основные сведения о добыче и обработке основного компонента – сланцевой глины. Изложены основные этапы технологического процесса производства плитки. Приведены основные теплофизические характеристики, а также геометрические размеры выпускаемой продукции.

**Ключевые слова:** клинкер, облицовка, сланцевая глина, технология экструзии, фасадная плитка.

В настоящее время в качестве фасадных облицовочных материалов применяют различные виды строительных материалов: различные виды штукатурок, стекол, фиброцементные, алюминиевые и другие виды панелей, керамогранит, декоративно-защитные плиты и клинкерную плитку [1...5].

Клинкер – надежный и прочный продукт, созданный из натуральных глиняных компонентов, подвергаемых высокотемпературному обжигу. Он необычайно устойчив к погодным условиям, истиранию, практически не поглощает влагу, эстетически привлекателен.

Технология изготовления клинкерной плитки (рисунок 1) имеет вековые традиции и не претерпела практически никаких изменений. Развитие клинкерного производства было вызвано истощением запасов натурального камня в Центральной Европе и, при растущих объемах строительства индустриального XIX века, назревшей необходимостью налаживания производства кирпича в непосредственной близости от потребителя – перевозка при тогдашнем несовершенстве транспортных средств была весьма дорога [6].

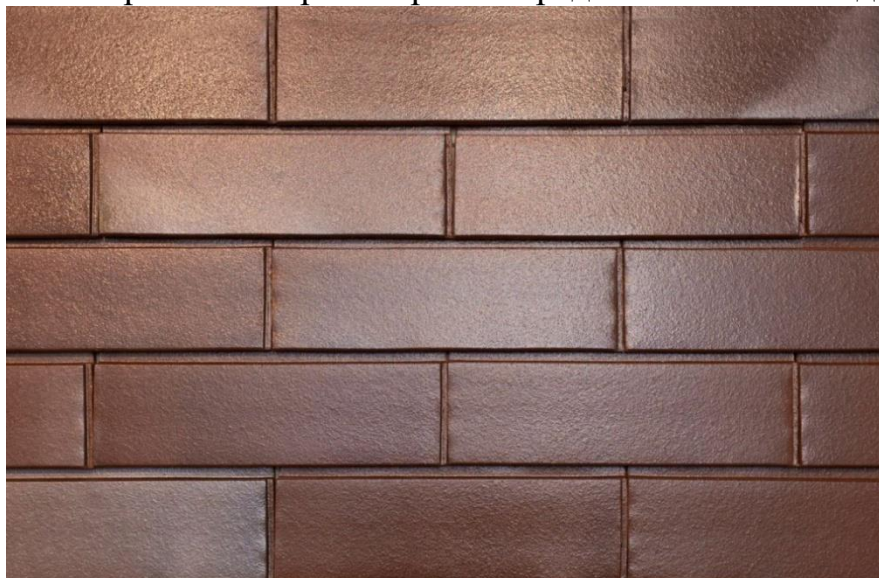


Рисунок 1 – Внешний вид клинкерной плитки

Базовый компонент клинкера – специально подобранная и тщательно очищенная от солей, известняка, других инородных включений сланцевая глина. Специальные природные добавки — шамот, флюс, мелкодисперсный промотор — компонентный и процентный состав в большинстве случаев является технологическим секретом ведущих производителей.

Современное массовое производство клинкерной плитки базируется на технологии экструзии – продавливании вязкого глиняного состава через формующие дюзы. После замешивания и формовки, плитки отправляются на обжиг, который производится ступенчато, с постепенным повышением температуры до 1300 градусов. Процесс обжига длится несколько дней, в результате чего все составляющие (легкоплавкие и тугоплавкие) спекаются в единую, практически монолитную структуру, что обуславливает высочайшие

механические характеристики клинкерной плитки. Интересен тот факт, что даже придание клинкерной плитке нужного оттенка не сопряжено с использованием химических составляющих. Сам по себе клинкер получается, как правило, благородного красного или желтоватого цвета. Требуемый оттенок достигается введением в состав глины минеральных веществ, которые при термообработке создадут нужный эффект.

Особый компонентный состав и выверенная, тщательно соблюдаемая технология формовки и обжига клинкерной плитки дают на выходе изделия, отличающаяся высокими характеристиками. Так клинкер противостоит практически всем нагрузкам – ударным и на изгиб, на сжатие и на истирание. Согласно принятой классификации даже самая дешевая клинкерная облицовочная фасадная плитка имеет показатели не ниже М400. Некоторые клинкерные изделия достигают марку в М800. Для сравнения – даже самый качественный силикатный кирпич с трудом дотягивает до М250. Однако стоит отметить, что материал является хрупким.

Проведенные тестовые испытания показали, что клинкерная плитка для улицы выносит более 150 циклов глубокой заморозки и оттаивания (F150). На практике этот показатель еще выше – тому примером служат старые постройки без всяких видимых дефектов фасада. Во многом способность успешно противостоять температурным перепадам обусловлена низким показателем влагопоглощения. У клинкера этот показатель не превышает 2...3 %.

Ведущие производители гарантируют, что выпущенные ими изделия соответствуют по паропроницанию требованиям европейских стандартов — количество и размер пор материала позволяет стенам «дышать». Теплопроводность клинкера составляет 0,95...1,2 Вт/(м·К). Впрочем, этот показатель на практике мало значим, так как подобную плитку используют не в качестве термоизолятора, а как защитное и декоративное покрытие фасада. Плотность клинкера составляет 1,9...2 кг/дм<sup>3</sup> – отсюда и значительный вес изделий.

Клинкерную плитку выпускают толщиной от 7 до 25 мм, в зависимости от области применения — для фасада из клинкерной плитки, как правило, используется материал до 17 мм толщиной. Размер по высоте и длине тоже варьируется. Большинство моделей выполняется в «старонемецком» стандарте – 240×71 мм. Однако можно встретить привычный нам размер «кирпича» — 250×120, или «американский» 193×57 или в удлиненном формате 295×57 мм.

Специальная технология обеспечивает сохранение цветовой гаммы практически на весь период эксплуатации материала – клинкер не подвержен выцветанию даже под воздействием прямых ультрафиолетовых лучей [7]. Изделия экструзионной формовки обычно идут с однородной поверхностью. А вот плитка ручной формовки порой поражает своими фактурами. Дизайнеры ведущих производителей постоянно работают над увеличением ассортимента ряда, и применяют новые технологии, позволяющие придавать поверхности фасада различный облик. Используется искусственное старение, глазурирование, воздействие направленным сжатым воздухом, включение

специальных твердых элементов или даже несгоревших каменных угольков, которые в процессе термообработки клинкера дают особенный цвет и внешнюю структуру плитки.

Стоимость клинкерной плитки – варьируется в очень широком диапазоне. Есть возможность приобрести и недорогие изделия. Однако плитка ведущих мировых брендов достаточно дорога, но и гарантии качества здесь существенно выше.

В отличие от монтажа панелей, технология укладка плитки требует благоприятных погодных условий. Оптимальная температура поверхности фасада и воздуха – от плюс 10 до плюс 25 градусов. Так слишком низкая температура снизит качество адгезии клеевого состава, слишком высокая – приведет к чрезмерно быстрому схватыванию клея. Также существенно изменить физические качества нанесенной клеевой смеси могут слишком низкая (ниже 60 %) влажность, сильный ветер или прямые солнечные лучи. Так что к выбору оптимального периода для облицовки нужно отнестись с предельным вниманием. Также требуется грамотная подборка клея.

#### **Список литературы:**

1. Ерофеев, А. В. Влияние атмосферных воздействий на эксплуатационные свойства декоративной плитки / А. В. Ерофеев, В. П. Ярцев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19, № 1. – С. 181-185. – EDN PУKKVJ.
2. Ерофеев, А. В. Декоративно-защитные плитки для фасадной отделки зданий / А. В. Ерофеев, В. П. Ярцев, П. В. Монастырев // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 1(367). – С. 101-104.
3. Исследование эксплуатационных свойств древесно-гипсового композита оптимального состава / Н. С. Ковалев, Т. И. Горохов, А. В. Ерофеев, С. И. Горохов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2022. – № 6(275). – С. 67-72.
4. Ярцев, В. П. Исследование работы декоративных плит в реальных условиях эксплуатации / В. П. Ярцев, А. В. Ерофеев // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – № 1. – С. 24-27.
5. Stanko, S. Использование искусственного камня для отделки зданий агропромышленного комплекса / S. Stanko, А. В. Ерофеев, В. А. Михайлов // Цифровизация агропромышленного комплекса : Сборник научных статей II международной научно-практической конференции в 2-х томах, Тамбов, 21–23 октября 2020 года. Том II. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2020. – С. 125-128.
6. Горохов, Т. И. Микроструктура древесно-гипсового композита / Т. И. Горохов, А. В. Ерофеев, С. И. Горохов // Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2023. – № 1. – С. 210-212.

7. Ерофеев, А. В. Развитие методов прогнозирования долговечности строительных материалов / А. В. Ерофеев // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт : Материалы IX-ой Международной научно-практической конференции, посвящённой памяти академика РААСН Чернышова Е.М., Тамбов, 21–22 сентября 2022 года. – Тамбов: Издательство ИП Чеснокова А.В., 2022. – С. 155-163.

УДК 691.335

<sup>1</sup>Козлов Павел Геннадьевич, <sup>2</sup>Белых Светлана Андреевна, <sup>2</sup>Шляхтина Тамара Федоровна, <sup>1</sup>Примчук Анатолий Григорьевич, <sup>1</sup>Ильинский Юрий Юрьевич, <sup>3</sup>Бакатов Константин Александрович  
**АЛЮМОСИЛИКАТНОЕ ВЯЖУЩЕЕ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА  
ЭНЕРГОПРЕДПРИЯТИЙ**

<sup>1</sup>Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

<sup>2</sup>Братский государственный университет, г. Братск

<sup>3</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.

Шухова, г. Белгород

**Аннотация.** Отходы топливно-энергетического комплекса могут быть использованы в различных направлениях, в том числе при производстве строительных материалов, минеральных добавок при производстве цемента, заполнителей при производстве бетона, керамических изделий и теплоизоляционных материалов. Использование золошлаковых отходов в производстве позволяет не только сократить объем золоотвалов, но и избежать их дальнейшего складирования.

**Ключевые слова:** алюмосиликатное вяжущее, геополимеры, золошлаковые отходы, строительные материалы, сорбенты, цеолиты

Мировой и отечественный опыт показывает, что зола-уноса от сжигания угля является ценным сырьем для применения в строительном комплексе, но в России объем утилизации мал, по причине нестабильности свойств золошлаковых материалов [1]. Зола-унос ТЭС считается перспективным материалом для производства геополимеров, имеющих, в отличие от цеолитов, плотную поликристаллическую структуру (рисунок 1).

Геополимерные вяжущие с улучшенными эксплуатационными свойствами могут быть получены путем активации отходов водным гидроксидом натрия или синтезом многокомпонентных композиций в присутствии суперпластификаторов.



а) цеолит



б) геополимер

Рисунок 1. Материалы, получаемые из золы-уноса ТЭС

Физико-механические свойства геополимеров, активированных гидроксидом натрия и жидким стеклом, зависят от концентрации щелочного раствора, температуры и времени отверждения. Геополимеры на основе зольных отходов, меткаолина и заполнителей могут быть использованы в качестве легких неорганических строительных материалов при производстве бетона и керамического кирпича. Геополимерные растворы, приготовленные на основе золы-уноса с кварцевым песком, пригодны для получения бетонов с повышенной прочностью и улучшенными эксплуатационными характеристиками. Для синтеза геополимеров, помимо золы-уноса, могут использоваться золошлаковые отходы. Прочность на сжатие полученного геополимерного композита превышает 32 МПа [2].

В настоящее время в промышленности строительных материалов получило развитие и широкое распространение производство вяжущих материалов на основе композиций из различных минеральных компонентов. Весьма перспективным сырьем в этом отношении считаются природные и техногенные алюмосиликаты. Сапонитсодержащие отходы (ССО), получаемые в процессе обогащения кимберлитовой руды при промышленной добыче алмазов (рисунок 2), не являются исключением из числа активных добавок, позволяющих снизить расход портландцемента на единицу продукции без ухудшения его вяжущих свойств. [3].



Рисунок 2. Карьерная добыча алмазов

Настоящая революция в строительной отрасли произошла благодаря разработке альтернативных вяжущих веществ, таких как геополимеры, которые могут заменить традиционный цемент. Один из главных факторов, который делает геополимеры привлекательными, заключается в их способности решить проблему выбросов углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) при производстве цемента. Геополимерные материалы образуются в результате реакций геополимеризации алюмосиликатных соединений (рисунок 3) в щелочной среде.



Рисунок 3. Алюмосиликатное вяжущее, полученное из ЗШО ТЭС

Процесс получения геополимеров состоит из трех стадий, как описано Давидовицем [4]: первая стадия включает растворение оксидов кремния и алюминия в щелочной среде, используя концентрированный раствор  $\text{NaOH}$  или  $\text{KOH}$ ; вторая стадия связана с расщеплением естественных полимерных структур на мономеры; третья стадия связана с схватыванием и уплотнением, когда мономеры превращаются в полимерные материалы.

Для подтверждения возможности использования отходов в качестве сырья для производства активируемых щелочью вяжущих материалов, был проведен эксперимент. Отходы были высушены при  $100\text{ }^\circ\text{C}$  до постоянной массы, а затем измельчены до получения различной удельной поверхности. Затем отходы и щелочной компонент были смешаны в лабораторном смесителе в течение 5 минут. Образцы были формованы размером  $20 \times 20 \times 20$  мм. Отверждение происходило в влажной камере в течение 2 часов, а затем происходила сушка при  $80\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 5 часов с последующим охлаждением в закрытой камере в течение 16 часов. Контролируемыми свойствами рассматривались фазовые превращения при отверждении, прочность и водостойкость.

Основной химический состав вяжущего материала представлен оксидами  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Дифференциальный термический анализ подтвердил наличие гидроалюмосиликатных соединений натрия и кальция в синтезированной системе соединений.

Применение геополимеров в строительстве [5] имеет ряд преимуществ:

- они могут значительно снизить выбросы  $\text{CO}_2$ , что способствует более экологическому строительству;

- геополимеры обладают высокой прочностью и долговечностью;
- имеется возможность полной и эффективной переработки золошлаковых отходов электростанций;
- достигается высокая эффективность переработки золошлаков с точки зрения извлечения ценных компонентов.

### Список литературы

1. Белых С.А., Буянова Э.Э., Черниговская М.Н. Изучение влияния состава бурых углей на фазовый состав гидратированного цементного камня с золой-уноса // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки - развитию регионов Сибири. 2011. Т. 2. С. 185-193.
2. Худякова Л.И., Залуцкий А.В., Палеев П.Л. Использование золошлаковых отходов тепловых электростанций // XXI век. Техносферная безопасность. 2019. Т. 4. № 3 (15). С. 375-391.
3. Фролова М.А., Морозова М.В, Айзенштадт А.М., Тутьгин А.С. Алюмосиликатное вяжущее на основе сапонитсодержащих отходов алмазодобывающей промышленности // Строительные материалы. 2017. № 7. С. 68–70.
4. Davidovits J. Geopolymers: Inorganic polymeric new materials // Journal of Materials Education, 1994. Vol. 16 (2,3), pp. 91-138
5. Таскин А.В., Слесаренко В.В. Технологические аспекты утилизации золошлаковых отходов тепловых электростанций // Евразийское Научное Объединение. 2015. Т. 1. № 2 (2). С. 60-62.

УДК 327

**Хромов Иван Владимирович**

**США-КНР СТАНОВЛЕНИЕ НОВОЙ БИПОЛЯРНОСТИ?**

*Дальневосточный федеральный университет, Магистратура, кафедра международных отношений, khromov.iv@students.dvfu.ru*

**Аннотация:** Вопрос формы и устройства миропорядка в 21 веке крайне актуален, занимая умы ведущих учёных, аналитиков и мозговых центров. Бесчисленное множество раз нам за последнее время приходилось слышать о «многополярном мире», но это могло быть лишь прикрытием для реального положения дел при двух господствующих над миром сверхдержавах – США и КНР. В то время как Соединённые Штаты продвигают развитие взаимодействия по линии Североатлантического альянса и партнёров по диалогу вне НАТО, Китай продолжает последовательно придерживаться своего внеблокового статуса.

**Ключевые слова:** США, КНР, противостояние, противоборство, конкуренция, гегемонизм, коллективный Запад, миропорядок



Напряженность между КНР и США не спадает, а скорее лишь усиливается, что ставит весь мир перед риском начала третьей мировой войны или множества зарубежных локальных конфликтов на примере «холодной войны». Китайская Народная Республика не согласна со своим значительным отставанием и Соединённых Штатов по объёму ядерных вооружений и наращивает собственные арсеналы, что ставит мир перед угрозой ядерной войны в случае наихудшего сценария.

Возможности Вашингтона в области проецирования собственной жёсткой силы на остальной мир пускай и не безграничны, но всё равно крайне внушительны и действенны. Так, государствам предлагается играть по спускаемым сверху указаниям, действуя в рамках субъективного «можно и нельзя» без перехода «красных линий». Странами коллективного Запада вводится, действующее в их же интересах понятие «rules based order» или «мир, основанный на правилах», точное значение которого нигде официально не закреплено и воспринимается скорее образно, но понятно одно – данный нечёткий свод правил призывает действовать строго в интересах «стран золотого миллиарда». Правила пишет сильный и делает это под свои же собственные интересы. Вводятся страны-изгои (Россия, Иран, Мьянма, КНДР), взаимодействие с которыми в виде торговли, официальных встреч, развития транграничных отношений и др. наказывается вводом экономических санкций. Развивающиеся страны такие как Россия, КНР, Бразилия, блок БРИКС и другие выступают за верховенство ООН в урегулировании международных проблем и прямо против мира на правилах.

Сначала США и их сторонники подменили очередную промышленную революцию на информационно-коммуникативную, биоинженерную и генно-модифицированную с развитием интернета, нано- и военно-стратегических технологий, робототехники (производство военных роботов, беспилотных летательных аппаратов – дронов, кибернетического оружия), искусственного интеллекта (не отличающего добро и зло) и искусственного генома (генетически модифицированные продукты питания; коммерциализация суррогатного материнства; микробиологические вирусы и вакцины). Теперь предпринимаются попытки совершить публичную революцию методом цифровой трансформации госуправления с удалением государственных структур от общества; методом внедрения новых прав человека в демократию и мировой спорт, установления на планете медико-вакцинного миропорядка, управления внутренним передвижением и миграций населения со множеством ограничений; методом постоянно стагнирующей экономики и внедрения виртуальной криптофинансовой системы. Говоря о криптофинансовой системе, самая крупная и знаменитая криптовалюта биткоин (bitcoin/BTC) воплотилась в жизнь в лучших традициях долларовой банкноты, а именно ничем официально не подкреплена, держат её на плаву бесчисленные транзакции и махинации.

Джозеф Байден в 2021 году вскоре после своего официального избрания обозначил ключевых противников Соединённых Штатов. Китай, по его мнению, стремительно стал более напористым, являясь единственным конкурентом,

потенциально способным объединить свою экономическую, дипломатическую, военную и технологическую мощь, чтобы бросить постоянный вызов стабильной и открытой международной системе. «И Пекин, и Москва вложили значительные средства в усилия, направленные на то, чтобы сдерживать силы США и помешать нам защищать свои интересы и союзников по всему миру» - Д. Байден. Так, Россия и Китай препятствуют Вашингтону на глобальном всемировом уровне, а Иран и Северная Корея на региональном.

Спустя один год, в марте 2022 в Пентагоне во время разработки национальной оборонной стратегии США созрел вывод о том, что Китай является «самым важным стратегическим конкурентом и главной проблемой» Министерства обороны США.

Во времена холодной войны в своём противоборстве с СССР Соединённые Штаты могли проводить успешную политику сдерживания, как его, так и Красного Китая за счёт своего абсолютного экономического превосходства над социалистическими гигантами. Однако в настоящий момент Белый дом не способен полагаться на подобные методы в своей политике сдерживания КНР из-за его колоссальной экономической мощи и огромного веса в мировой торговле.

Соединённые Штаты призывают своих товарищей внутри Западного или «первого» мира к усилению экономико-политического давления на Китай, вопреки их собственным интересам. Вашингтон обращается к принципу Джорджа Буша младшего после 11 сентября 2001 года: «либо вы с нами, либо вы против нас (you're either with us or against us)». Хотя подобного рода принуждения пока и не находят значительного отражения, в связи с тем, что Китай является крупнейшим торговым партнёром для более 120 стран мира, в то время как экономические связи с Пекином невозможно заменить в одночасье, а их утрата создаёт огромный вакуум.

По мере стремительного всестороннего укрепления номинальной мощи китайского государства вместе с его позициями в мире, а также политическими амбициями его руководство осознало как необходимость коренной модернизации и развития собственных вооружённых сил, так и значительное развитие ядерного арсенала. Для Пекина стала недопустимым, что его ядерное оружие является подобающим уровню региональной державы при притязаниях разделять статус сверхдержавы с США.

В своём отчёте Стокгольмский международный институт исследования мира передавал, что на начало 2023 года развёрнутых боеголовок имеется: 1770 у США, 1674 у России (вместе обе страны обладают примерно 90% всего ядерного оружия), Франция с 280, Великобритания с 120 единицами, при том что последние являются союзниками США и их совокупные арсеналы можно объединить с американскими.

Размер ядерного арсенала Китая, по оценкам SIPRI, вырос с 350 до 410 боеголовок. Как ожидается, цифры по данному показателю будут расти. В докладе обращается внимание, что КНР может увеличить свои показатели

по ядерному вооружению до равнозначных по отношению к США и России значений до конца десятилетия.

Белый дом оказывает широкую поддержку Тайваню, признаваемому Пекином официальной частью своей территории без осуществления фактического контроля над островом, планируя использовать данную территорию как инструмент ослабления материкового Китая и ведения прокси-войны вне собственной территории. Пекин крайне заинтересован в реализации «мирного воссоединения», сохранив в целостности научно-технологический потенциал Тайбэя и не понеся репутационных потерь в мире из-за собственной агрессии, в то время как в интересах Вашингтона стоит провоцирование вооруженного конфликта и ослабление Китая в рамках политики сдерживания.

В 2021 году Китай достиг очередной значительной вехи в собственном развитии, заявив об искоренении крайней бедности. Пекин также продолжает продвигать собственную экономико-инфраструктурную инициативу «Один пояс- один путь», ставя перед собой целью стать достойной передовой мировой державой к 2049 году. При этом в 2049 году будет отмечаться столетие КПК, к данной дате Си Цзиньпин заявляет, что Китай должен осуществить великое возрождение страны, а также построение современного развитого социалистического государства, достигнув уровня общества «средней зажиточности» и воплотив «китайскую мечту».

«Китайская мечта» является понятием комплексным, охватывающим различные аспекты функционирования государства. Ведущие политологи КНР указывают, что как само понятие «китайской мечты», так и ее осуществление на практике имеют существенное международно-политическое измерение. Следует, в частности, ожидать увеличения роли Китая в глобальном управлении, укрепления международных позиций китайского юаня как одной из крупнейших мировых валют, роста «мягкой силы» страны вслед за ее «культурным возрождением».

**Ivan Khromov**, *master in International Relations, International Relations Department, Far Eastern Federal University khromov.iv@students.dvfu.ru*

**Key words and phrases:** USA, PRC, rivalry, competition, hegemonism, Western world, world order

**Левицкая К.М.**

## **ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА АНГИДРИТОВЫХ ВЯЖУЩИХ ИЗ ФОСФОГИПСА**

*Белгородский государственный технологический университет*

*им. В.Г. Шухова, г. Белгород, ул. Костюкова 46, 308012*

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доц. Алфимова Н.И.*

**Аннотация:** в статье рассмотрена возможность получения ангидритового вяжущего из отхода производства фосфорной кислоты и фосфатных удобрений. Установлена наиболее рациональная схема изготовления ангидритового

вяжущего, изучено влияние предварительного помола сырья на качественные характеристики конечного продукта.

**Ключевые слова:** фосфогипс, ангидритовые вяжущие, помол, гипсосодержащие отходы

Приоритетным направлением развития новых технологий является рациональное природопользование. В данном ключе одним из актуальных направлений является переработка отходов промышленных предприятий. В отдельную группу выделяют гипсосодержащие отходы (ГСО), наиболее крупным из которых является фосфогипс [1, 2].

Несмотря на достаточно большое количество разработок, большинство из них не получают достаточного признания в производственной среде несмотря на ежегодное увеличение отвалов данного вида отходов. ГСО представляют собой ценное сырье для производства целевых продуктов за счет содержания в их составе сульфатов кальция.

Фосфогипс является побочным продуктом производства фосфатных удобрений и фосфорной кислоты. Ежегодно во всем мире производится от 200 до 300 миллионов тонн фосфогипса, при этом около 5,6 миллиардов тонн уже накоплены. При производстве одной тонны фосфорной кислоты образуется около 5 тонн фосфогипса (ФГ) в перерасчете на сухое вещество, большая часть которых хранится в отвалах, нанося значительный вред окружающей среде. Хранение ФГ сопровождается загрязнением почвы, грунтовых вод, а также рассеиванием пыли [1–5].

Лишь небольшая часть отходов используется в качестве удобрений, материала для уплотнения грунта и сырья в строительном производстве. На основе гипсосодержащих отходов производят различные строительные материалы, такие как: гипсокартон, блоки, кирпич и цемент и другие [1, 6–8]. Одним из перспективных направлений переработки данного вида отхода – производство вяжущих, в том числе ангидритовых [9, 10]. При переработке гипсосодержащих отходов необходимо учитывать особенности вещественного состава, подобрать технологический режим, разработать дополнительные мероприятия, которые могут оказать положительное влияние на качественные характеристики конечного продукта [6].

В связи с чем целью данного исследования являлось рассмотрение возможности получения ангидритового вяжущего из фосфогипса и, в частности, установление влияния способа приготовления вяжущего на его прочность. Для этого рассматривалась возможность получения ангидритового вяжущего из фосфогипса в форме дигидрата и полугидрата сульфата кальция и изучалось влияние помола сырья перед прокаливанием на качественные характеристики ангидритового вяжущего.

В качестве объекта исследования выступал фосфогипс ЗАО «ФосАгро АГ» в г. Балаково, Саратовской области. Данный фосфогипс представляет собой песчаный материал с включениями достаточно крупных конгломератов, которые разрушаются при незначительном воздействии. В основном ФГ представлен

дигидратом сульфата кальция ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) до 98 %, основными оксидами, входящими в его состав, является  $\text{SO}_3$  и  $\text{CaO}$  (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав фосфогипса БФ АО «Апатит» в г. Балаково

Оксид	m/m%	Эл.	m/m%
$\text{SO}_3$	48,84	<b>Sx</b>	19,56
$\text{CaO}$	46,44	<b>Ca</b>	33,21
$\text{SrO}$	2,520	<b>Sr</b>	2,130
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,684	<b>Px</b>	0,299
$\text{CeO}_2$	0,362	<b>Ce</b>	0,294
$\text{PuO}_2$	0,167	<b>Pu</b>	0,147
$\text{MgO}$	0,145	<b>Mg</b>	0,087
$\text{SiO}_2$	0,127	<b>Si</b>	0,059
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,124	<b>Fe</b>	0,087
$\text{Na}_2\text{O}$	0,121	<b>Na</b>	0,090
$\text{La}_2\text{O}_3$	0,119	<b>La</b>	0,102
$\text{Nd}_2\text{O}_3$	0,113	<b>Nd</b>	0,097
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,067	<b>Al</b>	0,035
$\text{K}_2\text{O}$	0,066	<b>K</b>	0,055
$\text{ThO}_2$	0,023	<b>Th</b>	0,020
$\text{Pr}_6\text{O}_{11}$	0,019	<b>Pr</b>	0,016
$\text{Y}_2\text{O}_3$	0,014	<b>Y</b>	0,011
$\text{Gd}_2\text{O}_3$	0,012	<b>Gd</b>	0,011
$\text{Sm}_2\text{O}_3$	0,012	<b>Sm</b>	0,010
$\text{PtO}_2$	0,008	<b>Pt</b>	0,007
$\text{Nb}_2\text{O}_5$	0,005	<b>Nb</b>	0,003
$\text{ZnO}$	0,004	<b>Zn</b>	0,003
$\text{CuO}$	0,003	<b>Cu</b>	0,003

Приготовление ангидритового вяжущего осуществлялось из предварительно высушенного в естественных условиях фосфогипса по двум схемам:

Схема 1. Фосфогипс в форме двуhydrата (ФГДГ) и полугидрата (ФГПГ) прокаливалась в муфельной печи при температуре 900 °С, полученная спекшаяся масса подвергалась помолу до удельной поверхности порядка 200 м<sup>2</sup>/кг.

Схема 2. Фосфогипс в форме двуhydrата (ФГДГ) и полугидрата (ФГПГ) молотся до удельной поверхности порядка 200 м<sup>2</sup>/кг, прокаливался в муфельной печи, полученная спекшаяся масса подвергалась помолу до удельной поверхности порядка 200 м<sup>2</sup>/кг.

Прокаливание в муфельной печи осуществлялось при температуре 900 °С. Длительность выдерживания составляла 90 минут после достижения заданной температуры.

ФГПГ получали путем обжига фосфогипса в сушильном шкафу при 175 °С в течении 2 часов после достижения заданной температуры.

Для определения наиболее рационального режима изготовления ангидритового вяжущего с наилучшими характеристиками по прочности, были заформованы образцы кубы размером 2×2×2 см при равном водозатворении (В/Г=0,23). После расформовки образцы помещались в камеру нормального

твердения на 28 суток с дальнейшим определением их плотности и предела прочности при сжатии. Испытание образцов на прочность проводилось с помощью лабораторного пресса с усилием 10 тонн.

Из приведенных результатов видно, что предварительный помол сырья перед получением ангидритового вяжущего оказывает отрицательное воздействие на физико-механические характеристики ангидритового вяжущего, в частности, предел прочности при сжатии снизился примерно в 2,5 раза. Также изготовление ангидритового вяжущего по Схеме 1 будет отличаться более высокими энергозатратами, связанными с предварительным помолом сырья (таблица 2).

Таблица 2 – Физико-механические показатели образцов в зависимости от схемы изготовления

Показатель	Схема 1	Схема 2
<b>ФГПГ</b>		
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	2078	2021
Предел прочности на сжатие, МПа	24,56	9,87
<b>ФГДГ</b>		
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	1998	1860
Предел прочности на сжатие, МПа	25,94	9,97

Форма, из которой получали вяжущее (дигидрат или полугидрат) не оказывает существенного значения на физико-механические характеристики. Также надо отметить, что вне зависимости от схемы изготовления, вяжущее из ФГПГ отличается чуть большими значениями средней плотности, но чуть меньшими – предела прочности при сжатии, однако данные отклонения лежат в пределах ошибки эксперимента.

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что наиболее целесообразным, как с позиции энергозатрат так и физико-механических характеристик конечных изделий, является получение ангидритового вяжущего из фосфогипса путем прокаливания и последующего помола, при этом форма фосфогипса (дигидрат или полугидрат) не оказывает особого влияния на физико-механические характеристики конечного продукта.

#### Список литературы:

1. Rashad, A.M. Phosphogypsum as a construction material / A.M. Rashad // Journal of Cleaner Production. – 2017. – Vol. 166. – Pp. 732–743. – DOI:10.1016/j.jclepro.2017.08.049.
2. Valorization of phosphogypsum in cement-based materials: Limits and potential in eco-efficient construction / B.R.S. Calderón-Morales, A. García-Martínez, P. Pineda [et al.] // Journal of Building Engineering. – 2021. – Vol. 44. – 102506. – DOI:10.1016/j.jobee.2021.102506.
3. One-step wet-process phosphoric acid by-product CaSO<sub>4</sub> and its purification / K. Fang, L. Xu, M. Yang [et al.] // Separation and Purification Technology. – 2023. – Vol. 309. – 123048. – DOI:10.1016/j.seppur.2022.123048.

4. Wei, Z. Research hotspots and trends of comprehensive utilization of phosphogypsum: Bibliometric analysis / Z. Wei, Z. Deng // Journal of Environmental Radioactivity. – 2022. – Vol. 242. – 106778. – DOI:10.1016/j.jenvrad.2021.106778.

5. Иващенко, Т.Г. Фосфоритный фосфогипс: свойства, основные направления переработки и эколого-гигиеническая оценка / Т.Г. Иващенко, И.П. Крайнов // Экология и промышленность. – 2009. – №1(18). – С. 59–64.

6. Обзорный анализ способов получения вяжущих из гипсосодержащих отходов промышленных производств / Н.И. Алфимова, С.Ю. Пириева, М.Ю. Елистраткин и др. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2020. – № 11. С. 8–23. – DOI:10.34031/2071-7318-2020-5-11-8-23

7. Murali, G. Recent research in utilization of phosphogypsum as building materials: Review / G. Murali, M. Azab // Journal of Materials Research and Technology. – 2023. – Vol. 25. – Pp. 960–987. – DOI:10.1016/j.jmrt.2023.05.272.

8. Alfimova, N.I. Utilization of gypsum-bearing wastes in materials of the construction industry and other areas / N. I. Alfimova, S. Yu. Pirieva, A. A. Titenko // Construction Materials and Products. – 2021. – Vol. 4, No. 1. – P. 5-17.

9. Зависимости прочности фосфогипсовых вяжущих материалов от температуры термообработки и гранулометрического состава / М.Г. Игленкова, А.А. Родина, В.А. Решетов и др. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. – 2011. – Т. 11, № 2. – С. 60–63.

10. Левашова, А.К. Изучение вяжущих свойств продуктов дегидратации фосфогипса / А.К. Левашова, Л.И. Сычева // Успехи в химии и химической технологии. – 2015. – Т. XXIX, № 7. – С. 47–49.

УДК 691.335

**<sup>1</sup>Козлов Павел Геннадьевич, <sup>2</sup>Белых Светлана Андреевна, <sup>2</sup>Шляхтина Тамара Федоровна, <sup>1</sup>Примчук Анатолий Григорьевич, <sup>1</sup>Ильинский Юрий Юрьевич, <sup>3</sup>Бакатов Константин Александрович**  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ**

*<sup>1</sup>Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток*

*<sup>2</sup>Братский государственный университет, г. Братск*

*<sup>3</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород*

**Аннотация.** Тепловые электростанции генерируют большое количество золошлаковых отходов. Извлечение из них полезных компонентов и полная утилизация, за счет использования полезных свойств ЗШО и производства строительных материалов, позволит высвободить занимаемые площади и снизить негативное воздействие на окружающую среду. Кроме того, для энергетических предприятий, утилизация золошлаковых отходов – это снижение технологических расходов на основное производство.

**Ключевые слова:** алюмосиликаты, геополимер, золошлаковые отходы, строительные материалы, утилизация

В условиях высокого уровня потребления и низкого уровня использования ресурсов, а также низкой эффективности обращения с отходами остро стоит вопрос об утилизации отходов производства и потребления. Для предприятий теплоэнергетики ГРЭС и ТЭЦ, образующих большое количество золошлаковых отходов (ЗШО) (рисунок 1), их наличие и складирование является экономической и экологической проблемой:

- затраты на удаление, транспортирование и хранение ЗШО;
- потребность в больших участках земной поверхности для хранения ЗШО;
- негативное воздействие на окружающую среду.



Рисунок 1. Удаление золошлаковых отходов ТЭЦ

Золошлаковые отходы накапливаются в результате термохимических изменений неорганической (минеральной) части композиционного топлива при обработке в котлах ТЭЦ. Химический и фазово-минеральный состав золошлаковых отходов в основном связан с особенностями вещественного состава твердого топлива и теми изменениями, которые оно претерпевает в процессе высокотемпературной обработки.

Зола (рисунок 2, а) – тонкодисперсный материал с размером частиц менее 0,315 мм (основная фракция - частицы с размером 0,08 мм), образующийся из плотных частиц твердого топлива, и улавливаемый из дымовых газов ТЭЦ. Шлак (рисунок 2, б) – грубодисперсный материал с размером зерен от 0,315 до 40 мм, образующийся из тяжелой части твердого топлива, агрегирующий в нижней части топочного пространства тепловых агрегатов и удаляемый в жидком, мелкодисперсном или частично порошкообразном состоянии. При совместном удалении золы и шлака механизированным, гидро- или пневмотранспортом на золоотвал ТЭЦ образуется третий вид отходов – золошлаковая смесь (рисунок 2, в).

В золоотвалах тепловых электростанций накапливается более 1,1 млрд. руб. тонн ЗШО, утилизация и переработка которых составляет около 13-15% годовых выбросов. Российские предприятия теплоэнергетики применяют различные подходы к решению этой проблемы:



- внедряют технологии переработки и использования золошлаковых отходов для производства строительных материалов или добавок в цементную промышленность;
- используют ЗШО для строительства автодорог;
- извлекают полезные химические элементы и вещества.



а) зола

б) шлак

в) золошлаковая смесь

Рисунок 2. Виды золошлаковых отходов

1. Золошлаковые бетоны широко применяются в различных областях строительства, за исключением некоторых конструкций, таких как верхний слой покрытия автомобильных дорог и аэродромов, пролетные строения мостов, оболочек градирен и отводов вытяжных (дымовых) труб, гидротехнических сооружений в частях, подвергающихся попеременному замораживанию и оттаиванию, а также для конструкций, армированных термически упрочненной сталью, склонной к коррозионному растрескиванию. В производстве золошлакового бетона используются золошлаковые смеси вместо тяжелых заполнителей природного происхождения, таких как песок, гравий и щебень. Применение золы не оказывает отрицательного влияния на ползучесть, усадку и модуль упругости обычного бетона. Кроме того, золошлаковые бетоны обладают повышенной коррозионной стойкостью и сульфатостойкостью [1].

2. Использовать золошлаковые отходы в ходе строительства временной автомобильной дороги на участке трассы Р-255 «Сибирь» (дорога в обход Усоля-Сибирского) предложили сотрудники и студенты кафедры автомобильных дорог Иркутского НИТУ. Протяженность экспериментального участка составляет 150 м, на нем применена технология возведения земляного полотна (рисунок 3) с использованием золошлаковых смесей. Это позволяет сократить количество отходов и повысить их ценность.



Рисунок 3. Возведение земляного полотна дороги из ЗШО

3. При создании последовательной технологической цепочки различных приборов и оборудования из ЗШО можно получить различные ценные

компоненты (см. табл. 1), что способствует утилизации отходов и снижению негативного влияния на окружающую среду [2].

Таблица 1

Пределы среднего содержания основных компонентов ЗШО

Компонент	Среднее содержание %		Компонент	Средние содержания %	
	От - до	Среднее		От - до	Среднее
SiO <sub>2</sub>	51- 60	54,5	CaO	3,0 – 7,3	4,3
TiO <sub>2</sub>	0,5 – 0,9	0,75	Na <sub>2</sub> O	0,2 – 0,6	0,34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16-22	19,4	K <sub>2</sub> O	0,7 – 2,2	1,56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5 - 8	6,6	SO <sub>3</sub>	0,09 – 0,2	0,14
MnO	0,1 – 0,3	0,14	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,1-0,4	0,24
MgO	1,1 – 2,1	1,64	п.п.п.	5,8 – 18,8	10,6

Повышение эффективности использования отходов требует внедрения современных технологий и методов обращения с отходами:

- сортировку и переработку отходов;
- использование новых материалов и технологий;
- сотрудничество с другими отраслями и организациями для разработки инновационных решений.

Комплексная переработка золошлаковых отходов (ЗШО) может решить ряд экологических и технологических проблем в цементной промышленности. Создание альтернативных вяжущих материалов для замещения энергоемкого и экологически небезопасного производства цемента является актуальной задачей для современной строительной отрасли.

Исследование химического состава золошлаковых отходов (ЗШО) Приморской ГРЭС (рисунок 4) и Владивостокской ТЭЦ-2 показало наличие в них химических соединений, таких как диоксид кремния (SiO<sub>2</sub>) и оксид алюминия (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), которые являются необходимыми компонентами для создания геополимеров. Политехнический институт ДВФУ, Военный учебный центр при ДВФУ проводят исследования способов утилизации золошлаковых отходов при производстве геополимерных строительных материалов. В лаборатории ДВФУ имеется технологическая линия для переработки золошлаковых отходов.



Рисунок 4. Приморская ГРЭС, г. Лучегорск

Для получения геополимерных бетонов, которые являются одним из альтернативных материалов, в качестве вяжущего используется тонко измельченный шлак (ЗШО). Для изготовления раствора щелочного компонента, используемого для затворения геополимерных бетонов, применяются соединения щелочных металлов натрия или калия, дающие в водном растворе щелочную реакцию. Преимущества технологии геополимеров по сравнению с традиционной технологией портландцемента заключаются в отсутствии высокотемпературного обжига и выделений углекислого газа при диссоциации карбонатного сырья. Кроме того, геополимеры позволяют использовать различные отходы из разных отраслей промышленности в качестве сырья. Использование геополимерных материалов на основе золошлаковых отходов может быть перспективным решением для снижения негативного воздействия на окружающую среду и повышения эффективности использования отходов различных отраслей промышленности [3]. Применяя геополимерные связующие различного состава, можно получать композиционные материалы с заданными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

В работе Алексейко Л.Н., Таскина А.В. и др., приведены варианты схем комплексной переработки ЗШО

- в первом варианте предусматривается выделение угольной фракции с последующим отделением магнитной и тяжелой фракций. Получаемая инертная масса алюмосиликатного состава пригодна для производства строительных материалов и использования в строительстве в качестве наполнителя и мелиоранта в сельском хозяйстве. Из тяжелой фракции путем доводки с применением различных методов обогащения, включая способы выщелачивания и гидрометаллургии, получаем промышленный концентрат драгметаллов, который направляется на аффинажный завод. Из остатка тяжелой фракции, по мере её накопления, извлекаются другие полезные компоненты (цветные и редкие металлы, возможно скандий и редкие земли).

- во втором варианте, для повышения технических показателей, после доизмельчения, предусматривается магнитная сепарация с извлечением магнитной фракции, флотация угля и гравитационное отделение тяжелой фракции [4].

Вовлечение отходов производства и потребления в хозяйственный оборот (рисунок 5) также может привести к созданию новых рабочих мест и развитию экономики. Переработка отходов требует специальных технологий и оборудования, а также квалифицированных специалистов, что может способствовать развитию инновационных отраслей и повышению конкурентоспособности страны. Вовлечение отходов производства и потребления в хозяйственный оборот в качестве вторичного сырья является важным шагом в направлении устойчивого развития, способствующим ресурсосбережению, сокращению выбросов и созданию экономических и экологических выгод [5].

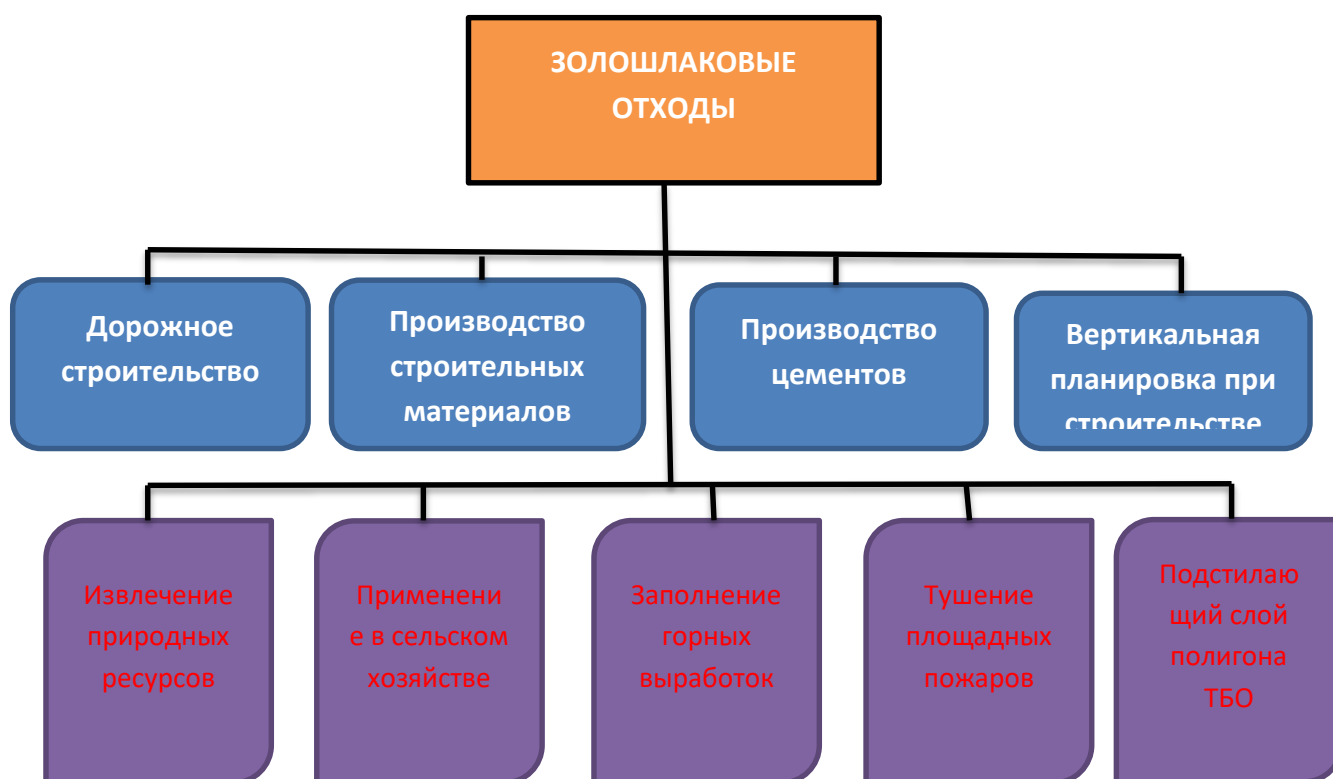


Рисунок 5. Комплексная переработка ЗШО

В работе Белых С.А., Черниговской М.Н. и др. [6] рассматривается порядок вовлечения ЗШО в сырьевую базу стройиндустрии; возможности использования этого материала в каждом конкретном случае; порядок исследования стабильности свойств получаемых отходов.

Для успешного использования золошлаковых отходов в производстве строительных материалов необходимо провести технические исследования по определению их пригодности в качестве основного компонента. Сюда относятся исследования технических процессов производства строительных материалов с использованием золошлаковых отходов. Ограниченное использование золошлаковых отходов возможно только после проведения необходимых гигиенических исследований и принятия решений о возможном вторичном

использовании. Эти решения должны основываться на систематизированных данных о химическом составе, физико-химических свойствах и экологической безопасности золошлаковых отходов.

Поэтому для максимального использования золошлаковых отходов в производстве строительных материалов необходимо проведение дальнейших исследований и принятие соответствующих решений, на основе полученных данных. Это позволит оптимизировать использование ресурсов и повысить экологическую эффективность.

### **Список литературы**

1. Белякова Е.А., Москвин Р.Н., Юрова В.С. Эффективность использования отходов ТЭЦ // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2018. № 1 (14). С. 181-188.

2. Черепанов А.А., Янчев В.К., Сулейманов С.Л. Использование золошлаковых отходов ТЭЦ в строительстве // Энергетическая эффективность. 2013. № 5. С. 64-70.

3. Козлов П.Г. Геополимерные мелкозернистые бетоны // Инженерное дело на Дальнем Востоке России: Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. Владивосток: ВУЦ ДВФУ. 2023, С. 15-18

4. Алексейко Л.Н., Таскин А.В., Черепанов А.А., Юдаков А.А. Комплексная переработка золошлаковых отходов ТЭЦ гг. Хабаровск и Биробиджан // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. 2016. № 1 (17). С. 22-34.

5. Комплексное устойчивое управление отходами. Горнодобывающая промышленность: учебное пособие / В.И. Петухов и др.; под ред. В.И. Петухова. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2016. – С. 532-534

6. Белых С.А., Черниговская М.Н., Буянова Э.Э., Меркульева Т.А., Самусева М.Н. Обеспечение стабильности свойств золошлаковых отходов Иркутской области при применении в цементных материалах // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2010. № 4 (28). С. 235-239.

### **Лукутцова Наталья Петровна, Пыкин Алексей Алексеевич, Панихидкина Дарья Сергеевна, Финько Анастасия Эдуардовна ГРАНУЛИРОВАННЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ**

*Брянский государственный инженерно-технологический университет,  
кафедра производства строительных конструкций,  
г. Брянск, проспект Станке Димитрова, 3, 241037*

**Аннотация:** представлен способ получения гранулированного заполнителя для легких бетонов на основе хризотилцементного шлама и золошлаковой смеси тепловой электростанции с насыпной плотностью 380 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводностью 0,09 Вт/(м·°С), прочностью при сжатии 3 МПа, водопоглощением по массе 30 %.

**Ключевые слова:** гранулированный заполнитель, хризотилцементный

шлам, золошлаковая смесь, состав, физико-механические свойства.

В настоящее время мировое производство хризотила (волокнистого минерала группы серпентина  $Mg_3[Si_2O_5] \cdot (OH)_4$ , способного расщепляться на тончайшие длинные волокна диаметром до 0,5 мкм) превышает 2 млн. т/г.

При этом более 90 % его идет на изготовление хризотилцементных строительных изделий: плоских и волнистых прессованных листов, кровельных и стеновых панелей, перегородок зданий и сооружений, фасадных и облицовочных плит, напорных и безнапорных труб. Общий объем выпуска данных изделий составляет свыше 10 млн. т/г. Россия является ведущей страной по добыче и переработке хризотила [1-5].

По сравнению с запрещенными к применению кислотостойкими амфиболовыми асбестами (актинолитом, амозитом, антофиллитом) хризотил является щелочестойким гидросиликатом магния, который под воздействием кислой среды человеческого организма разрушается и выводится из него [6].

Тем не менее хризотилцементная промышленность сопровождается негативным экологическим эффектом, связанным с образованием специфических отходов (шлама, рекуперационной воды, влажных и сухих обрезков изделий), утилизация которых, в частности для получения цементных систем, затруднена ввиду их низкой гидравлической активности.

Повышение вяжущих свойств хризотилцементных отходов (ХЦО), состоящих из продуктов гидратации минералов портландцементного клинкера, включая гидроксид кальция и мелкие волокна хризотила, достигается механическим, термическим, химическим и смешанным видами активации.

Тонкое измельчение ХЦО приводит к нарушению гидратных пленок и обнажению клинкерного фонда, а высушивание и обжиг способствуют увеличению количества гидратируемых соединений. При введении активных минеральных добавок (трепела, микрокремнезема, золошлаковых отходов и др.) могут образоваться низкоосновные гидросиликаты кальция за счет реакции пуццоланизации [7, 8].

*Цель данного исследования* заключается в разработке способа получения гранулированного заполнителя (ГЗ) для легких бетонов с низкой насыпной плотностью и теплопроводностью с использованием хризотилцементного шлама и золошлаковой смеси тепловой электростанции.

В качестве сырьевых компонентов ГЗ применялись:

– портландцемент (ПЦ) ЦЕМ I 42,5Н по ГОСТ 31108-2020 (АО «Мальцовский портландцемент») химического состава, мас. %: CaO – 65,8; SiO<sub>2</sub> – 21,8; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4,9; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4,3; MgO – 0,9; SO<sub>3</sub> – 0,8; (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) – 0,66; минерального состава, мас. %: C<sub>3</sub>S – 68,6; C<sub>2</sub>S – 7,4; C<sub>3</sub>A – 6,4; C<sub>4</sub>AF – 12,7; удельной поверхности – 370 м<sup>2</sup>/кг; нормальной густоты цементного теста – 24 %; активности – 51 МПа;

– хризотилцементный шлам (ХЦШ) в виде пастообразной массы влажностью 50-60 % с содержанием до 20 % волокон хризотила диаметром 15-40 мкм, длиной 1350-4800 мкм (Брянская область);

– золошлаковая смесь (ЗШС) от сжигания антрацита и тощего каменного угля при совместном гидроудалении золы-уноса и шлака с содержанием зольной составляющей более 85 % (ЗАО «Молдавская ГРЭС», г. Днестровск, Приднестровье).

Рентгенофазовым анализом на дифрактометре ARL X'TRA установлено, что минеральный состав ХЦШ представлен наличием 20 % хризотила, 80 % продуктов гидратации и карбонизации клинкерных минералов [9].

В ХЦШ содержатся преимущественно оксиды кальция и кремния ( $\text{CaO}$  и  $\text{SiO}_2$ ), суммарное количество которых превышает 68 %, что подтверждают результаты рентгенофлуоресцентной спектроскопии на приборе ARL OPTIM'X.

По данным химического анализа золошлаковой смеси рассчитано, что модуль основности ЗШС составляет 0,1, силикатный модуль – 1,4, коэффициент качества (гидравлическая активность) – 0,5.

По количеству оксида кальция (2,4 %) и модулю основности (менее 1) ЗШС относится к кислой (по ГОСТ 25592-2019), способной проявлять пуццолановые свойства, а по удельной поверхности ( $170 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) – к среднедисперсной.

Гранулометрический состав ЗШС характеризуется одномодальным распределением частиц по размерам в диапазоне от 0,13 до 196 мкм со средним диаметром 72 мкм. На долю частиц размерами от 0,13 до 1 мкм приходится 1,8 %; от 1 до 10 мкм – 11,5 %; от 10 до 100 мкм – 79,1 %; от 100 до 196 мкм – 7,6 %.

Методом сканирующей электронной микроскопии на микроскопе TESCAN MIRA 3 LMU определено, что основная масса ЗШС представлена полидисперсными сферическими частицами золы-уноса с гладкой остеклованной поверхностью, а также шлаковыми частицами губчатой структуры (рис. 1).

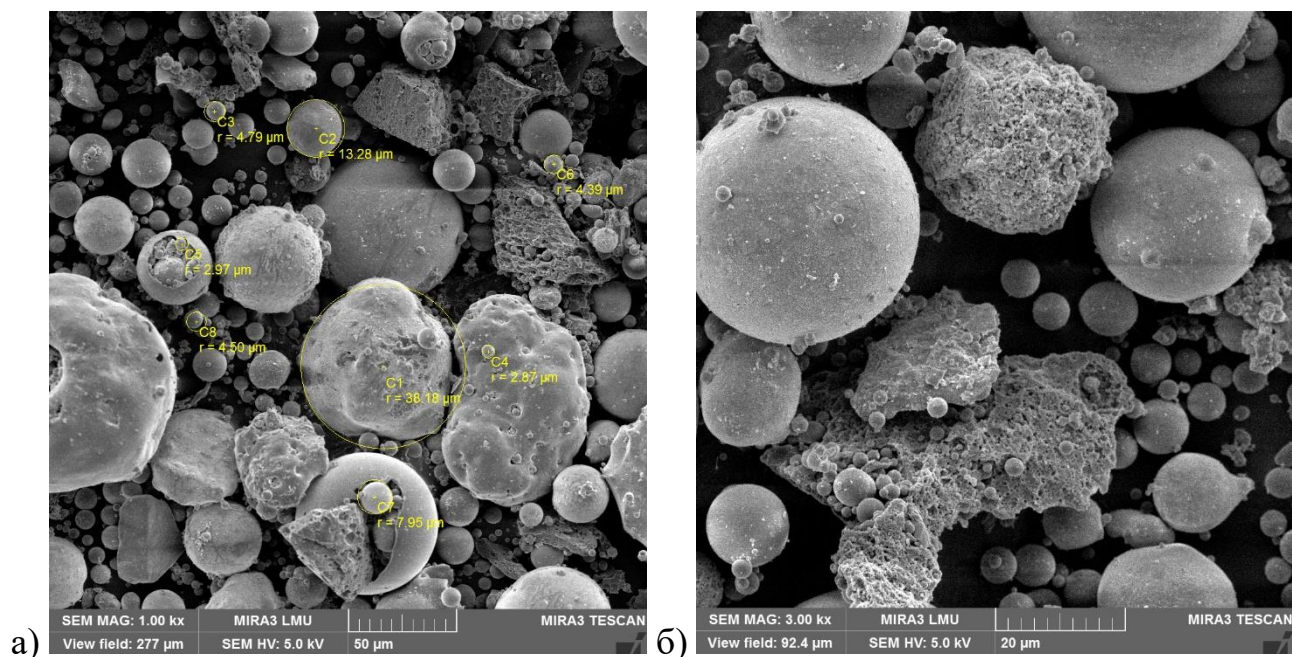


Рис. 1. Микрофотографии золошлаковой смеси:  
а – увеличение 1000×; б – увеличение 3000×

Получение ГЗ в виде гранул диаметром 10-20 мм со структурой типа ядро–

оболочка осуществлялась способом, включающим следующие этапы:

- гранулирование ядра из ХЦШ влажностью 50-60 %;
- формирование оболочки на поверхности ядра путем опудривания его в сухой смеси с удельной поверхностью частиц 320-340 м<sup>2</sup>/кг, приготовленной совместным помолом в шаровой мельнице портландцемента, золошлаковой смеси (добавки-заменителя части ПЩ) и предварительно высушенного хризотилцементного шлама при температуре 110 °С;
- тепловлажностная обработка гранул в пропарочной камере КПУ-1М при температуре изотермической выдержки 85 °С по режиму (1,5 + 3 + 1,5 ч).

Гранулирование и опудривание ядра заполнителя (рис. 2) проводилось в лабораторном тарельчатом грануляторе в течение 5 мин при скорости его вращения 11 об/мин и угле наклона 45°



Рис. 2. Гранулы заполнителя на основе хризотилцементного шлама и золошлаковой смеси

Для получения гранулированного заполнителя с низкой насыпной плотностью наиболее рациональным является состав, включающий 10 % ПЩ (от массы смеси для опудривания ядра) и 15 % ЗШС (от массы портландцемента) при влажности ХЦШ 55 %. В данном случае насыпная плотность ГЗ составляет 380 кг/м<sup>3</sup>, прочность при сжатии 3 МПа, водопоглощение по массе 30 %, теплопроводность 0,09 Вт/(м·°С).

Повышение количества портландцемента в составе сухой смеси для оболочки ГЗ от 10 до 20 % нецелесообразно, поскольку приводит к повышению насыпной плотности до 420 кг/м<sup>3</sup>, а теплопроводности до 0,12 Вт/(м·°С).

## Заключение

Разработан способ получения гранулированного заполнителя со структурой типа ядро–оболочка для легких бетонов, изготовленного гранулированием ядра из хризотилцементного шлама и формированием оболочки на поверхности ядра путем опудривания его в сухой смеси совместного помола портландцемента, кислой золошлаковой смеси тепловой электростанции и предварительно высушенного хризотилцементного шлама. Предложен рациональный состав гранулированного заполнителя с насыпной плотностью до 380 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводностью до 0,09 Вт/(м·°С), прочностью при сжатии до 3 МПа.



## Список литературы:

1. Умаров Т.Ю., Раззоков С.З. Регенерация хризотил-асбеста из техногенных отходов хризотилцементной промышленности // Строительные материалы. 2021. № 3. С. 52-56.
2. Яковлев Г.И., Дрохитка Р., Первушин Г.Н., Грахов В.П., Саидова З.С., Гордина А.Ф., Шайбадуллина А.В., Пудов И.А., Эльрефаи А.Э.М.М. Мелкозернистый бетон, модифицированный суспензией хризотил-волокон // Строительные материалы. 2019. № 1-2. С. 4-10.
3. Козлов В.В., Попов К.Н., Межов А.Г., Лиляк А.П. Пути использования отходов хризотилцементного производства // Вестник МГСУ. 2011. № 1-2. С. 284-287.
4. Строкова В.В., Везенцев А.И., Колесников Д.А., Солоха А.С. Хризотил – природный нанотубулярный материал // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 2. С. 34-38.
5. Репина Ж.В., Чемякина Н.А., Тарская-Лаптева Е.Г. Хризотилцементные строительные материалы. Области применения. Екатеринбург: АМБ, 2009. - 152 с.
6. Везенцев А.И., Гудкова Е.А., Пылев Л.Н., Смирнова О.В. К вопросу об изменении поверхностных и биологических свойств хризотила в асбестоцементе // Строительные материалы. 2008. № 9. С. 26-27.
7. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Чивикова Е.В. Использование опал-кристобалит-тридимитового микронаполнителя в тяжелом бетоне // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 2. С. 8-17.
8. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Горностаева Е.Ю., Головин С.Н., Золотухина Н.В. Моделирование состава мелкозернистого бетона с золошлаковой смесью и суперпластификатором // Вестник ВСГУТУ. 2022. № 2 (85). С. 71-77.
9. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Соболева Г.Н., Золотухина Н.В., Обыденная А.А. Композиционный наполнитель для легких бетонов с использованием хризотилцементных и золошлаковых отходов // Строительные материалы. 2021. № 8. С. 53-59.

**<sup>1</sup>Лхасаранов Солбон Александрович, <sup>1</sup>Урханова Лариса Алексеевна,  
<sup>1</sup>Данзанов Доржи Владимирович, <sup>1</sup>Ивлев Олег Анатольевич, <sup>2</sup>Федюк  
Роман Сергеевич**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ ПЕРЛИТОВ С УЛЬТРАДИСПЕРСНОЙ ДОБАВКОЙ**

<sup>1</sup>*Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,  
кафедра «Строительные материалы, автомобильные дороги и  
деревобработка», г. Улан-Удэ, ул. Ключевская 40В, 670013*

<sup>2</sup>*Дальневосточный федеральный университет, Военный учебный центр, г.  
Владивосток, о. Русский, нп. Аякс, 10, 690922*

**Аннотация:** Объектом исследования является композиционные вяжущие, полученные с применением закристаллизованного и стекловидного перлитов и ультрадисперсной добавки.

Целью работы является возможность получения композиционных вяжущих с улучшенными физико-механическими характеристиками при модификации ультрадисперсной добавкой, полученной при гидролизе портландцемента.

Получены составы композиционных вяжущих на основе перлита стекловидного и ультрадисперсной добавки с заменой цементной составляющей до 30% без потери основных характеристик.

**Ключевые слова:** портландцемент, композиционные вяжущие, ультрадисперсная добавка, перлит, прочность

*Статья подготовлена в рамках гранта «Молодые ученые ВСГУТУ-2023».*

При выборе вида модификатора для цемента и бетона одним из главных факторов является его эффективность, многофункциональность и невысокая цена. Проведено большое количество исследований по применению микро- и нанодисперсных добавок для модификации цементного камня и бетона на его основе [1-8]. Применение ультра- и нанодисперсных модификаторов в виде водных суспензий имеет ощутимые преимущества по сравнению с порошкообразными модификаторами из-за равномерного распределения по объему композита [6, 7].

В технологии современных композиционных вяжущих и бетонов на их основе важным является достижение требуемых физико-механических и эксплуатационных свойств при одновременном обеспечении технологических свойств. Вопрос применения новых видов ультрадисперсных минеральных добавок, а также принципы их совместимости для обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик изучены недостаточно, необходима разработка композитов нового поколения, которым характерен особый набор требуемых высоких показателей физико-механических и эксплуатационных свойств.

Целью данных исследований является получение композиционных вяжущих с ультрадисперсной добавкой, полученной при гидролизе портландцемента.

В проводимых исследованиях были использованы: портландцемент (ПЦ) ЦЕМ I 42,5 Н ГОСТ 31108-2020; перлит стекловидный (СП) и закристаллизованный (ЗП) Мухор-Талинского месторождения (Республика Бурятия); суперпластификатор (СП) «ViscoCrete 20 Gold», ультрадисперсная добавка (УДД), полученная при гидролизе портландцемента.

Для получения ультрадисперсной добавки готовили 2% раствор портландцемента в воде затворения. В настоящее время считается признанным тот факт, что начальной стадией растворения при гидратации клинкерных минералов является топохимическое взаимодействие протона с ионами кислорода в кристаллической решетке с образованием гидроксидного иона  $\text{OH}^-$

или молекулы воды [9]. Гидролиз  $C_3S$  в воде можно выразить уравнением реакции [9]:  $C_3S + 3H_2O = 3Ca^{2+} + H_2SiO_4^{2-} + 4OH^-$ .

Композиционные вяжущие получали совместным помолком портландцемента и стекловидного и закристаллизованного перлита (5-25 мас. %) в стержневом виброистирателе до удельной поверхности 400-450 м<sup>2</sup>/кг.

Дифференциальную сканирующую калориметрию проводили с помощью прибора TGA/DSC 1/1100SF совмещенного термогравиметрического анализа (Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова).

С применением ультрадисперсной добавки, полученной при гидролизе 2 масс. % портландцемента в воде затворения были модифицированы композиционные вяжущие (рис. 1). Добавку брали в количестве 0,4 % от массы портландцемента.

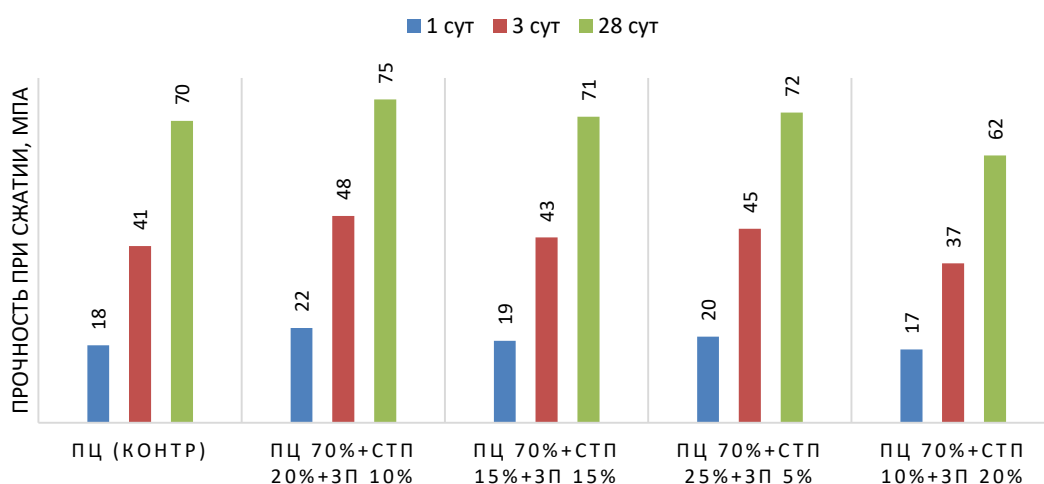


Рисунок 1 – Кинетика набора прочности композиционных вяжущихс ультрадисперсной добавкой, полученной при гидролизе портландцемента

Анализ результатов показывает, что при содержании стекловидного перлита 15%-25% прочность при сжатии выше прочности контрольного цементного образца. Оптимальный состав вяжущего, при котором получены наиболее высокие показатели прочности, содержит в составе 20 мас. % стекловидного перлита и 10% закристаллизованного перлита. Очевидно, что при таком соотношении реализуется синергетический эффект комплексного воздействия аморфной и кристаллической фаз кремнезема на формирование низкословных гидросиликатов кальция и создания плотной прочной структуры композита [5]. При введении ультрадисперсной добавки, полученной при гидролизе 2% портландцемента, наблюдается значительное (30-40%) повышение прочности при сжатии по сравнению с контрольными составами. Повышение прочности при сжатии составов композиционных вяжущих обусловлено интенсивным взаимодействием продуктов гидролиза как с клинкерными минералами, так и с частицами тонкомолотого перлита. Введение ультрадисперсной добавки приводит к интенсивному переходу в раствор, наряду с обменными ионами, гидратированных ионов  $Ca(OH)^+$ ,  $(H_2SiO_4)^{2-}$ , приводящих сначала к насыщению, а затем к пересыщению водного раствора

соответствующими ионами, в результате чего осуществляется выкристаллизовывание новой фазы в объеме и на поверхности частиц композиционного вяжущего [10].

При сравнении кривых ДТА композиционного вяжущего наблюдается изменение основности образующихся гидросиликатов кальция: эндотермический эффект в области температуры 798,5 °С у контрольного композиционного вяжущего смещается вправо у композиционного вяжущего с ультрадисперсной добавкой, в сторону снижения температуры до 795 °С (рис. 2).

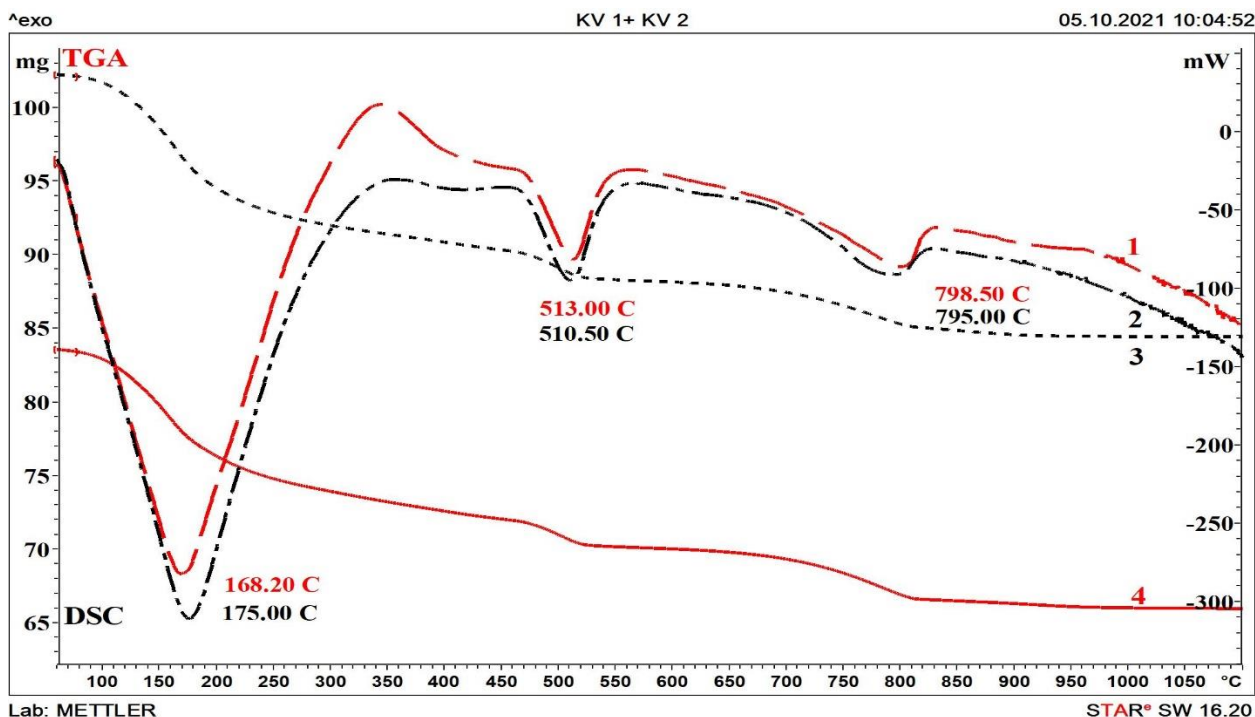


Рисунок 2 – Кривые дифференциально-сканирующей калориметрии композиционного вяжущего без (1, 4) и с ультрадисперсной добавкой (2, 3)

Смещение пика связано с тем, что введение ультрадисперсной добавки приводит к образованию дополнительного количества гидросиликатов кальция, отличающихся от традиционных. В композиционном вяжущем образуются дополнительные низкоосновные гидросиликаты кальция, структурированные по поверхности твердой фазы, с образованием более плотного композита с улучшенными физико-механическими свойствами.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

а) Применение перлитов с различным содержанием аморфной и кристаллической фаз кремнезема способствует повышению физико-механических показателей композиционных вяжущих за счет создания центров кристаллизации гидратных новообразований и образованию низкоосновных гидросиликатов кальция второй генерации.

б) Введение ультрадисперсной добавки, полученной при гидролизе портландцемента способствует росту прочности композиционных вяжущих за счет активного взаимодействия дополнительного количества синтезированных

при гидролизе гидратированных ионов  $\text{Ca}(\text{OH})^+$ ,  $(\text{H}_2\text{SiO}_4)^{2-}$  с компонентами композиционного вяжущего.

в) Совместное использование в составе композиционного вяжущего перлитов с различным содержанием аморфной и кристаллической фаз кремнезема, ультрадисперсной добавки, полученной при гидролизе портландцемента, способствует снижению пористости композита и созданию бездефектной структуры материала.

### Список литературы:

1. Гаркави М.С., Дергунов С.А., Сериков С.В. Формирование структуры композиционного цемента в процессе измельчения // Строительные материалы. – 2021. – № 10. – С. 65–68. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-65-68>

2. Лесовик В.С., Федюк Р.С. Композиты нового поколения для специальных сооружений // Строительные материалы. – 2021. – № 3. – С. 9–17. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-789-3-9-17>

3. Муртазаев С.-А.Ю., Саламанова М.Ш., Бисултанов Р.Г., Муртазаева Т.С.А. Высококачественные модифицированные бетоны с использованием вяжущего на основе реакционноактивного минерального компонента // Строительные материалы. – 2016. – № 8. – С. 74-79. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2016-740-8-74-79>

4. Нго С.Х., Танг В.Л., Булгаков Б.И., Александрова О.В., Ларсен О.А., Ха Х.К. Влияние золы рисовой шелухи на свойства гидротехнических бетонов // Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13. – № 6 (117). – С. 768-777.

5. Лесовик В.С., Жерновой Ф.Е., Глаголев Е.С. Использование природного перлита в составе смешанных цементов // Строительные материалы. – 2009. – № 6. – С. 84-87.

6. Артамонова О.В., Сергуткина О.Р., Останкова И.В., Шведова М.А. Синтез нанодисперсного модификатора на основе  $\text{SiO}_2$  для цементных композитов // Конденсированные среды и межфазные границы. 2014. Том 16, № 2. С. 152-162.

7. Чернышов Е.М., Артамонова О.В., Славчева Г.С. Прикладные нанотехнологические задачи повышения эффективности процессов твердения цементных бетонов // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2017. №1 С. 25-41. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-1-25-41](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-1-25-41)

8. Королев Е.В. Нанотехнология в строительном материаловедении. Анализ состояния и достижений. Пути развития. // Строительные материалы. – 2014. – №11. – С. 47-49.

9. Шмицько Е.И., Крылова А.В., Шаталова В.В. Химия цемента и вяжущих веществ. Воронеж: ВГАСУ. 2005. 164 с.

10. Вернигорова В.Н., Саденко С.М. О нестационарности физико-химических процессов, протекающих в бетонной смеси // Строительные материалы. 2017. № 1-2. С. 86-89.

### Bibliography

1. Garkavi M.S., Dergunov S.A., Serikov S.V. Formation of the structure of composite cement in the process of grinding // *Construction Materials*. 2021. No. 10. pp. 65–68. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-65-68> (In Russian).
2. Lesovik V.S., Fedyuk R.S. Composites of a new generation for special structures // *Construction Materials*. 2021. No. 3. pp. 9–17. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-789-3-9-17> (In Russian).
3. Murtazaev S.-A.Yu., Salamanova M.Sh., Bisultanov R.G., Murtazaeva T.S.A. High-quality modified concrete using a binder based on a reactive mineral component // *Construction Materials*. 2016. No. 8. pp. 74-79. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2016-740-8-74-79> (In Russian).
4. Ngo S.Kh., Tang V.L., Bulgakov B.I., Alexandrova O.V., Larsen O.A., Kha H.K. Influence of rice husk ash on the properties of hydrotechnical concretes // *Bulletin of MGSU*. 2018. B. 13. No. 6 (117). pp. 768-777. (In Russian).
5. Lesovik V.S., Zhernovoi F.E., Glagolev E.S. The use of natural perlite in the composition of mixed cements // *Construction Materials*. 2009. No. 6. pp. 84-87. (In Russian).
6. Artamonova O.V., Sergutkina O.R., Ostankova I.V., Shvedova M.A. Synthesis of a nanodispersed modifier based on SiO<sub>2</sub> for cement composites // *Condensed matters and interfaces*, 2014. Vol. 16, No. 2. pp. 152-162. (In Russian).
7. Chernyshov E.M., Artamonova O.V., Slavcheva G.S. Applied Nanotechnological Problems of Increasing the Efficiency of Cement Concrete Hardening Processes // *Nanotechnologies in Construction: Scientific Internet Journal*. 2017. No. 1 pp. 25-41. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-1-25-41](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-1-25-41) (In Russian).
8. Korolev E.V. Nanotechnology in building materials science. Analysis of the state and achievements. Development ways // *Construction Materials*. 2014. No. 11. pp. 47-49. (In Russian).
9. Shmit'ko E.I., Krylova A.V., Shatalova V.V. Chemistry of cement and binders. Voronezh: VGASU. 2005. 164 p. (In Russian).
10. Vernigorova V.N., Sadenko S.M. On the non-stationarity of physical and chemical processes occurring in a concrete mixture // *Construction Materials*. 2017. No. 1-2. pp. 86-89. (In Russian).

**<sup>1</sup>Любомирский Николай Владимирович, <sup>1</sup>Бахтин Александр Сергеевич, <sup>1</sup>Бахтина Тамара Алексеевна, <sup>1</sup>Биленко Герман Русланович, <sup>2</sup>Федюк Роман Сергеевич**

**ИСКУССТВЕННЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ  
СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКОВ КАРБОНАТНОГО ТИПА  
ТВЕРДЕНИЯ**

*<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», кафедра Строительного инжиниринга и материаловедения; Республика Крым, г. Симферополь, просп. Академика Вернадского, д. 4, 295007.*

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет; Военный учебный центр, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, нп. Аякс, д. 10, 690922.

**Аннотация:** В работе приведены результаты экспериментальных исследований по определению возможности получения искусственного заполнителя для бетонов из сталеплавильных шлаков методом их принудительного карбонатного твердения. Для исследования использовали электросталеплавильный шлак АО «Оскольский электрометаллургический комбинат имени А.А. Угарова» и конвертерный шлак ОАО «Череповецкий металлургический комбинат». Для получения исходных гранул применялся метод грануляции тонкомолотых сталеплавильных шлаков и их последующее твердение в среде высокой концентрации  $\text{CO}_2$ . Установлено, что исследуемые электросталеплавильный и конвертерный шлаки вступают в активное химическое взаимодействие с  $\text{CO}_2$ , результатом чего является существенное увеличение прочностных характеристик карбонизированных гранул. Так, марка по дробимости, косвенно характеризующая прочность при сжатии материала заполнителя, колеблется от М800 до М1200 в зависимости от вида шлака, что не уступает аналогичным характеристикам заполнителей, полученных из природных плотных горных пород. Проведенные предварительные исследования и полученные результаты свидетельствуют о перспективности переработки сталеплавильных шлаков в искусственные заполнители методом принудительного карбонатного твердения и использования данной продукции в производстве бетонов и дорожном строительстве.

**Ключевые слова:** сталеплавильные шлаки; грануляция, заполнитель, карбонатное твердение.

По мере развития современного производства, наряду с его масштабностью и темпами роста, все большую актуальность приобретают проблемы разработки и внедрения мало- и безотходных технологий. Следует отметить, что в качестве отходов подразумеваются как твердые, так и газообразные вещества, например техногенный  $\text{CO}_2$ . Одним из безальтернативных способов снизить углеродную нагрузку на атмосферу является перевод ряда промышленных предприятий на углерод-негативные «зелёные» технологии. Важнейшей стратегией в снижении углеродного следа является разработка эффективных методов использования техногенного углекислого газа в качестве сырьевого компонента для производства ряда продукции. Для максимального связывания  $\text{CO}_2$  и существенного снижения углеродного следа продукция должна быть востребованной и массового потребления, как, например, строительные материалы и изделия. При этом углекислый газ в результате осуществления технологических процессов производства данной продукции должен поглощаться и связываться в стабильные соединения, например, обладающие вяжущими свойствами.

В современном строительстве одним из самых массовых строительных материалов является бетон. Важнейшим компонентом бетонов, занимающим

наибольший объем в их составе (до 85 %) и во многом определяющим их строительно-технические свойства и назначение, являются разнообразные заполнители от ультралегких до особо тяжелых. При этом, в производстве бетонов в основном используют природные плотные заполнители (щебень, гравий), полученные из плотных горных пород, а вовлечение в производственный цикл вторичных материальных ресурсов – отходов производства основного продукта, является крайне низким. Например, направляются в отвалы предприятий большая часть сталеплавильных (мартеновские, конвертерные, электросталеплавильные) и ферросплавных шлаков, а также частично доменные шлаки. Из всех видов металлургических шлаков наибольшее применение в производстве строительных материалов получили доменные шлаки, прошедшие процесс мокрой грануляции с последующим применением в производстве цемента. Сталеплавильные и ферросплавные шлаки ввиду склонности к различным видам распада (силикатный, известковый, магнезиальный, железистый и марганцевый) наименее востребованы в качестве вторичного сырья.

Одним из вариантов решения проблемы стойкости сталеплавильных шлаков против указанных видов распада и расширения диапазона их использования в производстве строительных материалов может быть их принудительная карбонизация (твердение в среде с высокой концентрацией  $\text{CO}_2$ ).

Известно, что даже тонко молотые, сталеплавильные шлаки не обладают гидравлической активностью, а для их активации и последующего твердения необходимы щелочные компоненты. Исследования показали, что данные шлаки обладают высокой реакционной способностью к принудительной карбонизации (карбонатное твердение), а продукты карбонизации (карбонаты кальция/магния, гидраты силиката кальция) являются основными фазами, обладающими вяжущими свойствами и отвечающими за формирование эксплуатационных характеристик получаемого искусственного камня [1,2]. Установлено, что после процесса искусственной карбонизации шлаков, уменьшается общая пористость, а также появляется значительное количество замкнутых пор. Также выявлено что искусственная карбонизация шлаков способствует образованию как связанной пористости в опытных образцах, так и замкнутой в результате чего существенно изменяются свойства карбонизированного камня. Формирование различной пористости зависит главным образом от соотношения в шлаке полиморфных модификаций  $2\text{CaO} \times \text{SiO}_2$  и условий протекания процесса принудительной карбонизации. Количественно общая пористость уменьшается на 34-76 % в зависимости от времени карбонизации. При этом в основном уменьшается количество макропор, тогда как количество микро и мезопор увеличивается за счет образования кристаллов карбоната кальция и магния наноразмерного уровня [3-7].

В связи с вышесказанным, целью настоящей работы является определение возможности получения искусственного заполнителя для бетонов из сталеплавильных шлаков принудительного карбонатного твердения.



Для исследования использовали электросталеплавильный шлак АО «Оскольский электрометаллургический комбинат имени А.А. Угарова», г. Старый Оскол (далее шлак ОЭМК) и конвертерный шлак ОАО «Череповецкий металлургический комбинат», г. Череповец (далее шлак ЧерМК). Общий вид исходных шлаков представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 - Общий вид исходных шлаков: а – шлак ОЭМК; б – шлак ЧерМК.

Химический состав шлаков (ОЭМК / ЧерМК) по основным оксидам, следующий:  $\text{CaO}$  – 42 / 46 %;  $\text{SiO}_2$  – 24 / 20 %;  $\text{MgO}$  – 14 / 5 %;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 13 / 17 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 4 / 5 %.

Для получения сырцовых гранул искусственного заполнителя был применен метод грануляции увлажненного тонкомолотого порошка исследуемых шлаков. Для этого шлаки были размолоты в лабораторной шаровой мельнице ШЛМ-100 до удельной поверхности 270-310  $\text{m}^2/\text{kg}$ . Грануляцию полученных порошков шлаков проводили в лабораторном тарельчатом грануляторе. Гранулы, снятые с гранулятора, обладали достаточной прочностью, которая позволяла пересыпать гранулы и классифицировать их на ситах. Максимальный размер гранул не превышал 20 мм. Принудительную карбонизацию полученных гранул проводили в лабораторной карбонизационной камере в течение 6 часов в газовой среде с концентрацией  $\text{CO}_2$  порядка 80 % об. После завершения времени карбонизации гранулы высушивали до постоянной массы и определяли их физико-механические характеристики в соответствии с ГОСТ 8269.0-97 и ГОСТ 3344-83. Общий вид полученного карбонизированного заполнителя из шлаков проб ОЭМК и ЧерМК представлен на рисунке 2.



а



б

Рисунок 2. Общий вид карбонизированного заполнителя:  
а – из шлака ОЭМК; б – из шлака ЧерМК.

Полученный заполнитель представляет собой зернистый материал из хорошо сформированных гранул сферической формы, коэффициент формы которых варьируется в пределах  $0,9 \div 1$ . Исследования толщины карбонизированного слоя в гранулах с помощью распыления на скол карбонизированной гранулы раствора фенолфталеина показали, что гранулы размером в поперечнике до 10 мм практически не окрашиваются, что говорит о равномерной карбонизации по всему сечению гранулы. Гранулы размером 10-20 мм имеют четко различимый внешний карбонизированный слой толщиной 6-7 мм и внутреннее ядро из исходного шлака, не вступившего в реакцию карбонизации. Результаты определения некоторых физико-механических характеристик карбонизированного заполнителя из сталеплавильных шлаков, показали следующие данные (для проб ОЭМК / ЧерМК соответственно):

- средняя плотность гранул – 2,1 / 2,6 г/см<sup>3</sup>; общая пористость гранул – 33,8 / 22,8 %; насыпная плотность – 1170 / 1425 кг/м<sup>3</sup>; количество связанного СО<sub>2</sub> – 7,8 / 5,2 % мас.

В связи с полученной неоднородной структурой гранул в зависимости от их размера, марку по дробимости определяли для отдельных фракций 5-10 и 10-20 мм как полностью и частично карбонизированные соответственно. Результаты определения потери массы при испытании на дробимость и определение марки по дробимости в соответствии с ГОСТ 3344 (для проб ОЭМК / ЧерМК соответственно):

- марка по дробимости для фракции 5-10 мм – М1000 / М1200;
- марка по дробимости для фракции 10-20 мм – М600 / М800.

Как видно из представленных опытных данных, прочность зерен фракции 5-10 мм выше прочности зёрен фракции 10-20 мм, что связано с большей степенью карбонизации малых зёрен.

Полученные предварительные результаты испытаний показывают, что образцы заполнителя фракций 5-10 и 10-20 мм, полученные из исследуемых шлаков ОЭМК и ЧерМК пригодны для строительства автомобильных дорог (покрытий, оснований, дополнительных слоёв оснований и других конструктивных слоёв дорожной одежды) в соответствии с ГОСТ 3344-83, а также в качестве заполнителей для тяжелого бетона и других видов

строительных работ в соответствии с ГОСТ 8269.0-97.

Также следует отметить, что оптимизация условий гранулирования (влажность) исходных гранул и их последующего принудительного карбонатного твердения (неподвижный, динамический режимы) будет способствовать более максимальной степени карбонизации гранул, и как следствие, еще большему улучшению физико-механических характеристик гранул. Проведенные исследования и полученные начальные положительные результаты будут служить основой для проведения дальнейших, более глубоких исследований в этой области заключающихся в оптимизации способов и режимов получения гранул, условий их принудительного карбонатного твердения, исследования структурообразования материала гранул в процессе карбонатного твердения, эффективного применения в производстве бетонов и дорожном строительстве.

#### **Список литературы:**

1. Marijn Antoine Boone, Peter Nielsen, Tim De Kock, Veerle Cnudde Monitoring of stainless-steel slag carbonation using X-ray computed microtomography. Environmental Science & Technology 48(1):674-80, January 2014.
2. Zaid Ghouleh, Rodrick I.L.Guthrie, Yixin Shao High-strength KOBM steel slag binder activated by carbonation. Construction and Building Materials Volume 99, 30 November 2015, Pages 175-183.
3. P. S. Humbert, J. P. Castro-Gomes, H. Savastano, Clinker-free CO<sub>2</sub> cured steel slag based binder: Optimal conditions and potential applications. Construction and Building Materials, Volume 210, 20 June 2019, Pages 413-421.
4. Karen L.Scrivener, Vanderley M.John, Ellis M.Gartner, Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO<sub>2</sub> cement-based materials industry. Cement and Concrete Research, Volume 114, December 2018, Pages 2-26.
5. Pedro S. Humbert, João Castro-Gomes, CO<sub>2</sub> activated steel slag-based materials: A review. Journal of Cleaner Production, Volume 208, 20 January 2019, Pages 448-457.
6. Zaid Ghouleh, Roderick I. L. Guthrie, Yixin Shao, Production of carbonate aggregates using steel slag and carbon dioxide for carbon-negative concrete. Journal of CO<sub>2</sub> Utilization, Volume 18, March 2017, Pages 125-138.
7. Seonhye Lee, Ji-Whan Kim, Soochun Chae, Jun-Hwan Bang, Seung-Woo Lee, CO<sub>2</sub> sequestration technology through mineral carbonation: An extraction and carbonation of blast slag. Journal of CO<sub>2</sub> Utilization, Volume 16, December 2016, Pages 336-345.

**Содомон Марк**

## **ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БИОСТОЙКОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ СТЕБЛЕЙ БОРЩЕВИКА СОСНОСКОГО**

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет», Москва, Россия, Кафедра строительного  
материаловедения*

**Аннотация:** Проведенное исследование имело целью установить возможность использования модифицированных измельченных стеблей борщевика Сосновского для получения биостойких композиционных материалов с теплофизическими свойствами, отвечающими требованиям стандартов для использования в качестве теплоизоляции в строительстве. Композиты, полученные с использованием модифицированных измельченных стеблей борщевика Сосновского и различных органополимерных связующих, обладают 100% биостабильностью и наилучшими теплофизическими свойствами. Температура модифицирования и сушки составляет 25°C, оптимальная концентрация модификатора - 30% моноэтаноламин(N→В)-тригидроксибората.

**Ключевые слова:** борщевик Сосновского; биостойкий материал; теплофизические свойства; органополимерные связующее; моноэтаноламин(N→В)-тригидроксибората.

Борщевик Сосновского является инвазивным растением, которое может серьезно вредить экосистемам. Он характеризуется быстрым ростом и конкурирует с местными видами растений, часто вытесняя их [1-3]. В разных странах ведется борьба с распространением этого растения. Однако ученые ищут способы потенциального использования биомассы данного растения в различных отраслях, включая машиностроение, целлюлозно-бумажное производство, медицину и фармацевтику [4-6]. Особый интерес вызвала пористая макроструктура стеблей борщевика, которая привлекла внимание исследователей как возможного компонента для улучшения бетона. Добавка из борщевика способна снизить теплопроводность бетона и выступает как самостоятельный теплоизоляционный материал [7]. Также стоит отметить, что на поверхностях стеблей растения часто развивается активная грибковая флора при влажных условиях. В связи с этим необходимо проводить предварительную обработку антисептиками. Использование моноэтаноламин(N→В)-тригидроксибората (МЭАТГБ) для модификации клеточных стенок стеблей борщевика обеспечивает долгосрочную биостойкость на высоком уровне.

Целью исследования является оценка теплофизических свойств биостойкого теплоизоляционного материала на основе модифицированных измельченных стеблей борщевика Сосновского и органополимерного связующего. Для реализации поставленной цели планировалось решить следующие задачи: создание композитных материалов на основе стеблей борщевика Сосновского путём модификации моноэтаноламин(N→В)-тригидроксиборатом с разными полимерными связующими; установление основных закономерностей изменения теплофизических свойств ТИМ на основе модифицированного БС и органополимерных связующих в зависимости от состава и структуры полученных композитов; оценка биостойкости полученных композитных материалов на основе модифицированного БС и органополимерных связующих.

В ряде исследований активно применяются растительные материалы для разработки инновационных продуктов, включая их использование в качестве теплоизоляционных материалов. В этом контексте, исследование потенциала использования растительных остатков, таких как кора сосны и солома злаковых культур, в качестве сырья для производства плитных материалов, проведенное с упоминанием источников [8, 9], выявило, что данная категория материалов характеризуется недостаточной прочностью. В свете этого, для создания плитных материалов специфического назначения, целесообразным может быть использование пресс-массы на основе модифицированных недревесных сырьевых компонентов, как предложено в источнике [10].

В нашей работе в качестве растительного сырья были использованы измельченные стебли борщевика Сосновского, модифицированные моноэтаноламин(N→В)-тригидроксидом (МЭАТГБ). В качестве связующих рассматривали поливинилацетат (ПВА), полиуретановый связующий (ПУ) и казеиновый клей (КК).

Для получения различных композитов в лаборатории использовались два типа железных форм размерами 100x100xh мм (с h - толщиной панели) для измерения коэффициента теплопроводности и 50x50x50 мм для определения прочности на сжатие при 10% линейной деформации, и наконец, мы использовали трехгнездовую форму (160x40x40) мм<sup>3</sup> для изготовления образцов при испытании на изгиб. Смесь связующего с армированием должна быть уплотнена до высыхания после введения в формы. Сушка композитов проводится в сушильном шкафу при 60°C до постоянной массы, что для композитов размером 100x100xh мм составляет от 24 до 48 часов, а для композитов размерам 50x50x50 мм и 160x40x40 мм, сушка проводится в сушильном шкафу при 105°C в течение 3 часов до достижения постоянной массы. Определение плотности проводится по ГОСТ 17177-94, испытания прочности на сжатие и изгиб - по ГОСТ 17177-94, а теплопроводность оценивали по ГОСТ 7076-99 с использованием электронного измерителя теплопроводности ИТП-МГ4. Наконец оценка биостойкости композитов после 28 суток испытаний проводились на грибостойкость по ГОСТ 9.048-89 [11-13].

Биостойкие композиты на основе сырья и полимерных связующих с различной структурой представлены на рисунке 1:



Рисунок 1 – Внешний вид образцов: а – на основе модифицированного БС; б – на основе не модифицированного БС (1 – размер частиц БС 1 мм; 2 – 5 мм; 3 – 10 мм.) [12]

Из таблицы 1 можно отметить, что при использовании этих разных связующих обладают достаточная адгезионная прочность согласно требованиям ГОСТ 32299-2013 (ISO 4624: 2002)) и наилучшим биостойким композитом по показателю по адгезионной прочности является биостойкий композитный материал с использованием (БСм+ПУ).

Таблица 1 - Результаты испытаний по определению адгезионной прочности (ГОСТ 32299-2013 (ISO 4624: 2002))

Образцы	Соотношение компонентов (П:БСм)	Адгезионная прочность (МПа)
БСм +ПУ	1:3	0,117
	1,1:1	0,213
БСм +ПВА	1:3	0,045
	1,1:1	0,104
БСм +КК	1:3	0,100
	1,1:1	0,132

Таблица 2 - Результаты измерения водопоглощения (ГОСТ 17177-94) при использовании ПУ в качестве связующего

Образцы	Биостойкий композит на основе БСм+ПУ		Биостойкий композит на основе БС+ПУ	
	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение после 24 ч, %	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение после 24 ч, %
Ср. значение	196,0	21,49	144,5	29,46

Из представленных данных из таблицы 3 очевидно, что при использовании полиуретанового связующего для создания биостойкого композита на основе БСм уменьшается водопоглощение композита по сравнению с контрольного образца. Это объяснит тем, что использование модификатора занимает клеточной стенок стеблей борщевика Сосновского.

Таблица 3 - Плотность и коэффициент теплопроводности композитов различного состава					
№	Условное обозначение*	Плотность, ρ		Коэффициент теплопроводности, λ	
		ρ(кг/м <sup>3</sup> )	Классификация по ГОСТ 16381	λ [Вт/(м·°С)]	Классификация по ГОСТ 16381
1	БС1ПУ	229	Средней плотности D250	0,057	Малотеплопроводные класс А
2	БС5ПУ	142	Легкие D150	0,050	Малотеплопроводные класс А
3	БС10ПУ	116	Легкие D125	0,048	Малотеплопроводные класс А
4	БСм1ПУ	323	Средней плотности D325	0,066	Средней теплопроводности класс Б
5	БСм5ПУ	182	Средней плотности D200	0,055	Малотеплопроводные класс А
6	БСм10ПУ	153	Легкие D175	0,053	Малотеплопроводные класс А

7	БС1ПВА	272	Средней плотности D275	0,056	Малотеплопроводные класс А
8	БС5ПВА	150	Легкие D150	0,055	Малотеплопроводные класс А
9	БС10ПВА	129	Легкие D150	0,049	Малотеплопроводные класс А
10	БСм1ПВА	364	Плотные D400	0,081	Средней теплопроводности класс Б
11	БСм5ПВА	206	Средней плотности D225	0,062	Средней теплопроводности класс Б
12	БСм10ПВА	196	Средней плотности D200	0,055	Малотеплопроводные класс А
13	БС1КК	284	Средней плотности D300	0,060	алотеплопроводные класс А
14	БС5КК	123	Легкие D125	0,054	Малотеплопроводные класс А
15	БС10КК	102	Легкие D125	0,050	Малотеплопроводные класс А
16	БСм1КК	355	Плотные D400	0,078	Средней теплопроводности класс Б
17	БСм5КК	201	Средней плотности D225	0,064	Средней теплопроводности класс Б
18	БСм10КК	164	Легкие D175	0,058	Малотеплопроводные класс А

В таблицах 4 и 5 приведены результаты исследования прочности на сжатие и на изгиб полученных композитов и биостойкости композитов после 28 суток испытаний на грибостойкость по ГОСТ 9.048-89.

Таблица 4 - Прочности на сжатие и на изгиб полученных композитов

№ пп	Условное обозначение	Прочности на сжатие, МПа	№ пп	Условное обозначение	Прочности на изгибе МПа
1	БС5ПУ	0,41			
2	БС5мПУ	0,40	1		
3	БС5ПВА	0,22			
4	БС5мПВА	0,24	2		
5	БС5КК	0,23			
6	БС5мКК	0,20	3		

Все изготовленные материалы имеют:

- коэффициенты теплопроводности  $\lambda \leq 0,175$  Вт/(м°С);
- среднюю плотность  $\rho_m \leq 500$  кг/м<sup>3</sup>.

Это объяснит, что все материалы является теплоизоляционными материалам. Далее материалы (модифицированные и немодифицированные) имеют похожие теплопроводности друг на друга, но надо отметить, что средняя теплопроводность при использовании полиуретанового связующего с модифицированных измельченных стеблей борщевика 0,055 Вт/(м°С) меньше,

чем средняя теплопроводность при использовании ПВА связующего и средняя теплопроводность при использовании казеинового клея.

Таблица 5 – Результаты оценки биостойкости композитов после 28 суток испытаний на грибостойкость по ГОСТ 9.048-89 [12]

№ п/п	Наименование образца	Внешний вид после испытаний	Балл
1	БСм + ПУ	Визуально и под микроскопом отсутствие конидий и проросших спор грибов.	0
2	БС + ПУ	25% поверхности обросло плесневыми грибами, преимущественно <i>Aspergillus niger</i> .	4
3	БСм + ПВА	Визуально и под микроскопом отсутствие конидий и проросших спор грибов.	0
4	БС + ПВА	Под микроскопом видны проросшие споры и едва развитый мицелий.	1
5	БСм + КК	Визуально и под микроскопом отсутствие конидий и проросших спор грибов.	0
6	БС + КК	Сплошной рост мицелия и спороношение, преимущественно <i>Penicillium funiculosum</i>	5

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что все биостойкие композиты на основе модифицированных измельченных стеблей борщевика Сосновского и разных связующих обладают приемлемыми теплофизическими свойствами в соответствии с действующими стандартами на материалы, предназначенные для теплоизоляции. Среди этих теплофизических свойств коэффициенты теплопроводности, как и плотность, прочности на сжатие и на изгиб, значительно ниже максимального значения, предусмотренного стандартами.

#### Список литературы:

1. Фомина И.С., Пономаренко Н.В. БОРЩЕВИК СОСНОВСКОГО НОВЫЙ ИНВАЗИОННЫЙ ВИД //Вавиловские чтения" Наследие Н.И. Вавилова в современной науке". – 2019. – С. 152-155.
2. Ткаченко К.Г., Краснов А.А. Борщевик Сосновского: экологическая проблема или сельскохозяйственная культура будущего // Бюллетень Ботанического сада-института ДВО РАН. – 2018. – Т. 20. – С. 1-22.
3. Доржиев С.С., Патеева И.Б. Энергоресурсосберегающая технология получения биоэтанола из зеленой массы растений рода *Heracleum* // Ползуновский вестник. – 2011. – №. 2-2. – С. 251-255.
4. Бобкова Е.А. и др. Исследование возможности получения целлюлозы из стеблей борщевика Сосновского бисульфитным способом //Рецензент: доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой целлюлозно-бумажных и лесохимических производств ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени МВ Ломоносова». – 2022. – С. 24.
5. Вураско А.В., Агеев М.А., Сиваков В.П. Получение и свойства технической целлюлозы из борщевика окислительно-органосольвентным способом // Химия растительного сырья. – 2022. – №. 1. – С. 289-298.



6. Доржиев С.С., Базарова Е.Г. Биоэтанол из зеленой массы борщевика Сосновского // Инновации в сельском хозяйстве. – 2012. – №. 2. – С. 10-16.
7. Мусорина Т. А. и др. Теплотехнические свойства энергоэффективного материала на основе растительной добавки (сухой борщевик) // Вестник МГСУ. – 2019. – Т. 14. – №. 12 (135). – С. 1555-1571.
8. Ширяев Д.В. и др. Изучение процесса изготовления пористых плитных материалов из соломы пшеницы //Журнал прикладной химии. – 2012. – Т. 85. – №. 1. – С. 134-137.
9. Мусько Н.П., Ширяев Д.В., Шахмаев Е.С. Пористые плитные материалы из модифицированных методом взрывного автогидролиза растительных отходов // Ползуновский вестник. – 2016. – №. 2. – С. 198-201.
10. Мусько Н.П., Ширяев Д.В., Матвеев К.А. Теплоизоляционные плитные материалы на основе модифицированного растительного сырья // Ползуновский вестник. – 2015. – №. 4-2. – С. 79-81.
11. Степина И. В. и др. Повышение биостойкости стеблей борщевика Сосновского в качестве сырья для производства строительных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2021. – №. 2. – С. 746.
12. Степина И. В., Содомон М. Биостойкий растительный композит для теплоизоляции //Строительство и реконструкция. – 2022. – №. 5. – С. 115-123.
13. Содомон М., Степина И.В. Теплофизические свойства композитного материала на основе растительного сырья// Техника и технология силикатов. – 2022. – Т. 29, № 4. – С. 342-349.

УДК 001.894

**Федюк Роман Сергеевич<sup>1</sup>, Павликов Сергей Николаевич<sup>2</sup>**  
**МЕТОДИКА РАЗРЕШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ**  
**ПРОТИВОРЕЧИЙ**

<sup>1</sup>*Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край,  
г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10,*

<sup>2</sup>*Владивостокский государственный университет, Россия, Приморский  
край, 690014, Владивосток, ул. Гоголя, 41*

**Аннотация:** В работе приведен анализ методов подготовки интеллектуальных решений технических противоречий. Аппаратно-программные комплексы с искусственным интеллектом получили широкое распространение в решении различных задач. В технических науках имеются особенности, которые затрудняют поиск решений. При этом к техническим решениям предъявляются особые требования. Предметом исследования является система разрешения технических противоречий. Объектом - технология разрешения технических противоречий.

Проблема – ни один из существующих методов не гарантирует успешного решения технических проблем. Требуется методика применения ряда методов с последующим обобщением полученных вариантов и выработки рекомендаций по применению их и общего коллективного решения в заданных условиях и ограничениях. Новизна заключается в адаптации методов к условиям коллективной подготовки управленческого решения. Практическая значимость заключается в возможности расширить спектр методов совместной работы в условиях высокой неопределенности и нечетко поставленного запроса на решение технического противоречия. Неопределенность снижается в процессе поиска решения и уточнения желаемого результата.

**Ключевые слова:** методика, метод, эффективность, решение, техническое противоречие.

## **METHODOLOGY FOR RESOLVING TECHNICAL CONTRADICTIONS**

Fediuk Roman Sergeevich<sup>1</sup>, Pavlikov Sergey Nikolaevich<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Far Eastern Federal University, 690922, Primorsky Krai, Vladivostok, Russian Island, Ajax village, 10,

<sup>2</sup>Vladivostok State University, 690014, Vladivostok, Gogol str., 41

**Abstract:** The paper provides an analysis of methods for preparing intellectual solutions to technical contradictions. Hardware and software systems with artificial intelligence are widely used in solving various problems. In the technical sciences, there are features that make it difficult to find solutions. At the same time, special requirements are imposed on technical solutions. The subject of the research is the system of resolving technical contradictions. The object is the technology of resolving technical contradictions.

Problem – none of the existing methods guarantees a successful solution to technical problems. A methodology is required for applying a number of methods, followed by a generalization of the options obtained and the development of recommendations for the application of them and the general collective solution under given conditions and limitations. The novelty lies in the adaptation of methods to the conditions of collective preparation of a management decision. The practical significance lies in the ability to expand the range of methods of joint work in conditions of high uncertainty and an unclear request for solving a technical contradiction. Uncertainty is reduced in the process of finding a solution and clarifying the desired result.

**Keywords:**

Keywords: methodology, method, efficiency, solution, technical contradiction.

**Введение.**

В работе приведен анализ методов подготовки интеллектуальных решений технических противоречий. Аппаратно-программные комплексы с искусственным интеллектом получили широкое распространение в решении различных задач [1 - 3]. В технических науках имеются особенности, которые затрудняют поиск решений. При этом к техническим решениям предъявляются особые требования. Предметом исследования является система разрешения технических противоречий. Объектом - технология разрешения технических противоречий.

Проблема – ни один из существующих методов не гарантирует успешного решения технических проблем. Требуется методика применения ряда методов с последующим обобщением полученных вариантов и выработки рекомендаций по применению их и общего коллективного решения в заданных условиях и ограничениях. Новизна заключается в адаптации методов к условиям коллективной подготовки управленческого решения. Практическая значимость заключается в возможности расширить спектр методов совместной работы в условиях высокой неопределенности и нечетко поставленного запроса на решение технического противоречия. Неопределенность снижается в процессе поиска решения и уточнения желаемого результата.

В работе [4] приведено описание системы семантического анализа и отбора (САО) документов для получения новых вариантов решения задач.

Система САО документов состоит из следующих элементов: компьютера, машиночитаемого носителя, блока считывания, средства связи с Интернет и базами данных (БД), базами знаний (БЗ), а также процессор. Процессор состоит из блоков подготовки текстов для моделирования; получения анализируемых структур; синтеза ключевых слов/фраз; синтеза рефератов; БЗ и БД и средств взаимодействия с экспертом. Информационный обмен формализован внутренним протоколом.

Система по запросу пользователя моделирует задание в виде структуры с выделением ключевых понятий и фраз, на основе которых в БД и Интернет подбирает подходящие исходные тексты-кандидаты. Из которых формируются логические структуры [4], сравнение которых со структурой запроса локализует область решения. На основе наиболее частых ключевых слов, фраз и правил составляются рефераты отобранных текстов. В системе заложена функция синтеза новых знаний в виде логических структур с учетом словарей синонимов компонентов структур [4]. Недостатком данной системы является значительные затраты вычислительных ресурсов при обработке каждого запроса. Однако система САО не гарантирует формирование управленческого решения (УР).

В описании патента РФ №2480826 рассмотрена система управления знаниями для разрешения конфликтных ситуаций. Данная система содержит блоки: создания, организации и локализации знаний, а также блоки позиционирования и повторного использования знаний. Объединяет указанные блоки блок системной интеграции. Система обладает повышенным качеством визуализации, решаемой ситуаций. Однако качество решения не гарантируется.

Известна интеллектуальная информационная система выбора знаний [5], обеспечивающая предоставление доступа к предварительно систематизированным знаниям, полученным путем анализа опытных данных, источников информации и наглядного представления результатов для решения задачи экспертом. Система зависит от эксперта, в результате эксперт и система обучаются и накапливают знания в процессе диалога при помощи поочередных вопросов и ответов. Недостатком является высокая зависимость результативности от компетенций эксперта.

Известна «Изобретающая машина», описанная в работе [6]. В состав данного технического решения входят: компьютер, программный продукт, эксперт и линии связи для соединения с БД и БЗ. Поисковая система с расширенными функциями позволяет с помощью семантического анализа получить варианты кандидаты для решения задачи.

В работе системы [5] используется гибридная экспертиза (ГЭС).

Достоинства ГЭС основаны на использовании визуальных образов и БЗ с техническими законами, явлениями и эффектами из разных областей науки и техники, а также оснащена несколькими методами решения изобретательских задач. Недостатками данного технического решения являются высокая зависимость результатов от индивидуальных качеств эксперта со свойственной ему ограниченностью набора типовых правил и приемов разрешения технических противоречий.

В материалах патента [7] описана технология поиска методов разрешения технических противоречий, основанная на анализе известных примеров технических противоречиях из разных областей науки и техники. Данная система формализует запрос, формируют критерии для обучения нейронной сети (НС). Происходит формирование логических связей с построением маршрута движения конструирования проектируемой системы от физических законов к желаемому эффекту. В результате собирается совокупность матриц: вход – процесс – выход в среде БД и БЗ. Основным звеном является нейронная сеть (НС). Достоинством и недостатком системы является необходимость обучения НС, до обучения и так до бесконечности.

Анализ приведенных технологий показал ряд недостатков и наличие потенциала развития.

Целью исследования является разработка технологии, позволяющей находить разрешение сложных технических противоречий с уменьшением зависимости результата от индивидуальных особенностей эксперта.

Поиску перспектив развития способствовали критические вопросы: условия смены эксперта, контроль и согласование формируемых алгоритмов, необходимость наличия связи с актуализированными БД и БЗ, частные и групповые решения, цепи обратной связи в процессе адаптации к меняющимся условиям, анализ этих изменений, контроль адекватности экспертов, эффективность полученных решений, количество уровней порогов принятия решений и правила их применения, количество экспертов, период устаревания настроек, БД, БЗ и др.

Сущность одного из вариантов методики, реализующей часть перечисленных требований поясняется рисунком 1, на котором обозначены:

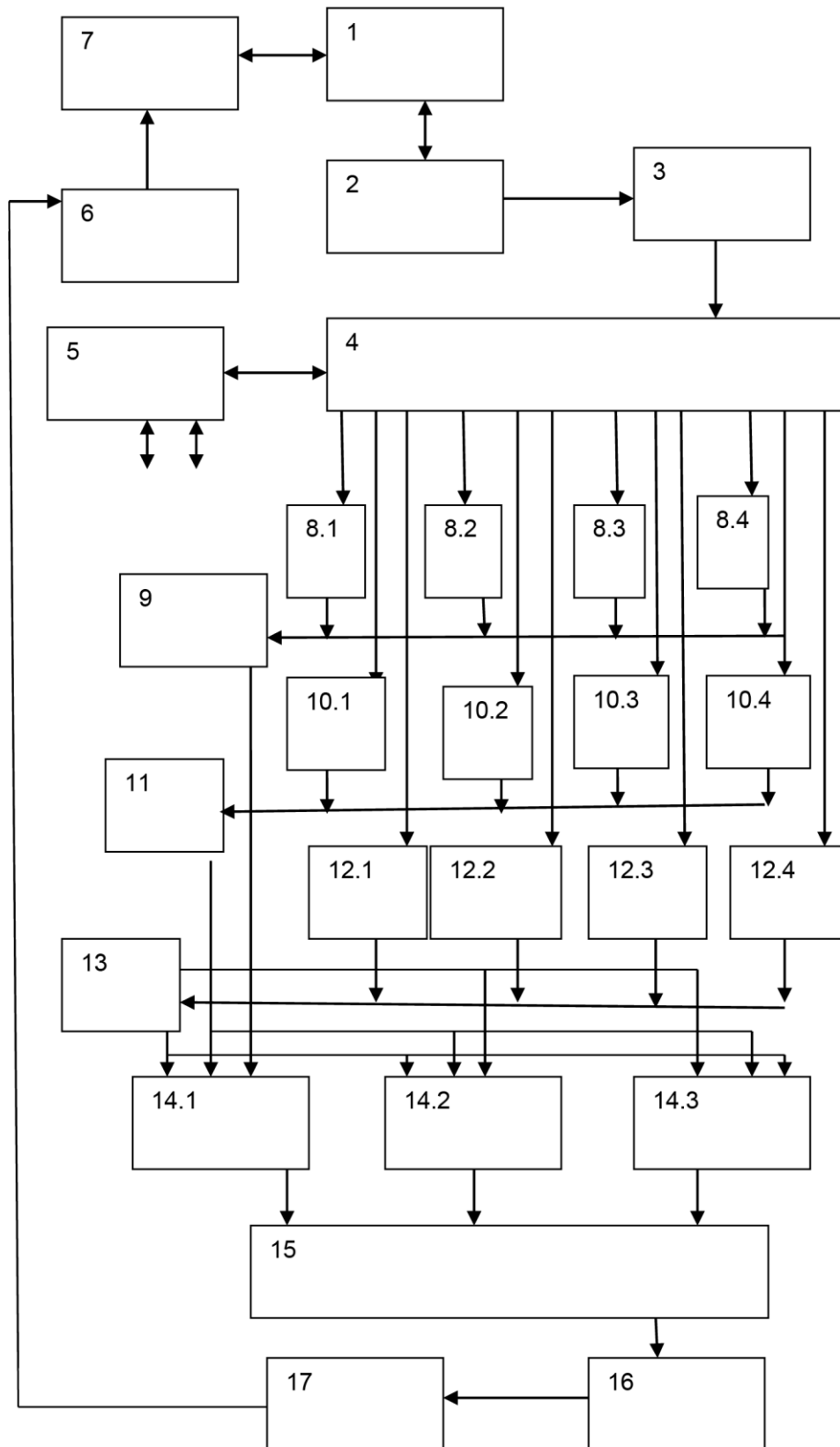


Рисунок 1 - Один из вариантов методики

- 1 – формирование заказчиком задачи;
- 2 – обработка и уточнение поставленной задачи;
- 3 – формирование запроса;
- 4 – формирование подсистемы «логической машины», состоящей из матрицы четыре столбца и 3 строки в узлах которой расположены виртуальные машины принятия частных решений с индивидуальной настройкой критериев, правил, методов: поиска, селекции, структурирования и формирования управленческого решения;
- 5 – базы данных и знаний: качественных параметров, правил формирования интегрированных критериев, физических, математических и др. законов, правил и явлений, моделей и методов, нормативных документов Роспатента и др.;
- 6 – прогнозирование соответствия полученных результатов поставленной задаче и корректирующих указаний;
- 7 – согласование с заказчиком;
- 8, 10, 12 – виртуальные машины частных решений соответственно первого, второго и третьего уровней;
- 9, 11, 13 – выработка коллективных решения соответствующих уровней;
- 14 – обоснование соответствия коллективных решений критериям реализуемости и др.;
- 15 – оценка эффективности вариантов;
- 16 – выработка рекомендаций применения вариантов;
- 17 – формирование решения с оценкой эффективности и рекомендациями.

Условия завершения или продолжения работы данной методик определяется в блоке 1 и уточняется в процессе выработки многоуровневых частных решений. Требования уровней задаются в исходных данных, формируемых с описанием задачи. Например, первый уровень соответствует методу, второй – системе, устройств, третий – программе для ЭВМ. Процедуры выработки коллективных решений рекомендуется реализовать по принципу «три из четырех». В процессе обучения по заданным задачам с известными решениями виртуальные машины частных решений оцениваются и их успешность учитывается при принятии коллективного решения по нарабатанному «весу» предыдущих решений. Рассмотренный вариант методики может быть дополнен или сокращен, в зависимости от условий и ограничений: допустимым ресурсам, методов принятия частных решений, критериев эффективности и др. Новизна заключается в адаптации методов к условиям коллективной подготовки управленческого решения. Практическая значимость заключается в возможности расширить спектр методов совместной работы в условиях высокой неопределенности и нечетко поставленного запроса на решение технического противоречия.

Таким образом, предложено техническое решение, основанное на применении виртуальных машин с использованием теории нечетких множеств и статистической обработки с учетом процессов обучения.

### **Список литературы:**

1. Рузавин Г.И. Методология научного исследования: Учеб. Пособие для вузов. – М.:ЮНИТИ-ДАНА, 1999. – 317с.
2. Цветков А.Н. Методы решения творческих задач в менеджменте: учебно-практическое пособие/ А.Н. Цветков, В.Е. Зарембо. – М.: КНОРУС, 2011 – 152 с.
3. Альтшуллер Г. Найти идею: Введение в ТРИЗ – теорию решения изобретательских задач /Г. Альтшуллер. – 8-е изд. –М.: Альпина Паблишер, 2015. – 402с.
4. «Document semantic analysis/ selection with knowledge creativity capability)), см. пат. US 2001/0014852.
5. Интеллектуальная информационная система выбора знаний «Оптимэль» по патенту РФ №2564641.
6. Изобретающая машина. В.М. Цуриков. Проект «Изобретающая машина». Современное состояние и реальные перспективы. - Научно-практическая конференция «Теория и практика обучения техническому творчеству», Миасс, 23-27 мая, 1988. - С. 37-43.
7. Способ поиска методов разрешения технических противоречий, патент №2707917 опубликован 02.12.2019, Бюл. №34.

### **References:**

1. Ruzavin G.I. Methodology of scientific research: Textbook. Manual for universities. – М.: UNITY-DANA, 1999. – 317 p.
2. Tsvetkov A.N. Methods for solving creative problems in management: a teaching aid / A.N. Tsvetkov, V.E. Zarembo. – М.: KNORUS, 2011 – 152 p.
3. Altshuller G. Find an idea: Introduction to TRIZ – the theory of solving inventive problems / G. Altshuller. – 8th ed. Moscow: Alpina Publisher, 2015. – 402 p.
4. "Document semantic analysis / selection with knowledge creativity capability)), see pat. US 2001/0014852.
5. Intelligent information system for the selection of knowledge "Optimel" according to the patent of the Russian Federation No. 2564641.
6. Inventing machine V.M. Curikov. The Inventing Machine Project. Current state and real prospects. - Scientific and Practical Conference "Theory and Practice of Teaching Technical Creativity", Miass, May 23-27, 1988. - P. 37-43.
7. The method for finding methods for resolving technical contradictions, patent No. 2707917 published on 02.12.2019, Bulletin. №34.

**Отман Азми С.А., Чернышева Наталья Васильевна**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДООТТАЛКИВАЮЩИХ СВОЙСТВ**  
**ШТУКАТУРНЫХ РАСТВОРОВ НА КГВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ**  
**ОРГАНИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ**

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46*

**Аннотация.** В данной статье представлены результаты определения краевого угла смачивания поверхностей затвердевших штукатурных растворов на композиционном гипсовом вяжущем (КГВ), модифицированных органическими и неорганическими компонентами. Результаты проведенных исследований позволяют утверждать, что количество заполнителя, а также наличие и вид суперпластификатора в составе штукатурного раствора на КГВ, влияют на значения краевого угла смачивания. С увеличением количества заполнителя в составе штукатурного раствора краевой угол смачивания уменьшается в среднем на 16,5°. Присутствие органической добавки MELLFLUX 1641 F в концентрации 0,2 % в большей степени приводит к повышению гидрофобности поверхности штукатурного раствора на основе КГВ по сравнению с добавкой суперпластификатора MAPF Forbo-Crete S 010.

**Ключевые слова:** штукатурный раствор, угол смачивания, суперпластификаторы

Водоотталкивающие свойства штукатурного раствора на основе композиционного гипсового вяжущего (КГВ) необходимы при их использовании для наружной отделки фасадов зданий и сооружений [1-3].

При попадании воды на поверхность штукатурного раствора может происходить смачивание либо не смачивание его поверхности. Смачивание – это проявление межмолекулярного взаимодействия на границе соприкосновения трех фаз: твердого тела, жидкости и газа (или другой жидкости, не смачивающейся с первой), выражающееся в растекании жидкости на поверхности твердого тела (рисунок 1, а).

Степень смачивания [4-9] поверхности оценивается по показателю краевого угла смачивания  $\theta$  (угол тета), образованного между твердой поверхностью и касательной, проведенной к поверхности жидкости, через точку (точка А) соприкосновения трех сред – твердой, жидкой и воздушной (рисунок 1, б).

На единицу длины контура капли, имевшего вид окружности, действуют следующие силы:

$\sigma_{тж}$  – сила поверхностного натяжения между твердым телом и жидкостью;

$\sigma_{жг}$  – сила поверхностного натяжения между жидкостью и газом;

$\sigma_{тг}$  – сила поверхностного натяжения по границе между твердым телом и газом.



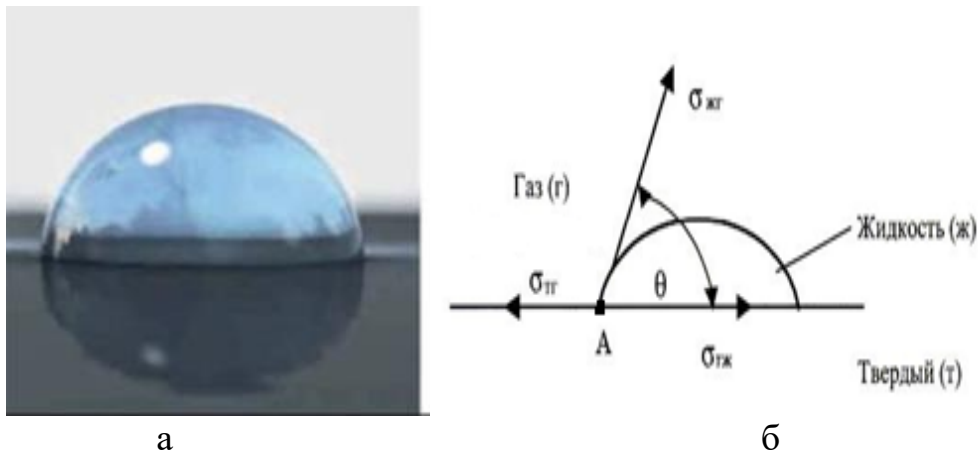


Рисунок 1 - Изображение капли жидкости (а); краевой угол смачивания (б) [9]

На величину угла смачивания основное влияние оказывают адгезионные силы, выражающие степень притяжения молекул жидкости и твердого тела, а также когезионные силы, действующие на взаимное притяжение молекул воды внутри капли. От соотношения этих сил зависит степень смачиваемости поверхности, которая может быть гидрофильной, хорошо смачиваемой водой (при полном смачивании поверхности угол равен 0 градусов) или гидрофобной (при попадании капли на поверхность угол смачивания превышает 90 градусов) (рисунок 2).

Для определения краевого угла смачивания был применен метод растекающейся капли, являющийся основным при определении гидрофобности или гидрофильности поверхности материала.

В качестве жидкости, смачивающей поверхность, использовали дистиллированную воду и метан.

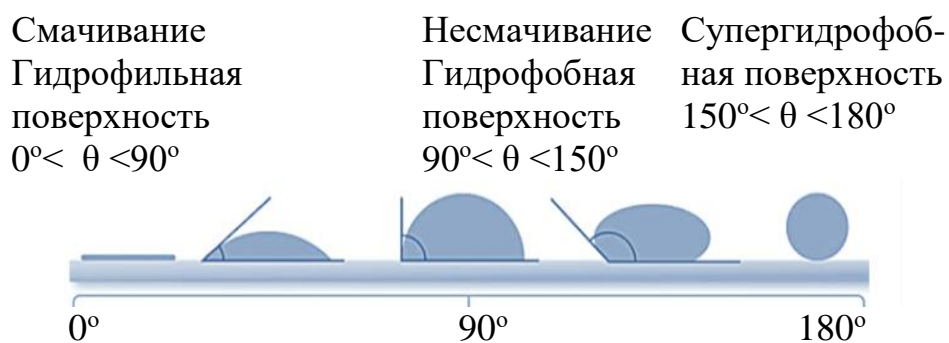


Рисунок 2. Метод лежащей капли: краевой угол смачивания [9]

Измерение краевого угла смачивания осуществляли с помощью фотофиксации методом «сидячей» капли. Для этого каплю воды наносили на горизонтальную поверхность затвердевшего штукатурного раствора на основе КГВ, после чего ее фотографировали

Составы и свойства исследуемых штукатурных растворов на КГВ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав и свойства штукатурных растворов на КГВ

№	СП-1	СП-2	КГВ : З	В/Вяз	Подвижность, мм	Начало схват, мин., с	Рсж. МПа,			Кр
							2 ч	7 сут	28 сут/сухие	
1	0.2	-	1:1.5	0.45	155	53	6,1	10,2	14.5	0,74
2	0.2	-	1:2	0.50	150	52	3.7	8,5	9,2	0,73
3	-	0.2	1:1.5	0.49	170	52	6,4	13,0	16.21	0,77
4	-	0.2	1:2	0.51	150	51	4	9,7	13,5	0,76

*Примечание.* Состав КГВ (% по массе): гипсовое вяжущее -68; цемент-10; тонкодисперсная мин. добавка (кв. песок) -20; метакаолин -0,5, известняковая пыль -1,5, замедлитель сроков схватывания Plast Retard PE -0,08; СП-1 – MAPF Forbo-Crete S 010 (0,2%); СП-2 – MELLFLUX 1641 F (0,2%).

По полученному снимку (рисунок 3). определяли краевой угол смачивания, измерение которого проводили с помощью системы KRUSS серии DSA30 (KRUSS GmbH, Германия) с применением пакета программного обеспечения.

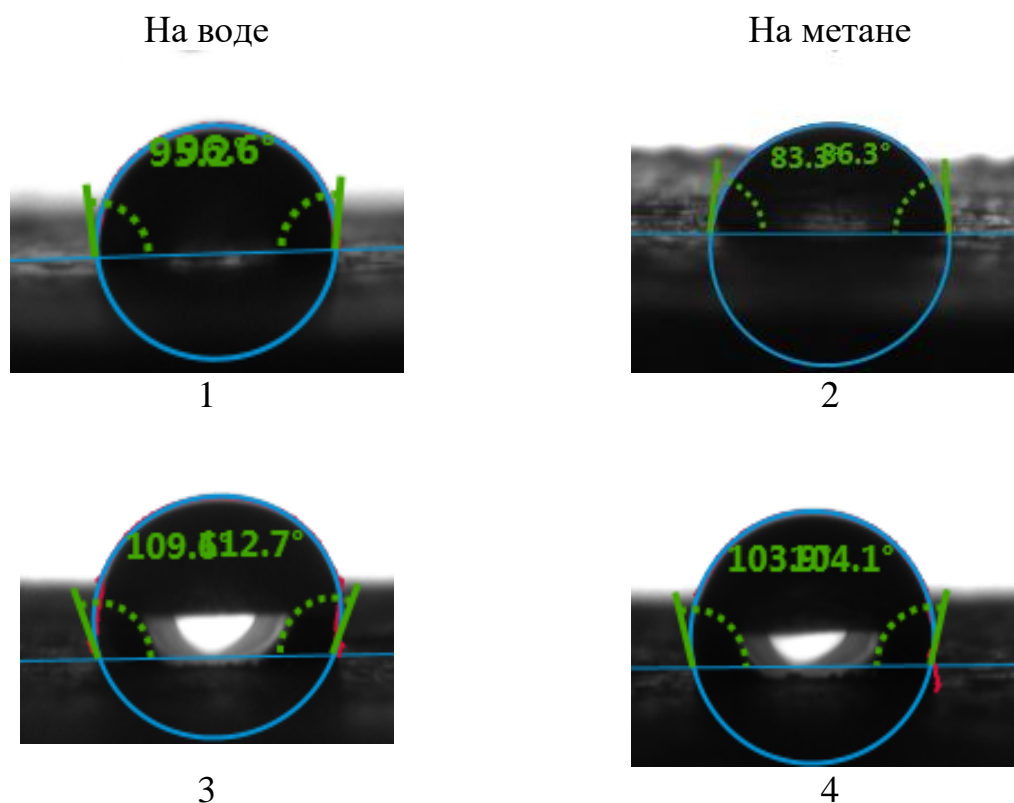


Рисунок 3 - Изображения капли дистиллированной воды на поверхности затвердевших штукатурных растворов на основе КГВ, модифицированных органическими добавками (согласно таблице 1).

При испытании проводили 5 последовательных измерений. За расчетное значение краевого угла смачивания принимали среднее значение между левым и правым углом капли.

Результаты проведенных исследований представлены в таблице 2.

В качестве мелкого заполнителя (З) использовали мелкий кварцевый песок, обогащенный песчаной фракцией отсева дробления известняка

Таблица 2 – Результаты экспериментальных исследований по определению краевого угла смачивания поверхности затвердевших штукатурных растворов на основе КГВ

Наименование показателя	Результаты измерений (составы согласно табл.1)							
	с СП MAPF Forbo-CreteS 010				с СП MELLFLUX 1641 F			
	1		2		3		4	
	КГВ:3=1:1,5		КГВ:3=1:2		КГВ:3=1:1,5		КГВ:3=1:2	
	вода	метан	вода	метан	вода	метан	вода	метан
Средний КУ (ср) [°]	<b>95,83</b>	<b>47,01</b>	<b>79,29</b>	<b>48,80</b>	<b>115,37</b>	<b>40,52</b>	<b>98,82</b>	<b>41,68</b>
Средний КУ (л) [°]	96,09	46,60	79,74	49,13	114,84	40,46	98,34	41,69
Средний КУ (п) [°]	95,56	47,42	78,84	48,47	115,89	40,58	99,30	41,68
Свободная энергия поверхности[mN/m]	<b>36,36</b>		<b>39,69</b>		<b>40,76</b>		<b>38,81</b>	
Дисперсная часть [mN/m]	35,92		34,94		39,35		38,75	
Полярная часть [mN/m]	0,44		4,75		1,41		0,06	

Результаты проведенных исследований позволяют утверждать, что количество заполнителя, а также наличие и вид суперпластификатора в составе штукатурного раствора на КГВ, влияют на значения краевого угла смачивания.

При увеличении количества мелкого заполнителя в составе штукатурного раствора на КГВ (КГВ:3=1:2 краевой угол смачивания уменьшается в среднем на 16,5°.

Присутствие органической добавки MELLFLUX 1641 F в концентрации 0,2 % в большей степени приводит к повышению гидрофобности поверхности штукатурного раствора на основе КГВ по сравнению с добавкой суперпластификатора MAPF Forbo-Crete S 010.

Гидрофобность поверхности исследуемых штукатурных растворов на КГВ, модифицированных органическими добавками, может способствовать их использованию для наружной отделки фасадов зданий и сооружений.

### Список литературы:

1. Отман Азми С.А., Чернышева Н.В., Дребезгова М.Ю., Коваленко Е.В., Масалитина С.В. Состав и свойства композиционного гипсового вяжущего повышенной водостойкости // Строительные материалы. – 2023. – № 5 – С. 81–88.
2. Чернышева Н.В., Лесовик В.С., Дребезгова М.Ю. Водостойкие гипсовые композиционные материалы с применением техногенного сырья. Белгород: Изд. БГТУ. – 2015. – 321 с.

3. Дребезгова М.Ю., Чернышева Н.В., Шаталова С.В. Композиционное гипсовое вяжущее с многокомпонентными минеральными добавками разного генезиса // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 10. – С. 27 – 34.

4. Волков В.А. Коллоидная химия. Поверхностные явления и дисперсные системы. Учебник. – 2-е изд., испр. – СПб.: Лань. – 2015. – 660 с.

5. Практикум по коллоидной химии: учебное пособие / под ред. М.И. Гельфмана. СПб.: Из-во «Лань». – 2005. – 256 с.

6. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. – М.: Мир. – 1979. – 568 с.

7. Зимон А. Д. Адгезия жидкости и смачивание. – М.: Химия. – 1974. – 416 с.

8. Сумм Б. Д., Горюнов Ю. Б. Физико-химические основы смачивания и растекания. – М.: Химия. – 1976. – 240 с.

9. [https://research-journal.org/archive/12-102-2020\\_december](https://research-journal.org/archive/12-102-2020_december) /issledovanie-kraevogo-ugla-smachivaniya-polietilenovoj-plenki-modificirovannoj organicheskimi-i-neorganicheskimi-komponentami

УДК 621.396

**Федюк Роман Сергеевич<sup>1</sup>, Крючков Андрей Николаевич<sup>2</sup>,  
Павликов Сергей Николаевич<sup>3</sup>, Копаева Екатерина Юрьевна<sup>2</sup>**  
**РАЗВИТИЕ АНТЕННЫХ СИСТЕМ С РАСШИРЕННЫМИ  
ФУНКЦИЯМИ**

<sup>1</sup>*Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край,  
г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10,*

<sup>2</sup>*Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского  
Россия, Приморский край, Владивосток, 690059, ул. Верхнепортовая, 50а,*

<sup>3</sup>*Владивостокский государственный университет, Россия, Приморский  
край, 690014, Владивосток, ул. Гоголя, 41*

**Аннотация:** В работе приведен анализ задач и технологий антенных систем, что позволило определить основные тенденции и отсутствующие процедуры над пространственно распределенными сигналами для достижения единой цели - получение нового качественного решения задачи по канализации сигналов в зоны теней и полутеней и обратной задачи получения сигналов из зоны, находящейся за пределами прямой видимости. Для этого предлагается использовать дополнительно к существующим технологиям процесс пространственной маршрутизации сигналов от источника к потребителю и обратно. Практическая значимость заключается в возможности расширить спектр пространственных траекторий и области освещенности. Таким образом реализуется технология MIMRMO: множество излучателей – множество ретрансляторов – множество приемников.

**Ключевые слова:** радиоканал, сигнал, обработка, способ, тенденции, проблемы, методы, устройства, эффективность.

**DEVELOPMENT OF ANTENNA SYSTEMS WITH  
EXPANDED FUNCTIONS**

**Fedyuk Roman Sergeevich<sup>1</sup>, Kryuchkov, Andrei Nikolaevich<sup>2</sup>,  
Pavlikov Sergey Nikolaevish<sup>2</sup>, Kopaeva Ekaterina Yuryevna<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Far Eastern Federal University, 690922, Primorsky Krai, Vladivostok, Russky  
Island, Ajax village, 10,*

<sup>2</sup>*Marine State University. G.I. Nevelsky Russia, Vladivostok, 690059,  
Verhneportovay Street, 50a,*

<sup>3</sup>*Vladivostok State University, 690014, Vladivostok, Gogol str., 41*

**Abstract.** The paper presents an analysis of the tasks and technologies of antenna systems, which made it possible to determine the main trends and missing procedures for spatially distributed signals to achieve a single goal - to obtain a new qualitative solution to the problem of channeling signals into shadow and penumbra zones and the inverse problem of obtaining signals from a zone beyond line of sight. To do this, it is proposed to use, in addition to existing technologies, the process of spatial routing of signals from the source to the consumer and vice versa. The practical significance lies in the ability to expand the range of spatial trajectories and the field of illumination. Thus. MIMRMO technology is implemented: many emitters – many repeaters – many receivers.

**Keywords:** radio channel, radio communications, signal processing method, innovation, trends, problems, methods, devices, efficiency.

**Введение.** Значимость методов использования электромагнитного спектра для различных областей науки и техники постоянно возрастает.

Поэтому большое внимание уделяется исследованию свойств, возможностей, достоинств и недостатков антенн и антенных систем (АС), без которых сопряжение радиоэлектронных средств (РС) со средой неконтролируемо. Ключевым вопросом являются анализ технологии согласования средств информационного взаимодействия друг с другом через среду или последовательность сред.

В принципах открытых информационных систем (ОИС) упор сделан с перекосом в область цифровых технологий, хотя известно, что не по всем критериям цифровая обработка лучше аналоговой.

Время доказывает это положение тем, что вместо 1 уровня в 7 уровневой модели ОИС многими исследователями разрабатываются не менее десяти уровней физических преобразований. Такой подход имеет значительно больший вес в повышении эффективности РС за счет АС [1].

В таблице 1 приведен расширенный перечень функций для физического уровня модели OSI. Как и в описании функций OSI в таблице приведены укрупненные функции реализуемые некоторой совокупностей подуровней.

Вернемся к перечню задач, решаемых антеннами, с указанием недостатков, требующих решения.

1. Формирование секторов и характеристик направленности (ХН) в горизонтальной и вертикальной областях. Недостаток – отсутствие третьей координаты в трехмерном пространстве;
2. Пространственная фильтрация имеет боковые и дополнительные лепестки характеристик направленности, что значительно снижает эффективность решаемых задач АС как при излучении, так и при приеме;
3. Частотная фильтрация АС не имеет плоской вершины и вносит искажение в спектр сигнала, а не резонансные антенны характеризуются малым коэффициентом усиления;

4. Поляризация фильтрация далека от требуемых характеристик и изменяется от различных трудно контролируемых факторов;
5. Активные компоненты АС уменьшают отношение сигнал/помеха и искажают сигнал;
6. Среда, обтекающая антенны, создает дополнительную вибрацию и помехи;
7. Элементы АС не обладают идеальной идентичностью, что снижает точность представления интегрированных сигналов и помех;
8. Вибрация носителя приводит к механической модуляции сигналов, как при приеме, так и во время излучения;
9. Совместное использование антенн, пространственно разнесенных для решения единой задачи, например, случайных антенных решеток, [2] требуют синхронизации, при известном взаимном ориентировании;
10. Внедрение сигналов с большой базой, например, широкополосных, приводит к искажению структуры сигналов в дисперсионном канале и при доплеровской деформации в период излучения и (или) приема;
11. Антенны, обладая заданными размерами, полосой частотного диапазона, ограничивают применение сигналов с регулируемыми параметрами;
12. Элементы и АС демаскируют РС.

Мнение, что антенна самостоятельное устройство представляет собой грубое упрощение. Однако именно так рассматриваются задачи РС в современной литературе [3]. Исключение составляет патентная информация, но и международные патентные коды не имеют собственного класса.

Антенна может рассматриваться как обязательный элемент РС, но в совокупности передающий тракт, передающая антенна, среда канала распространения, приемная антенна и приемный тракт. Такой согласованный подход открывает новые задачи и новые возможности, ранее не учитываемые при конструировании и эксплуатации АС в составе РС.

В работе предложено одно из перспективных направлений формирования пространственных фильтров на основе технологии MIMRMO путем системного применения квазислучайных виртуальных антенн совместно с передающими, приемными антеннами и трактами [4]. В отличие от MIMO в состав системы добавлено множество квазислучайных отражателей MR с возможностью расширения функций. Аналогом технологии является способ тропосферной связи [5]. Квазислучайность предусматривает высокую неопределенность поля отражателей для противной стороны или средств несанкционированного съема, в то время как для легитимных абонентов информационного взаимодействия положение поля MR оговорено заранее и корректируется во время сеанса связи.

Таблица 1 - Расширенный перечень функций физического уровня модели OSI

	Функции	Приведены в описании 1 уровня OSI	Реализованы	Предложены для расширенной модели,
1.	Согласование с предыдущими компонентами РС и со средой в режиме излучения	+	+	
2.	Излучение сигнала	+	+	
3.	Прием сигнала	+	+	
4.	Согласование со средой в режиме приема и с последующими компонентами РС	+	+	
5.	Усиления		+	
6.	Частотная фильтрация		+	
7.	Пространственная фильтрация		+	
8.	Сопровождение по плоскостям		+	
9.	Поляризационная фильтрация		+	
10.	Ограничение по мощности		+	
11.	Преобразования		+	
12.	Модуляция		+	
13.	Коммутация		+	
14.	Сканирование по пространству		+	
15.	Стабилизация		+	
16.	Предисказания			+
17.	Обработка сигнала в канале распространения			+
18.	Преобразования сигнала в узлах ретрансляции			+
19.	Синхронизация			+
20.	Совместимость элементов АС абонентов			+
21.	Совместимость задач для режимов обнаружения и др.			+

Виртуализация связана с ограниченным сроком жизни элементов MR и необходимостью постоянного мониторинга, например, метеорных образований, выносных объектов в виде беспилотных роботов.

Объектом исследования является АС в виде антенных элементов передающей, приемной сторон и ретрансляторов в среде распространения сигналов. Математические модели таких систем впервые были приведены в работах Сапрыкина В.А. и Рокотова С.П. [6].

Целью исследования является анализа состояния, проблем и тенденций развития в области обработки сигналов, соответствующей физическому уровню, по классификации OSI.



Актуальность темы обусловлена тем, что физический уровень технологии РС отстает от требований практики, а цифровая обработка шести верхних уровней потенциально не может решить проблем физического уровня.

Анализ виртуальных методов в области телекоммуникаций приведен в таблице 2 [7 - 9].

Анализ таблицы позволил определить основные тенденции и отсутствующие процедуры над пространственно распределенными сигналами для достижения единой цели - получение нового качественного решения задачи по канализации сигналов в зонах неуверенного приема.

Таблица 2 - Анализ построения виртуальных антенн

№	Название	Описание	Недостаток
1	Виртуализация антенны в среде беспроводной связи	Предназначено для применения физической антенны передачи. Комплекс физических антенн распределяют на множество групп [7]. Из групп физических антенн формируют виртуальную антенну [7].	Виртуальные антенны формируются из физических с известными параметрами. Вопрос о расширении зон беспроводной связи не может быть реализован.
2	Формирование диаграммы направленности и с использованием антенной решетки	Предназначено для передачи сигнала с использованием антенной решетки с управляемой диаграммой направленности [8]. Сетевой узел использует выделенные элементы антенной решетки [8].	Виртуальные антенны формируются из физических с известными характеристиками и не выходят за пределы имеющейся апертуры антенной решетки.
3	Способ передачи-приема сигналов в системе радиосвязи с $n$ каналами передачи и $m$ каналами приема.	Технический результат достигается за счет того, что для заданного интервала $T_a$ определяют количество $J$ сигналов, одновременно передаваемых по каналу связи, назначают оптимальное сочетание видов модуляции. Осуществляют передачу сигналов через $N$ каналов и прием сигналов через $M$ каналов приема [9].	Реализована технология ММО без пространственной обработки в канале. Способ потенциально не позволяет изменить пределы зон освещенности, т.к. не использует свойства канала.
4	Способ и устройство для выбора виртуальных антенн.	Описываются технологии для передачи данных от виртуальных антенн вместо физических антенн. Каждая виртуальная антенна может содержать часть элементов физических антенн. Оценивается эффективность разных вариантов и адаптируется под условия сеанса связи.	Технология не позволяет превзойти потенциал физической антенной решетки.

Предлагается использовать технологию пространственных преобразований сигналов в заданной области пространства, в которой для повышения помехозащищенности формируется групповой сигнал с использованием излучений от элементов антенных решеток.

Предварительно определяются адреса виртуальных областей пространства, часть которых может быть использована как элементы виртуальных антенн. Например, для ретрансляции. Спектр преобразований может быть значительно расширен за счет пространственных кодирования и модуляции и их сочетаний с повторением.

Таким образом, формируются новые технологии управления групповыми сигналами на заданных трассах в пространстве. Аналогично решается и обратная задача. Таким образом, реализуется технология MIMRMO.

Эффективность приведена в таблице 3 и зависит от количества одновременно используемых множеств компонентов.

Таблица 3 - Сравнительная оценка эффективности методов MIMRMO

Передатчики, MI	Ретрансляторы, MR	Приемники, MO	Эффективность, $C=\log(MI+MR+MO)$
1	1	2	0,602
1	2	2	0,699
2	1	1	0,602
2	1	2	0,699
2	2	2	0,778
1	2	1	0,602
2	2	1	0,699
1	3	1	0,699
2	3	1	0,778
2	3	2	0,845

Если добавить сюда преобразования, такие как, маскирование, объединение, компенсация совокупности частей и др. получается надежная система связи.

Новизна полученных результатов заключается в увеличении подуровней в физическом уровне OSI за счет учета тонких, но значимых процессов для обработки сигналов на передающей, приемной и в канале распространения. АС РС состоят из трех перечисленных выше элементов и реализуют расширенный спектр функций столь необходимых для совмещения задач РС, например связи и наблюдения.

Таким образом, предложен расширенный спектр функций АС РС, позволяющий приблизить показатели информационных технологий физического уровня к требованиям, предъявляемым сегодня к радиосистемам.

#### **Список литературы:**

1. Степутин А.Н, Николаев А.Д. Мобильная связь на пути к 6G. Вологда; Инфра-инженерия, 2018. Т 2. 420 с

2. Радиолокационный комплекс для обнаружения и сопровождения объектов Патент РФ № 67289 от 29.05.2007, Павликов С.Н. и др., Заявка № 2007120149.

3. Скляр Б. Цифровая связь: Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр - Москва: Вильямс, 2016. 1099 с.

4. Мочалов А.В., Павликов С.Н., Убанкин Е.И Новые направления в развитии телекоммуникационных систем. Владивосток: ВГУЭС. 2016. 116 с. [Электронный ресурс] <https://search.rsl.ru/ru/record/01008475605>.

5. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. Справочник /Ширман Я.Д., Лосев Ю.И., Минервин Н.Н., Москвитин С.В., Горшков С.А., Леховицкий Д.И., Левченко Л.С. / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: ЗАО «МАКВИС», 1998. – 828 с.

6. Сапрыкин В.А., Рокотов С.П. Теория гидроакустики и цифровая обработка сигналов. Ч.2. Петродворец: ВВМУРЭ им. А.С. Попова, 1991. 416 с.

7. Виртуализация антенны в среде беспроводной связи, Пат. РФ 2491722, Опубликовано: 27.08.2013 Бюл. № 24.

8. Формирование диаграммы направленности с использованием антенной решетки, пат РФ 2656236, Опубликовано: 04.06.2018 Бюл. № 16.

9. Способ передачи-приема сигналов в системе радиосвязи с n каналами передачи и m каналами приема, пат РФ 2381628, Опубликовано: 10.02.2010 Бюл. № 4.

## References:

1. Steputin A.N., Nikolaev A.D. Mobile communication on the way to 6G. Vologda; Infra-engineering, 2018. Т 2. 420 s

2. Radar complex for detection and tracking of objects RF Patent No. 67289 dated 29.05.2007, Pavlikov S.N. et al., Application No. 2007120149.

3. Sklyar B. Digital communication: Theoretical foundations and practical application / B. Sklyar - Moscow: Williams, 2016. 1099 p.

4. Mochalov A.V., Pavlikov S.N., Ubankin E.I. New directions in the development of telecommunication systems. Vladivostok: VSUES. 2016. 116 p. [Electronic resource] <https://search.rsl.ru/ru/record/01008475605>.

5. Radio-electronic systems: fundamentals of construction and theory. Spravochnik / Shirman Y.D., Losev Yu.I., Minervin N.N., Moskvitin S.V., Gorshkov S.A., Lekhovitsky D.I., Levchenko L.S. / Ed. Y.D. Shirman. – M.: ZAO "MAKVIS", 1998. – 828 p.

6. Saprykin V.A., Rokotov S.P. Theory of hydroacoustics and digital signal processing. Part 2. Petrodvorets: VVMURE im. A.S. Popov, 1991. 416 p. (in Rus).

7. Antenna virtualization in a wireless environment, Pat. RF 2491722, published: 27.08.2013 Bulletin. № 24.

8. Formation of a radiation pattern using an antenna array, pat RF 2656236, Published: 04.06.2018 Bulletin. № 16.

Method of transmission-reception of signals in a radio communication system with n transmission channels and m channels of reception, PAT RF 2381628, Published: 10.02.2010 Bulletin. №16

9. Method of transmission-reception of signals in a radio communication system with n transmission channels and m channels of reception, PAT RF 2381628, Published: 10.02.2010 Bulletin. № 4.

**Коротынская Вероника Сергеевна**  
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ХОЛОДА В СИСТЕМАХ**  
**КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ**

*ДВФУ, Политехнический институт, департамент энергетических систем,  
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, п. Аякс, 10  
Научный руководитель: Тарасова Елена Владимировна, канд. техн. наук*

**Аннотация:**

Цель доклада – провести обзор существующих систем охлаждения воздуха с использованием естественных источников холода.

Задачи: произвести обзор актуальной литературы по заданной теме; выделить системы, представляющие наибольший интерес в рамках данного исследования; обозначить особенности каждой системы, преимущества и недостатки; сделать обобщающий вывод по результатам обзора.

**Ключевые слова:** кондиционирование воздуха, пассивный дом, естественные источники холода, холодохранилище, хранение снега.

Ужесточение требований энергоэффективности, связанное с увеличением уровня вырабатываемых жизнедеятельностью человека парниковых газов, заставляет ученых искать пути снижения отрицательного экологического эффекта. Для создания комфортных условий существования в различном климате человек вынужден использовать климатическую технику, которая потребляет значительную долю электрической энергии. Так, разработаны различные способы охлаждения помещений с применением естественных источников холода.

**Сезонные аккумуляторы естественного холода**

Сезонные аккумуляторы естественного холода представляют собой организованное скопления источника холода (снега или льда), накопленного за холодный период года, как правило, утепленного, с системой труб в основании для транспортировки теплоносителя от холодохранилища к теплообменнику. Устройство таких холодохранилищ ограничено регионами с определенными климатическими условиями: отрицательные температуры одну часть года для возможности накопления источника холода и высокие положительные температуры в другую часть года, когда есть потребность в потреблении холода.

Victor Llonch разделил сезонные аккумуляторы естественного холода на три категории [5]:

– обычные системы хранения снега;

- водонепроницаемые системы хранения снега;
- системы хранения снега высокой плотности.

Обычная система хранения крайне проста. Она представляет собой накопленный в углублении в грунте снег, под которым находится дренажный слой. Талая вода через дренажный слой поступает по трубам к месту, где необходимо удалить избытки теплоты. Такой способ охлаждения крайне неэффективен, так как источник холода быстро разрушается из-за отсутствия изоляции и трубопроводы довольно быстро разрушаются из-за высокой загрязненности талой воды.

Водонепроницаемые системы хранения снега имеет гидроизолирующий слой в основании (асфальт, пластик или другой гидроизолирующий материал) и теплоизолирующий слой на поверхности. В качестве теплоизоляции используют щепу, опилки, древесную стружку, солому, полистирольные плиты и др. Система утилизации тепла в такой системе представляет собой два контура, передающих тепло через теплообменник. В первом контуре циркулирует талая вода, во втором теплоноситель, который циркулирует по трубам, проходящим через помещение, в котором необходимо утилизировать избытки теплоты. Затем теплоноситель охлаждается в теплообменнике и снова направляется в обслуживаемое помещение. Такой способ устройства холодохранилища гораздо эффективнее предыдущего и позволяет сохранить большой объем источника холода в течении всего года [5].

Подобная технология была применена в больнице Сундсвилль, Швеция в качестве источника холода в системе кондиционирования. Результаты показали ее высокую эффективность и возможность применения для крупных объектов общественного назначения, даже в таких, к которым предъявляются высокие санитарные требования, как больницы (рисунок 1) [4].



Рисунок 1 - Подготовка площадки под складирование снега для холодохранилища в больнице Сундсвилль, Швеция [4]

Системы хранения снега высокой плотности представляют собой специально оборудованные, хорошо утепленные пространства, куда складировуют хорошо утрамбованный снег. Высокой плотности добиваются путем

прессования и/или смачиванием водой [5]. Такие системы наиболее эффективны, но предполагают значительные капиталовложения, что, часть, экономически нецелесообразно.

Помимо снега, в подобных системах хранения в качестве источника холода может выступать лед. Существуют разные способы формирования льда для льдохранилищ: Путем вырезания в водоемах естественного льда, методом послойного намораживания в емкостях или на площадках, намораживание сосульчатого льда в градирнях [1].

Естественно образовавшийся лед в водоемах вырезают прямоугольной формы для удобства складирования и свозят к месту хранения. Процесс весьма трудоемкий, а значит, дорогостоящий.

Метод послойного намораживания занимает от 45 до 60 дней и требует отрицательных температур ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ . Однако, способ весьма простой и экономичный.

Градирни для намораживания льда используют в районах, где невозможно применение других способ из-за относительно высоких зимних температур. Специально устроенные жерди орошаются водой, которая, стекая, замораживается и образуются сосульки. Далее их доставляют и складировуют в месте хранения [1].

### **Суточная аккумуляция естественного холода**

Особенностью суточной аккумуляции естественного холода является разделение суток на период накопления холода и период его потребления. Такая градация может быть связана как с изменяющимися в течение суток температурными режимами, так и с изменяющимися тарифами на электрическую энергию. В качестве теплоносителя могут выступать воздух, вода и другие жидкости.

Так, в торговом комплексе Castorama успешно функционирует система суточной аккумуляции естественного холода. В ночное время происходит намораживание льда в хранилище, которое используется днем в период пиковых нагрузок на систему кондиционирования. Такой способ позволяет снизить как эксплуатационные затраты (на электричество в период пиковых нагрузок), так и на капитальные вложения, так как при подборе климатического оборудования на пиковые нагрузки возрастает стоимость оборудования, хотя наибольшая нагрузка длится относительно непродолжительный период времени [2].

### **Градирня**

Градирни делятся на открытые и закрытые. В открытых градирнях охлаждение происходит за счет остывания распыляемой жидкости (рисунок 2). За счет увеличения площади испарения, жидкость быстро остывает и охлажденная поступает обратно в контур [3].

В градирнях закрытого типа охлаждение происходит только за счет теплообмена: жидкость циркулирует в закрытом контуре по трубкам, активно обдуваемым воздухом (сухие градирни) или орошается водой (орошаемые градирни).

Такие системы довольно эффективны и широко применяются [3].



Рис. 2. Открытая градирня [3]

### **Вывод**

Существует довольно много способов кондиционирования с использованием естественных источников холода. Все они обладают большей или меньшей эффективностью. Проведенные исследования показали, что использование естественных источников холода позволяет значительно сэкономить, как на эксплуатационных затратах, так, порой, и на капитальных вложениях и может применяться повсеместно к зданиям любого назначения.

### **Список литературы:**

1. Тарасова, Е. В. Системы кондиционирования воздуха с сезонными аккумуляторами естественного холода: Дис... канд. техн. наук: Тюмень, [Место защиты: Тюменский государственный архитектурно-строительный университет]. – Тюмень, 2013. – 151с.
2. Наумов А.Л., Селиверстов Ю.М., Ефремов В.В., Протасов Г.В. «Система кондиционирования воздуха с аккумулятором холода для торгового центра» // Журнал АВОК №2\2017. ООО ИИП «АВОК-ПРЕСС».
3. Рекомендации АВОК. Выбор и оптимизация систем холодоснабжения зданий. ООО ИИП «АВОК-ПРЕСС», 2022. Дата введения – 2022-01-01.
4. Nordell Bo, Skogsberg Kjell, The sundsvall snow storage—six years of operation, Division of Architecture and Infrastructure, Lule° a University of Technology, SE-97187 Lule° a, Sweden Chapter, January 2007.
5. Victor LLONCH Preliminary design of a snow storage cooling system for a poultry house placed in Quebec, Manuscript-based thesis presented to école de Technologie supérieure in partial fulfillment of the Requirements for the degree of master's degree in Industrial engineering, concentration in energy, Montreal, June 2019 – 83 p.

**Вавренюк Светлана Викторовна<sup>1</sup>, Федюк Роман Сергеевич<sup>2</sup>, Вавренюк Вадим Геннадьевич<sup>2</sup>, Фарафонов Алексей Эдуардович<sup>1</sup>, Кузнецов Николай Васильевич<sup>1</sup>, Русанова Татьяна Юрьевна<sup>1</sup>**

## **ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАЗРУШЕНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ, И МЕТОДЫ ИХ КОНТРОЛЯ**

*<sup>1</sup>Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» Дальневосточный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт по строительству (Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» ДальНИИС), город Владивосток, ул. Бородинская, д.14, 690033*

*<sup>2</sup>Дальневосточный Федеральный университет, город Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, 690922*

**Аннотация.** Проведены исследования и проанализированы причины систематического разрушения в процессе строительства огнезащитных покрытий марки SternFire EX-K (толстослойный тип покрытий) на объекте Театрально-развлекательный комплекс на о. Русском в г. Владивостоке. Проведено техническое обследование огнезащитных покрытий на объекте, методом ИК-спектроскопии установлен тип пленкообразующего вещества грунтовки, установлены причины разрушения. Предложен метод контроля соответствия лакокрасочных материалов заявленному виду.

**Ключевые слова:** толстослойные огнезащитные покрытия, отслоение, грунтовка, ИК-спектроскопия, адгезия, когезия, вид пленкообразователя.

Важнейшим элементом системы пожарной безопасности зданий и сооружений является огнезащита строительных конструкций. Главная цель огнезащиты снизить скорость нагрева строительных конструкций без снижения их прочностных характеристик на время эвакуации из очага возгорания.

В настоящее время для защиты стальных конструкций применяют два типа огнезащитных покрытий. Первый тип - вспучивающиеся покрытия. При высокотемпературном воздействии в таких покрытиях происходят фазовые превращения, связанные с поглощением тепла и образованием пористой структуры покрытия, обладающей повышенной теплоизолирующей способностью.

Второй тип огнезащитных - толстослойные покрытия, сохраняющие первоначальную структуру при огневом и тепловом воздействии. Механизм огнезащиты толстослойных покрытий основан на спекании слоя, что предохраняет поверхность металла от быстрого нагрева, деформаций и разрушения. Для стальных конструкций огнезащита дополнительно выполняет роль защиты металла от коррозии.

Авторами были проведены исследования и проанализированы причины систематического разрушения в процессе строительства огнезащитных покрытий марки SternFire EX-K (второй тип покрытий) на объекте Театрально-развлекательный комплекс на о. Русском в г. Владивостоке.



SternFire EX-K представляет собой двухкомпонентный эпоксидный огнезащитный толстослойный (до 5 мм) напыляемый состав, с ожидаемым (согласно ускоренным климатическим испытаниям) сроком службы покрытия не менее 30 лет. Огнезащитная эффективность составляет от 60 до 120 минут.

Огнезащитное покрытие SternFire EX-K может использоваться по металлу, как без устройства грунтовочного слоя, так и в системе покрытий с предварительной грунтовкой. В системе покрытий SternFire EX-K используется, когда наряду с огнезащитой металлических конструкций, существует потребность в антикоррозийной защите. Для огрунтовки рекомендуется использовать составы на основе фенолоалкидных смол, глифталевого лака, а также эпоксидных олигомеров.

На объекте «Театрально-развлекательный комплекс» применялись две системы покрытий для огневой и антикоррозийной защиты несущих металлических конструкций:

#### Система покрытий №1

- грунтовка - Welesgard – Велефорс Мастик
- огнезащитное покрытие SternFire EX-K
- финишный слой Welesgard - Сулакавер 2к

#### Система покрытий №2

- грунтовка ГФ-021 (ГОСТ 25129)
- огнезащитное покрытие SternFire EX-K
- финишный слой Welesgard - Сулакавер 2к

Проблема заключалась в том, что спустя 2-3 месяца после устройства, системы покрытий начинали разрушаться - отслаиваться от металлических конструкций. Для определения причин разрушения огнезащитного покрытия SternFire EX-K было проведено техническое обследование металлических конструкций, в результате которого, было установлено следующее.

Система огнезащитных покрытий SternFire EX-K + Welesgard - Сулакавер 2к отслаивается от металлоконструкций по слою грунта. Происходит «вздутие» и отрыв огнезащитного покрытия с сохранением его целостности (рис. 1). При этом, где для огрунтовки использовался грунт Welesgard - Велефорс Мастик, система огнезащитных покрытий признаков разрушений не имела.

Отслоение огнезащитного покрытия происходило только на конструкциях, где была произведена огрунтовка металлоконструкций грунтом, заявленным, как ГФ-021.

Отслоившиеся образцы огнезащитных покрытий были детально исследованы под микроскопом. В результате исследований было установлено следующее:

- Характер отслоения системы огнезащитных покрытий от металлоконструкций (колонн, балок, прогонов, профилированного листа перекрытий) имеет когезионный тип – по материалу грунтовки (рис. 2), что проявляется присутствием на огнезащитном покрытии слоя грунтовки серого цвета.

- Отслоившаяся система огнезащитных покрытий (SternFire EX-K + Welesgard - Сулакавер 2к) имеет слитную структуру и прочное соединение слоев системы между собой.

- На образцах отслоившихся покрытий фиксируется многослойность грунтовки с расслоением слоев грунта между собой.

- Между слоями грунта имеются следы ржавчины, грязи, а также неразмешанного связующего.

- Отслоившиеся образцы покрытий имеют резкий запах, характерный для растворителя, не прошедшего стадию испарения в процессе пленкообразования, что свидетельствует о недостаточном времени межслойной выдержки грунта.



Рисунок 1 - Отслоение огнезащитного покрытия от металлической колонны

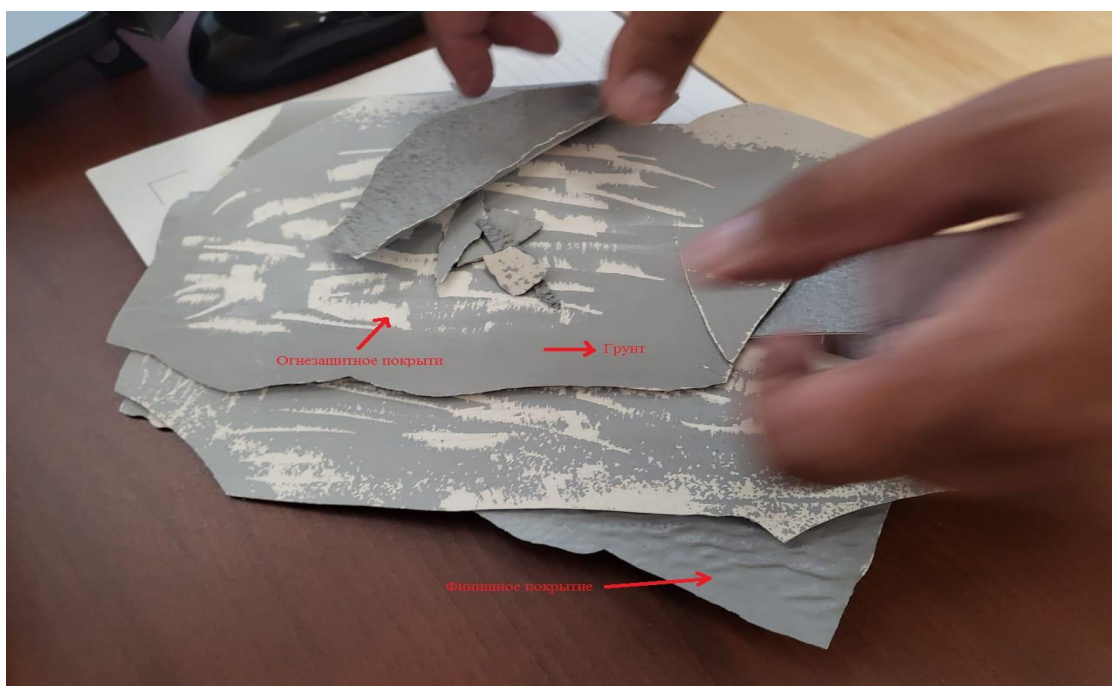


Рисунок 2 - Фрагменты огнезащитной системы

С целью определения вида пленкообразователя грунтовки использовался метод ИК-спектроскопии. Исследовался слой грунтовки серого цвета, присутствовавший на внутренней поверхности огнезащитных образцов покрытий, взятых из трех разных корпусов (зданий) на объекте строительства.

Анализ ИК-спектров показал, что все три образца грунтовки имеют практически одинаковый профиль ИК-спектров (рис. 3, 4, 5). При этом, на ИК-спектрах отсутствуют полосы поглощения характерные для бензольного кольца, являющегося структурным звеном глифталевого лака. В частности, отсутствуют полосы поглощения в области  $3000-3100\text{ см}^{-1}$ , соответствующие валентным колебаниям связи С-Н в бензольном кольце. Следовательно, в составе грунтовок, использованных под огнезащитное покрытие, отсутствует глифталевый лак, что дает основание сделать вывод о несоответствии грунта марке ГФ-021 (ГОСТ 25129).

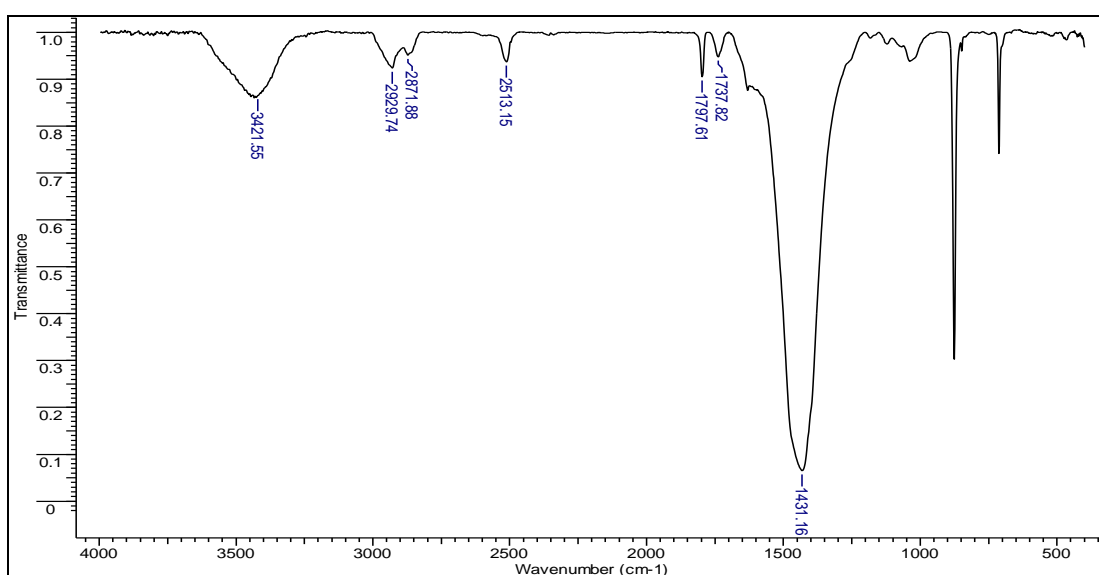


Рисунок 3 - ИК-спектр грунтовки. Образец № 1

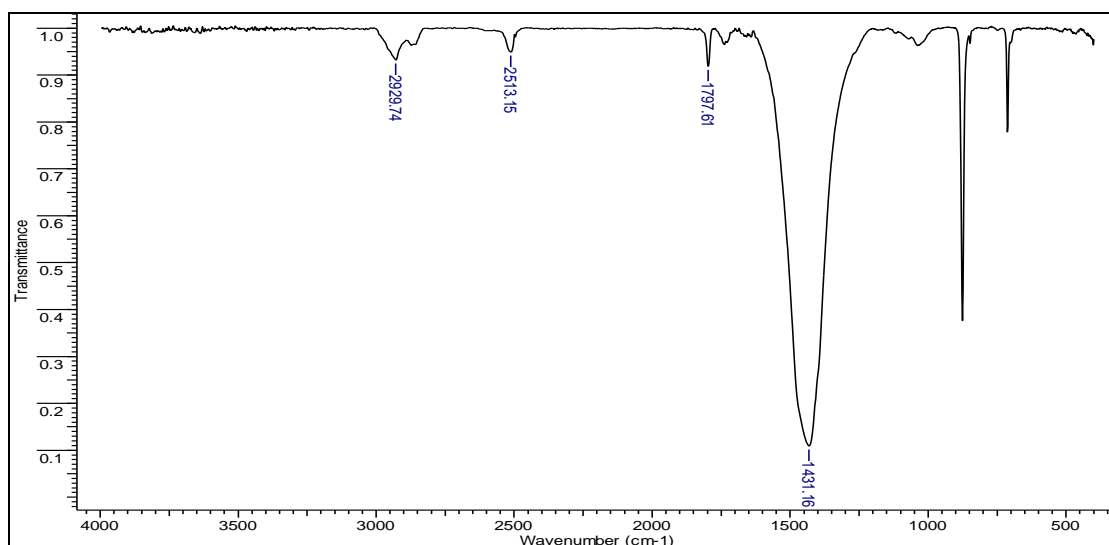


Рисунок 4 - ИК-спектр грунтовки. Образец № 2

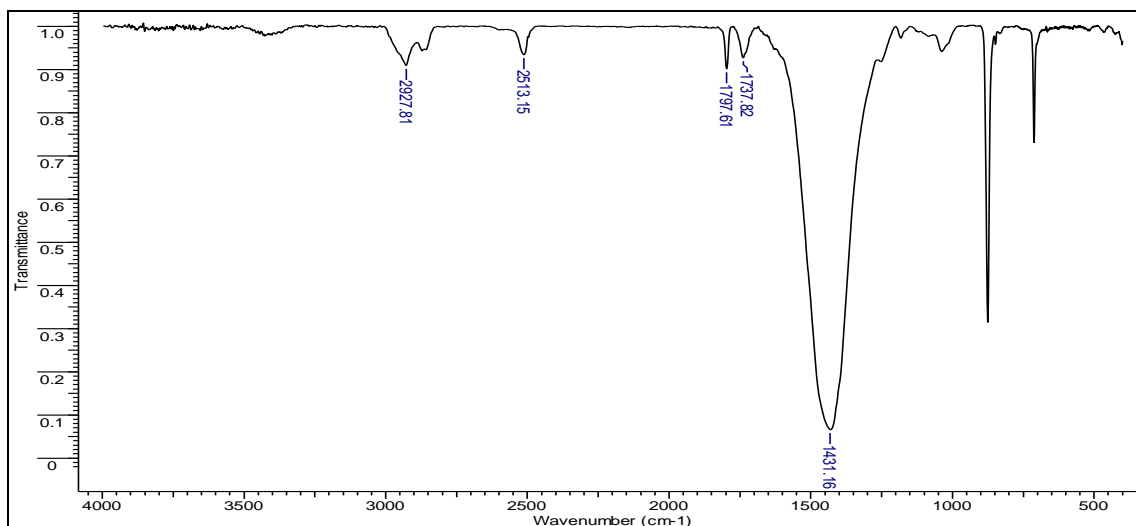


Рисунок 5 - ИК-спектр грунтовки. Образец № 3

На основании проведенных исследований был сделан вывод, что причиной отслоения (разрушения) огнезащитного покрытия на металлических конструкциях (балки, стойки, прогоны, колонны, профлист) является применение грунтовки, не соответствующей заявленной марке ГФ-021 (ГОСТ 25129), а также нарушение технологии производства работ по огрунтовке металлических конструкций (отсутствие подготовки основания под грунтовку: обезжиривание, очищение от грязи, шлифовка, плохое перемешивание грунта перед нанесением, недостаточное время межслойной выдержки слоев грунта).

Анализ происшедшего показывает, что на объекты строительства могут поступать лакокрасочные материалы (ЛКМ), не соответствующие заявленным, и проконтролировать соответствие их вещественного состава (вида пленкообразователя) на строительной площадке невозможно. Следовательно, контроль качества лакокрасочных материалов в период строительства требует иного подхода с применением физико-химических методов исследований.

Необходимо проведение предварительного анализа ИК-спектроскопии образца ЛКМ от завода изготовителя. Этот спектр будет являться контрольным для последующей сверки ИК-спектров партий ЛКМ, поступающих на объект строительства. Данный метод позволит идентифицировать соответствие ЛКМ заявленным.

#### Список литературы:

1. Вавренюк С.В., Орентлихер Л.П., Аликовский А.В. Долговечные защитные цементно-полимерные покрытия на основе «криптогетерогенных» водорастворимых полимеров. // 2<sup>ая</sup> Всеросс. конф. по бетону и железобетону. Москва, 2005, с.340-343.

2. Вавренюк С.В., Орентлихер Л.П., Аликовский А.В. Безусадочные защитные цементные покрытия, модифицированные водорастворимыми полимерами. // Коррозия: материалы, защита, № 8, 2004,

**Вавренюк Светлана Викторовна<sup>1</sup>, Федюк Роман Сергеевич<sup>2</sup>, Вавренюк Вадим Геннадьевич<sup>2</sup>, Фарафонов Алексей Эдуардович<sup>1</sup>, Русанова Татьяна Юрьевна<sup>1</sup>**

## **ОШИБКИ, ДОПУСКАЕМЫЕ В ПРОЦЕССЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

*<sup>1</sup>Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» Дальневосточный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт по строительству (Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» ДальНИИС), город Владивосток, ул. Бородинская, 14, 690033*

*<sup>2</sup>Дальневосточный Федеральный университет, город Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, 690922*

**Аннотация.** Несмотря на требования, предъявляемые к организациям, практикующим в области обследования и мониторинга технического состояния зданий и сооружений, участились случаи некачественного подхода к выполнению данных работ, что впоследствии вытекает в необоснованные затраты на ненужное усиление строительных конструкций и признание несоответствующих проектным требованиям и технологическим регламентам конструкции соответствующими, и наоборот.

Публикация содержит пример такого некачественного подхода к обследованию конструкции плиты перекрытия многоэтажного дома в городе Владивостоке по ул. Алеутской, что влекло за собой серьезные затраты на ее ремонт и усиление. Специалистами Филиала ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» ДальНИИС были проведены исследования по оценке качества бетона в конструкции плиты перекрытия по параметрам прочности на сжатие и сплошности, что дало основание опровергнуть недостоверные выводы о ее ограниченно-работоспособном состоянии.

**Ключевые слова:** техническое обследование, несущие конструкции, сплошность и структура бетона, прочность, ультразвук, отрыв со скалыванием.

Согласно Перечню видов инженерных изысканий, утвержденному постановлением Правительства Российской Федерации от 19 января 2006 г. № 20, работы по обследованию строительных конструкций являются специальным видом инженерных изысканий, и в соответствии с ч. 2 ст. 47 Градостроительного кодекса Российской Федерации могут выполняться только членами саморегулируемых организаций (СРО) в области проектирования. При этом, согласно требованиям СРО, обследование и мониторинг технического состояния зданий и сооружений должен проводиться организацией, оснащенной приборной базой и имеющей в своем составе высококвалифицированных специалистов. Эти же требования касаются и организаций, ведущих строительный контроль за строительством зданий и сооружений на соответствие проектным требованиям и техническим регламентам.

Однако, несмотря на требования, предъявляемые к организациям, практикующим в области обследования и мониторинга технического состояния

зданий и сооружений, участились случаи неквалифицированного подхода к выполнению данных работ, что впоследствии вытекает в необоснованные затраты на ненужное усиление строительных конструкций и признание несоответствующих проектным требованиям и технологическим регламентам конструкции соответствующими, и наоборот.

Данная публикация содержит пример такого неквалифицированного подхода к обследованию конструкции плиты перекрытия многоэтажного дома в городе Владивостоке по ул. Алеутской, что влекло за собой серьезные затраты на ее ремонт и усиление.

В результате неквалифицированного технического обследования обследователями был сделан вывод о том, что плита перекрытия представляет собой неоднородную конструкцию, состоящую из двух основных слоёв: нижнего, расположенного от уровня низа плиты до уровня низа стержней верхней арматурной сетки и верхнего, расположенного от уровня низа стержней верхней арматурной сетки до верхней поверхности плиты. При этом, слои плиты частично отделены друг от друга горизонтальными трещинами (разрывами бетона), проходящими в уровне низа стержней верхней арматуры, а верхний слой плиты разделён вертикальными трещинами на фрагменты.

Специалистами Филиала ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» ДальНИИС были проведены исследования по оценке качества бетона в конструкции плиты перекрытия по параметрам прочности на сжатие и сплошности, что дало основание опровергнуть недостоверные выводы о ее ограниченно-работоспособном состоянии.

Целью исследования сплошности бетона являлось определение наличия или отсутствия аномальных зон в верхней части плиты перекрытия на уровне верхнего пояса армирования, включая защитный слой бетона.

Исследователи пошли следующим путем. Согласно проекту (рисунок 1), защитный слой бетона плиты перекрытия составляет 40 мм, а диаметр стержней верхнего пояса армирования 28 мм, что в сумме составляет 68 мм. В связи с чем, зоной исследования сплошности являлся бетон верхней части плиты на глубину не менее 100 мм. Исследования включали в себя ультразвуковой метод и метод отрыва со скалыванием.

**Оценка сплошности бетона** плиты перекрытия **ультразвуковым методом производилась** путем измерения скорости распространения в бетоне ультразвуковых волн, характеризующих его структуру. Исследования проводились прибором Пульсар 2.1 с базой 120 мм методом поверхностного прозвучивания. Суть исследований заключалась в том, что отсутствие контактов между уложенными слоями бетона (например, холодный шов или пустота) должно сопровождаться аномально резкими изменениями времени и скорости распространения ультразвуковых волн в теле бетона с затуханием волны при попадании в область дефекта.

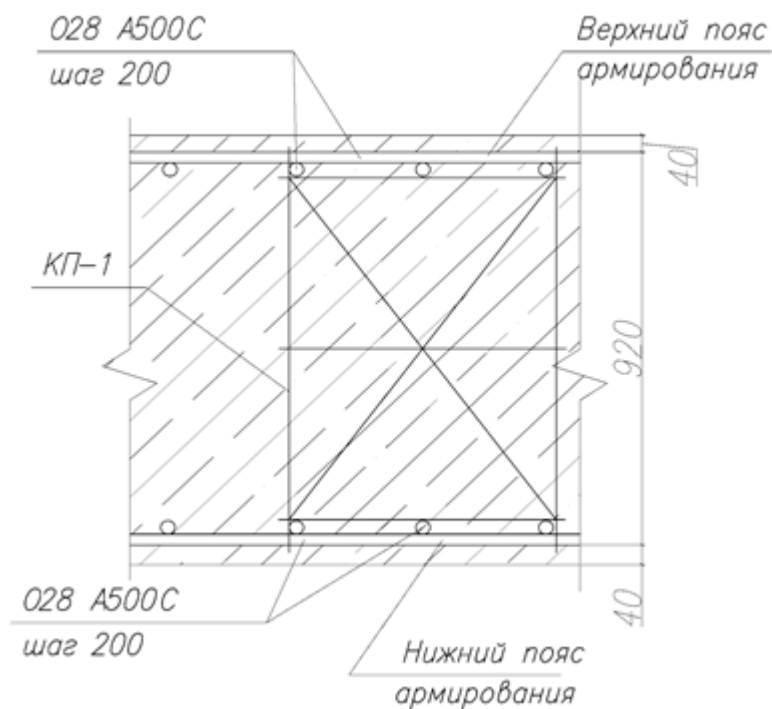


Рисунок 1 - Верхний пояс армирования плиты перекрытия

Исследование сплошности бетона проводилось в горизонтальных и вертикальных плоскостях на участках верхней и боковых поверхностей плиты перекрытия, вентиляционных отверстий инженерных сетей, а также вентиляционных каналов, находящихся в зоне верхнего пояса армирования (рисунок 2).

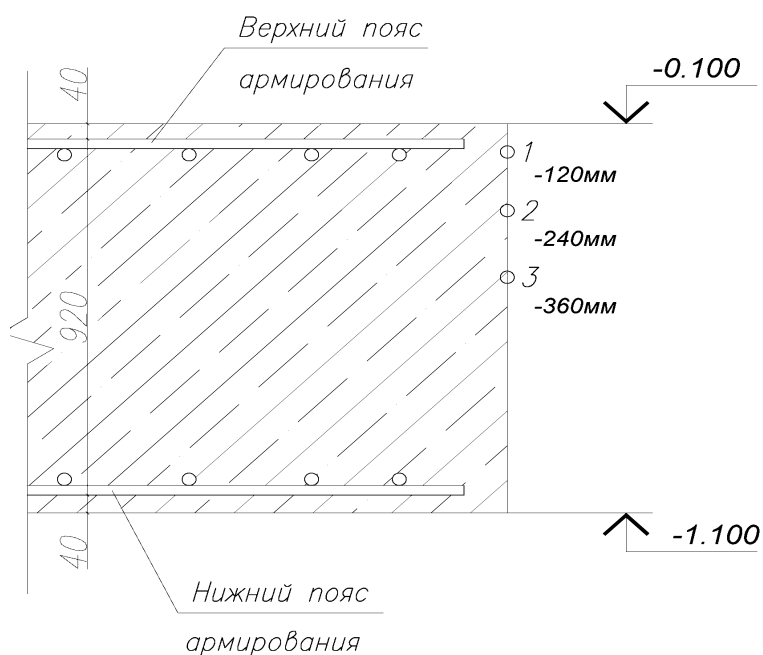


Рисунок 2 - Схема проведения испытания плиты по толщине

Исследования сплошности бетона на участках с горизонтальной плоскостью производились на глубину до 100 мм от верхней поверхности плиты перекрытия. На участках вертикальных плоскостей бетон исследовался на глубину до 400 мм от верхней поверхности плиты перекрытия.

Результаты исследований сплошности бетона ультразвуковым методом показали, что зарегистрированные сигналы прохождения ультразвуковых волн в бетоне зоны верхнего пояса армирования на горизонтальных и вертикальных плоскостях имеют четкий характер без признаков затухания. При этом показания скорости распространения ультразвуковых колебаний в бетоне на горизонтальных и вертикальных плоскостях плиты перекрытия находится в одном диапазоне 4300 - 4600 м/с. То есть, показания не отличаются друг от друга более, чем на 10%, что свидетельствует об однородности структуры бетона в объеме.

Результаты исследований дали основание сделать вывод о том, что бетон в зоне верхнего пояса армирования плиты перекрытия на глубину до 400 мм от верхней поверхности не имеет аномальных дефектов в виде холодных швов и пустот (рисунок 3).



Рисунок 3 - Исследование бетона по толщине плиты через вентиляционный канал

Исследование сплошности бетона методом отрыва со скалыванием проводилось путем исследования характера и глубины разрушения бетона с определением усилий, необходимых для вырыва анкерного устройства из бетона плиты перекрытия. Исследования проводились на бетоне лицевой поверхности плиты перекрытия, входящего в зону верхнего пояса армирования, включая защитный слой.

Бетон на исследуемых участках повреждений не имел, арматура в зону вырыва бетона не попадала. Количество исследованных участков составило 12.

Исследования проводились прибором марки ПОС50мг4 с использованием анкерного устройства второго типа диаметром 24 мм с глубиной заделки 48 мм.



В процессе испытания зона влияния растягивающих усилий по высоте составляла  $2h$  глубины заделки анкера (96 мм), что входит в область зоны верхнего пояса армирования, включая защитный слой (70 мм).

Суть исследований заключалась в том, что при отсутствии дефектов характер разрушения бетона в месте вырыва должен носить стандартный характер (рисунок 4), внешний вид вырванного образца бетона должен иметь характерную конусообразную форму, а глубина вырыва бетона не отличаться от глубины заделки анкера.

Однако, если в зоне растягивающих усилий будут присутствовать аномальные дефекты в виде отсутствия контактов между уложенными слоями бетона (например, холодный шов или пустота), то отрыв бетона должен происходить по области дефекта структуры, а приложенные разрушающие усилия иметь аномально низкие показания.

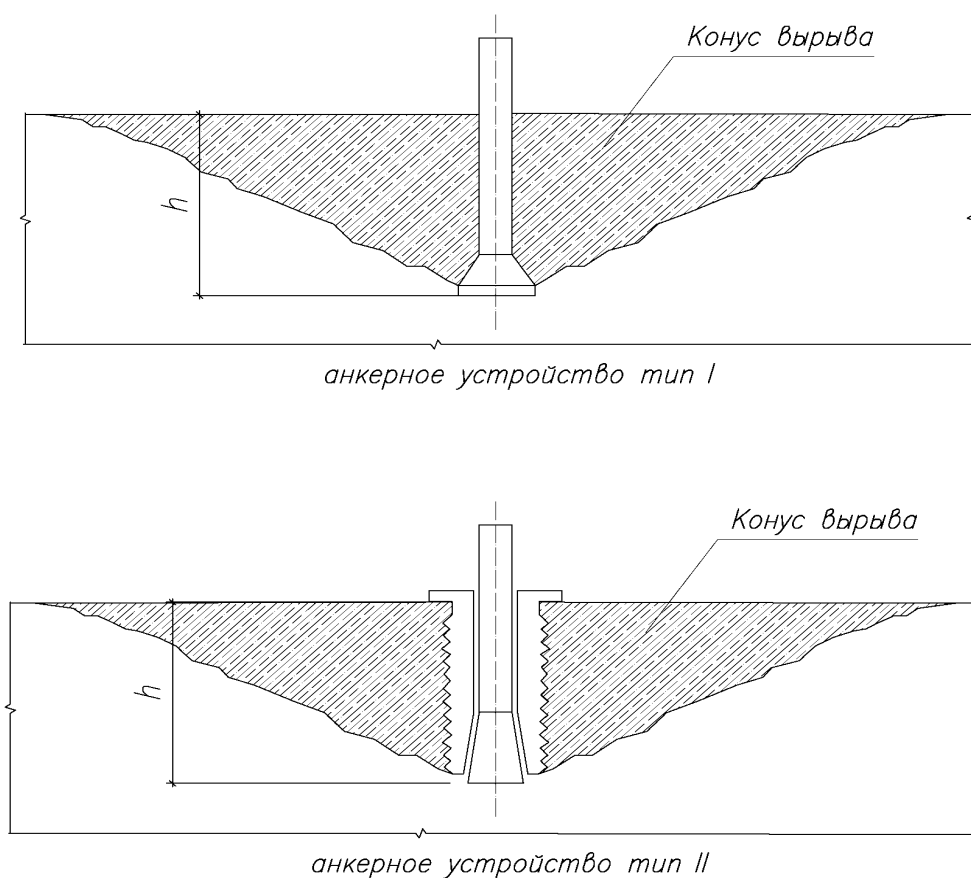


Рисунок 4 - Стандартный характер разрушения бетона при испытании

Таким образом, параметрами оценки сплошности и однородности структуры бетона при исследовании методом отрыва со скалыванием являлись: характер разрушения бетона, глубина вырыва бетона, величина разрушающего усилия.

В результате исследований было установлено следующее:

- глубина вырыва бетона не отличается от глубины заделки анкеров;

- характер разрушения бетона при вырыве носит стандартный характер, образцы бетона имеют конусообразный вид. Размеры вырванной части бетона не отличаются один от другого (рисунки 5 и 6);

- усилия вырыва анкерного устройства находятся в стандартном диапазоне для бетонов классов В30-В40 (50 - 75 кН).

Результатов исследований методом отрыва со скалыванием дают основание сделать вывод о том, что бетон плиты перекрытия на глубину до 100 мм дефектов в виде отсутствия контактов между уложенными слоями бетона (например, холодные швы и пустоты) не имеет.



Рис. 5. - Место установки анкера



Рис. 6. - Результат испытания анкера (конус вырыва)

По результатам исследования сплошности бетона плиты перекрытия был сделан вывод, что бетон зоны верхнего пояса армирования (на глубину до 400 мм от верхней поверхности плиты) аномальных дефектов в виде отсутствия контактов между уложенными слоями бетона (например, холодные швы и пустоты) не имеет.

**Малюк Владислав Викторович<sup>1,2</sup>**

## **ПРОБЛЕМЫ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНА В УСЛОВИЯХ МОРОЗНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

<sup>1</sup> *Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» Дальневосточный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт по строительству (Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» ДальНИИС),*

*город Владивосток, ул. Бородинская, д. 14, 690033*

<sup>2</sup> *Сахалинский государственный университет,*

*город Южно-Сахалинск, пр. Коммунистический, д. 33, 693000*

**Аннотация.** Рассмотрены проблемы, связанные с обеспечением долговечности бетона при эксплуатации конструкций в условиях морозного воздействия. На основании современных теоретических положений структурной теории цементных бетонов и опыта строительства морских сооружений предложен экспертный метод оценки долговечности на этапе приемки конструкций в эксплуатацию.

**Ключевые слова:** морские сооружения, морозостойкость бетона, долговечность, агрессивная среда.

Случаи разрушения конструкций бетона в конструкциях зданий и сооружений после первого зимнего сезона, т.е. через 3–4 месяца эксплуатации, могут свидетельствовать о недостатках существующих методах проектирования долговечности и технологических мер по обеспечению стойкости бетона в условиях морозного воздействия. Это предопределяет необходимость в дальнейшем развитии теории и практики управления долговечностью.

Условия эксплуатации конструкций при действии дождей и мороза относятся к агрессивной среде класса XF3, а условия эксплуатации бетона при попеременном замораживании и оттаивания и сильном насыщении минерализованной водой относятся к агрессивной среде класса XF4. В соответствии с классом агрессивности среды и зимней температуры наружного воздуха в районе строительства на этапе проектирования устанавливать марку бетона по морозостойкости, которая должна быть обеспечена в процессе строительства к началу морозного воздействия.

Проектирование долговечности бетона для агрессивной среды классов XF3 и XF4 основано на представлении, что преобладающей морозной нагрузкой на бетон является многоцикличное воздействие знакопеременных температур. Основная задача проектирования долговечности – обеспечить срок службы конструкций с помощью процедуры проектирования. Неправильное назначение марки бетона по морозостойкости на этапе проектирования может явиться причиной последующих неправильных решений на технологическом этапе, т.е. на этапе строительства. Выполнение всех предписывающих требований к морозостойкости дает основания на прогноз срока службы конструкций из бетона и железобетона не менее 50 лет.

Исследование причин повреждения бетона в конструкциях зданий и сооружений в агрессивных средах класса XF3 и XF4 показало, что в зоне переменного уровня многоциклическое воздействие знакопеременных температур не всегда является преобладающим видом морозного воздействия. Часто бетон разрушается после первого зимнего сезона при длительном обледенении конструкций, когда бетон не подвергается циклам замораживания-оттаивания. Разрушение бетона при механизме замораживания бетона, в котором определяющим параметром является длительность периода воздействия отрицательной температуры в настоящее время не рассматривается как фактор агрессивности [1, 2]. Поэтому на этапе проектирования этот вопрос не принимается во внимание, и, как следствие, не отражается в проектной документации. Часто в проектной документации отсутствуют указания о методах защиты бетона от коррозии в условиях морозного воздействия, не дифференцируется марка по морозостойкости в зависимости от степени агрессивности среды. Необоснованное назначение требований к морозостойкости бетона для агрессивной среды класса XF4 приводит к неправильному выбору технологических решений для обеспечения нормируемой долговечности. В результате разрушение бетона в конструкциях происходит на раннем этапе эксплуатации сооружений.

Основная проблема, возникающая на этапе реализации проектных решений, состоит в том, что основной показатель долговечности бетона – морозостойкость, для агрессивных сред классов XF3 и класса XF4 не контролируется в силу отсутствия оперативных методов контроля. Фактически приемка конструкции осуществляется на основании документов о качестве поставщика продукции, т.е. бетонной смеси. Качественные показатели продукции бетона от поставщика могут соответствовать качеству бетона в конструкции при условии, что режим твердения бетона в конструкции соответствует нормальному режиму, который принят при подборе состава бетона.

В условиях строительной площадки эти требования практически не выполняются, поскольку они четко не прописаны в нормативных документах. На стадии разработки проекта организации строительства (ПОС) они так же прописываются общими фразами, которые не позволяют объективно выполнять оценку соответствия в условиях строительной площадки.

Принимая во внимания, существующие недостатки в оценки соответствия на этапе приемки конструкций в эксплуатацию, автор предложил экспертный метод оценки соответствия долговечности конструкций для агрессивных сред класса XF4.

Алгоритм принятия решения при оценке соответствия бетонных конструкций требованиям долговечности в агрессивных условиях класса XF4 представлен на рисунке 1.

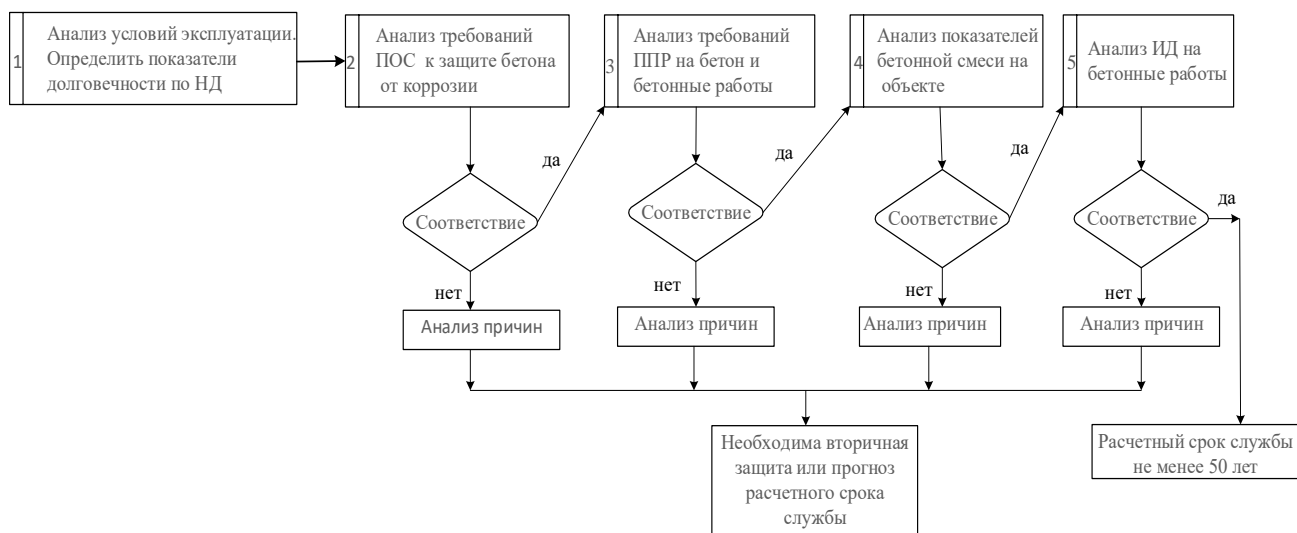


Рисунок 1 – Алгоритм принятия решений при оценке соответствия бетонных конструкций требованиям долговечности в агрессивных условиях класса XF4

На основании проведенных исследований предложено на этапе приемки конструкций в эксплуатацию оценивать режим твердения бетона в конструкции показателем зрелости структуры бетона [3]. Для бетона в зоне действия всплеска волны, где происходит обледенение конструкций и механизм замораживания бетона определяет длительность замораживания в солевом растворе к показателю «критическая зрелость структуры» бетона необходимо добавлять показатель, характеризующий количество свободной воды в порах бетона к моменту замораживания, поскольку механизм разрушения бетона будет связан с процессами влагопереноса внутри бетона. Поэтому при анализе состава бетона необходимо иметь в виду, что при высокой подвижности бетона к началу морозного воздействия в структуре бетона объем свободной воды может способствовать ее миграции к зоне промерзания при градиенте температур и создавать критическое водонасыщение пор.

#### Список литературы:

1. Malyuk V.V., Malyuk V.D. Freezing mechanisms of the concrete in an area of variable water level of port facilities. В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International Science and Technology Conference "Earth Science", ISTC EarthScience 2022 - Chapter 4." 2022. С. 052020.
2. Малюк В.В., Малюк В.Д., Леонович С.Н. Анализ результатов обследования железобетонных конструкций портовых сооружений (о. Сахалин, 1927-2018 гг.) // Бетон и железобетон. 2022. № 1 (609), 3-9 с.
3. Малюк В.В., Малюк В.Д., Леонович С.Н. Совершенствование методов проектирования и технологии бетонных работ (на примере о. Сахалин) // Бетон и железобетон. 2022. № 2 (610). С. 30–34. DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-610-2-30-34>.

**Малюк Владислав Викторович<sup>1,2,3</sup>, Малюк Виктор Данилович<sup>1,2,3</sup>,  
Вавренюк Светлана Викторовна**  
**ОСОБЕННОСТИ ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА  
ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ**

<sup>1</sup>*Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» Дальневосточный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт по строительству (Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» ДальНИИС), город Владивосток, ул. Бородинская, 14, 690033*

<sup>2</sup>*Сахалинский государственный университет, город Южно-Сахалинск, пр. Коммунистический, д. 33, 693000*

<sup>3</sup>*Общество с ограниченной ответственностью «Трансстрой-Тест», Сахалинская область, город Корсаков, ул. Вокзальная, 19г, 694020*

**Аннотация:** В статье представлена методика натурных исследований конструкций морского портового сооружения на о. Сахалин с целью оценки морозного воздействия на бетон. Показаны температурные параметры бетона в зоне переменного уровня при отрицательных температурах воздуха. Установлены принципиальные отличия в механизмах замораживания бетона в зоне переменного уровня воды на участках действия прилива и всплеска волны.  
**Ключевые слова:** бетон, морские сооружения, долговечность, морозное воздействие.

Стратегия развития Дальнего Востока до 2035 года предусматривает увеличение мощностей отечественных морских портов на Дальнем Востоке, развитие инфраструктуры Северного морского пути. Условия строительства в этих условиях характеризуются как агрессивные, поскольку определяющим фактором агрессивности является морозное воздействие. Это предопределяет необходимость в принятии обоснованных эффективных проектных и технологических решений с точки зрения обеспечения требуемой долговечности от морозного воздействия.

Опыт строительства и эксплуатации морских сооружений в суровых климатических условиях, показывает, что проблема обеспечения стойкости бетона остается актуальной и в настоящее время. С одной стороны, примеры длительной стойкости бетона в суровых климатических условиях являются подтверждением того, что проектирование долговечности на предписывающей основе нормативных документов позволяет решать практические задачи, с другой – возрастающие случаи преждевременной потери несущей способности конструкций ставят вопрос о необходимости вводить в нормы проектирования железобетонных конструкций обязательные требования по расчету долговечности [1,2]. Появляются новые задачи, среди которых наиболее значимой является разработка методов проектирования конструкций, зданий и сооружений по жизненному циклу и широкое внедрение контрактов жизненного цикла. Для обеспечения эксплуатационной надежности и безопасности конструкций при коррозионных воздействиях необходимо иметь обоснованные

расчетные методы прогноза стойкости бетона на установленные сроки службы конструкций. Для этого необходимо иметь модели прогноза, разработанные на основе реальной работы бетона в сооружении. Построение прогнозных моделей осложняется тем, что процессы разрушения структуры бетона от внешних воздействий не полностью поняты во всех необходимых деталях, а результаты лабораторных испытаний не всегда отражают реальные условия работы материала в конструкциях. Это вносит неопределенность оценки факторов, определяющих долговечности бетонной конструкции в реальных условиях.

На Дальнем Востоке систематические натурные и лабораторные исследования долговечности бетона морских гидротехнических сооружений проводятся с 1970 года по настоящее время. В период с 1970 по 1990 г.г. эти исследования проводились в Сахалинской научно-исследовательской лаборатории ВНИИ транспортного строительства (ЦНИИС) по целевым программам Минтрансстроя СССР [3]. После ликвидации в 1991 г. Министерства и реорганизации лаборатории, исследования в данном направлении продолжались и продолжают на базе испытательного центра ООО «Трансстрой-Тест» (г. Корсаков, о. Сахалин) на основе энтузиазма сотрудников. С 2020 года работа по исследованию долговечности бетона в агрессивных средах класса XF4 ведется по программе фундаментальных научных исследований Минстроя России и РААСН.

Примеры длительной стойкости бетона в суровых климатических условиях являются подтверждением возможности осуществлять проектирование долговечности на основе требований нормативных документов. Однако мониторинг сооружений, построенных за последние 15 лет, показывает, что возрастает число случаи разрушения конструкций в зоне переменного уровня после непродолжительного срока эксплуатации. Несмотря на большой объем исследований, выполненных по вопросам долговечности бетона в суровых климатических условиях, до настоящего времени отсутствуют научно обоснованные методы, устанавливающие связь между качественными показателями бетона и долговечностью. Поэтому расчетный срок службы конструкций при проектировании сооружений назначается без должного обоснования. Современные представления о механизме разрушения бетона при морозном воздействии основаны на стандартных испытаниях морозостойкости бетона, в которых моделируется система «материал – среда» исходя из имитационной модели, в которой определяющим агрессивным воздействием является многоциклическое замораживание и оттаивание. Эта модель лежит в основе современной концепции проектирования защиты бетона от морозной коррозии. Опыт строительства показывает, что положения этой концепции при проектировании долговечности позволяют получать как вечные бетоны, так и бетоны с непродолжительной стойкостью в зоне переменного уровня воды [4, 5]. Мониторинг состояния бетона в конструкциях морских портовых сооружений показал, что разрушение бетона может происходить после первого зимнего сезона, т.е. при отсутствии многоциклических воздействий в виде замораживания-оттаивания [6,7]. Это предопределило необходимость в оценке реальных

условий эксплуатации бетона в зоне переменного уровня воды. В течение 2020-2022 г.г. проведены исследования по оценки качественных показателей бетона в сооружении с различным сроком эксплуатации – от 1 года до 100 лет, и мониторинг условий эксплуатации бетона в сооружениях, эксплуатируемых на побережье Охотского моря [8]. В этом случае исследовали работу бетона в системе «материал – конструкция – среда».

Исследования предусматривали оценку качественных показателей бетона в конструкциях, состояния бетона в сооружении по внешним признакам и определение температурного режима бетона в поверхностной зоне конструкции на глубине 50 и 100 мм (рисунки 2, 3, 5). Применение современных дистанционных датчиков температуры позволили получить информацию о процессах замораживания бетона на двух характерных участках зоны переменного уровня: а) участок действия прилива, б) участок действия всплеска волны. (рисунок 1).



Рисунок 1 – Общий вид причального сооружения в зимний период (декабрь) в период отлива.



Рисунок 2 – Процесс отбор кернов: а) горизонтальный участок; б) вертикальный участок- зона действия прилива, для лабораторных исследований



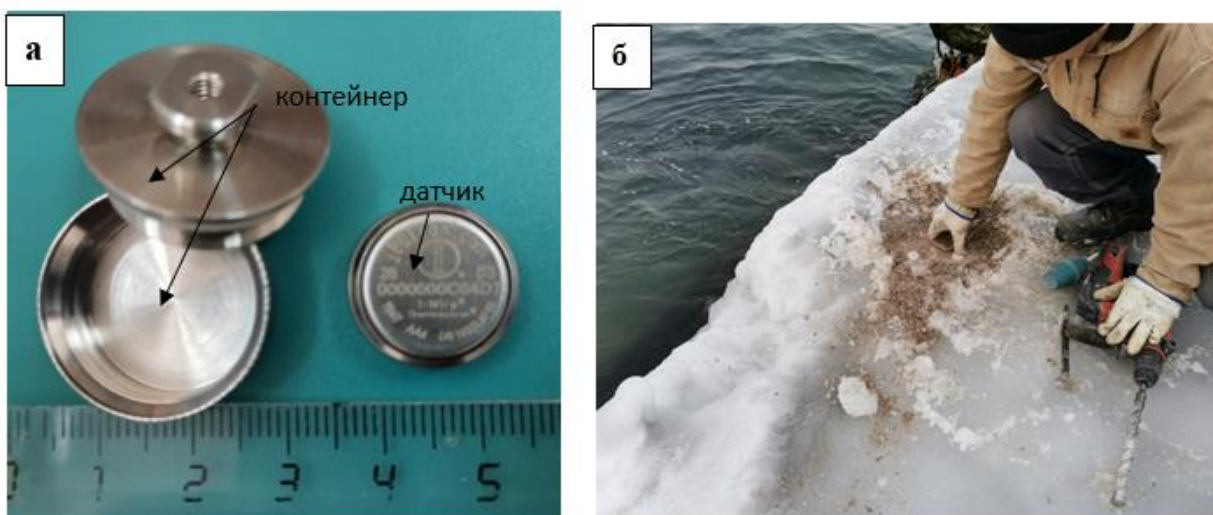


Рисунок 3 – Вид датчика для замера температуры бетона в зоне переменного уровня воды (а), установка датчика температуры в конструкцию (б)

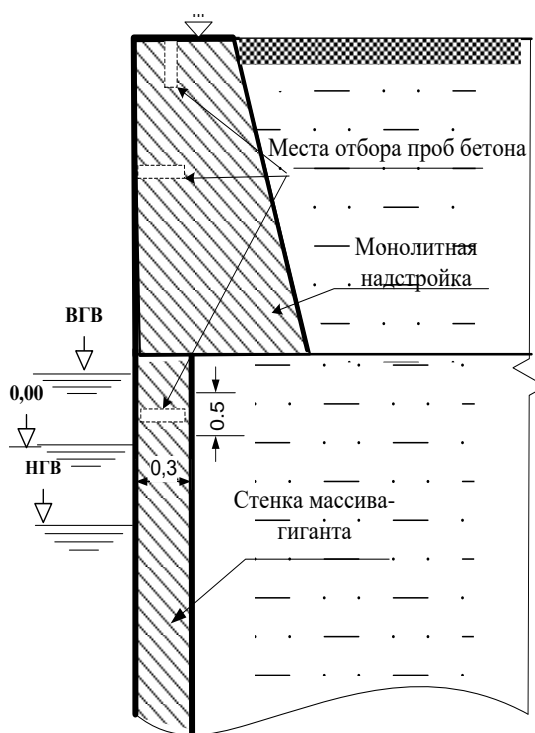


Рисунок 4- Схема причальной стенки с местами отбора проб бетон и замера температуры

В результате установлены реальные механизмы замораживания бетона на различных участках зоны переменного уровня воды. В системе «материал – конструкция – среда» принципиально изменяться механизм замораживания и разрушения бетона [4,8]. В зоне переменного уровня морских сооружений на Дальнем Востоке выделены два характерных участка конструкций, в которых механизмы замораживания бетона отличаются принципиально. Условия эксплуатации бетона на выделенных участках отличаются как по степени насыщения морской водой, так и по величине температурного воздействия. В соответствии с делением на участки зоны переменного уровня был организован инструментальный контроль температуры бетона в конструкции. Для этой цели в тело бетона на различных участках конструкции устанавливали

специальные датчики (рисунок 3), которые фиксировали информацию о температуре в течение зимнего периода. После зимнего сезона они извлекались из конструкции для последующей обработки полученной информации на компьютере. В качестве примера на графиках (рисунок 5) показан ход температуры бетона при самых минимальных температурах воздуха, которые характерны для района расположения объекта.

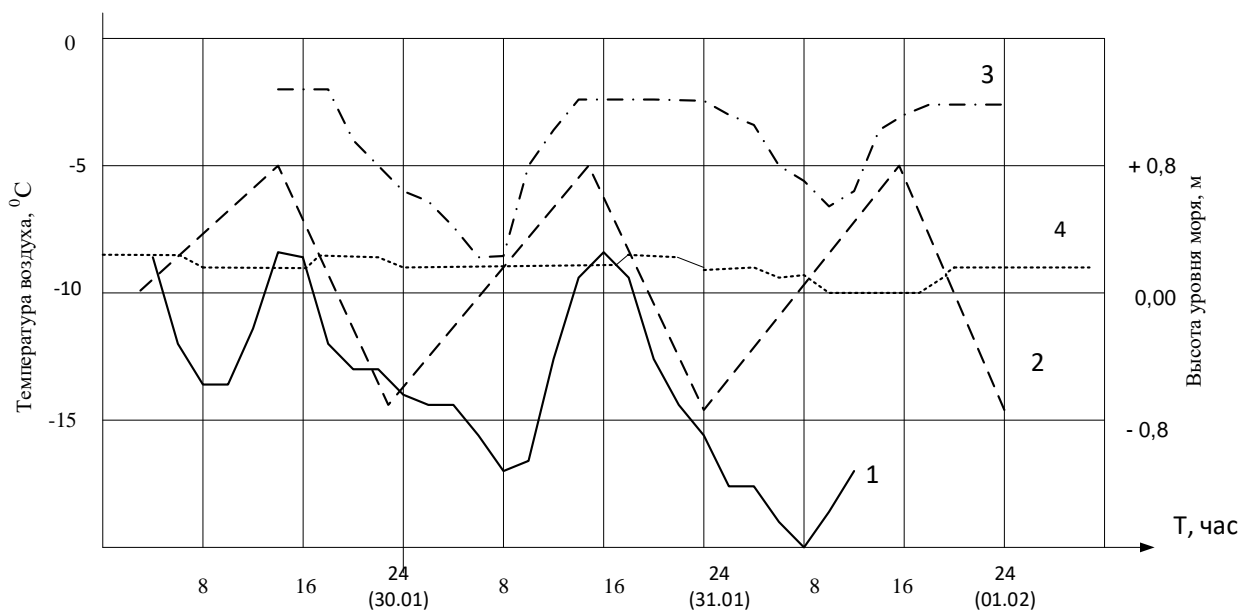


Рисунок 5 - Ход температуры бетона при самых минимальных температурах воздуха.

1 – температура воздуха; 2- ход отлива и прилива; 3- температура бетона на отметке 0,0; 4- температура бетона на отметке + 2,2

На основании мониторинга установлено, что за период 2020-2022 гг. температура в бетоне на глубине 50 мм от поверхности не опускалась ниже минус  $9^{\circ}\text{C}$ , при этой температуре замораживания происходит лишь 2 цикла ЗО за зимний сезон. В основном циклы ЗО происходят при температуре замораживания не ниже минус  $5^{\circ}\text{C}$ .

На участке действия прилива, исходя из общепринятых представлений, замораживание бетона должно проходить на воздухе в период отлива, а оттаивание в воде в период прилива. Однако исследования показали, что в зимний период при температуре воздуха ниже минус  $10^{\circ}\text{C}$  циклическое замораживание и оттаивание бетона происходит на отметках ниже нулевого уровня. Бетон конструкции выше нулевого уровня не подвержен циклам замораживания-оттаивания, поскольку этот участок конструкции покрывается льдом в течение 60 – 90 дней (рисунок 1).

На участке ниже нулевого уровня при самых неблагоприятных условиях замораживание бетона происходит при температуре замораживания не ниже минус  $9^{\circ}\text{C}$ .

Циклическое замораживание и оттаивание бетона на участке прилива происходит в начальный зимний период до середины декабря, когда вода в акватории не опускается ниже  $0^{\circ}\text{C}$  и в конце зимнего периода: это третья декада февраля и первая декада марта, когда повышается температура воздуха и воды в акватории.

Результаты проведенных исследований показывают, что в настоящее время для практики представляет наибольший интерес изучения механизма разрушения бетона при реальном механизме замораживания. Традиционные технологии позволяют обеспечить в зоне переменного уровня морских портовых сооружений срок службы конструкциям из бетона марки по морозостойкости

F<sub>250</sub> не менее 100 лет. Фактически бетон, изготовленный по современным требованиям, имеет морозостойкость минимум на порядок выше, чем это требуется для обеспечения срока службы 100 лет. С одной стороны, это свидетельствует о резервах бетона и возможности для оптимизации требований к бетону, с другой - наблюдаемые случаи преждевременного разрушения конструкций вызывают необходимость установить причины этого несоответствия.

Современная стратегия повышения долговечности строится на основе увеличения морозостойкости бетона, что не позволяет принимать решения по оптимизации технологических решений на этапе строительства. Сложность и многогранность проблемы долговечности при морозной коррозии требует комплексного подхода к ее решению. Разработанные в настоящее время теоретические основы морозостойкости бетона, позволяют перейти к разработке практических моделей долговечности для конкретных условий эксплуатации. Для этого необходимо, во-первых, иметь достоверную информацию о механизмах замораживания бетона при морозном воздействии и, во-вторых, знать качественные показатели бетона, способные обеспечить стойкость с учетом механизма замораживания. Поэтому практические вопросы обеспечения долговечности на основе оптимизации технологических приемов можно решать путем конкретизации задач и учета реальной работы бетона в сооружении. Это дает возможность на основании натуральных исследований объективно оценить эффективность проектирования долговечности.

#### **Список литературы:**

1. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н., Ерофеев В.Т. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2015. № 1. С. 93–02.

2. Розенталь Н.К. Проблемы коррозионного повреждения бетона // Бетон и железобетон. 2007. № 6. С. 29–30.

3. Свиридов В.Н. Оценка долговечности бетона в конструкциях морских сооружений по опыту строительства на Дальнем Востоке /В.Н. Свиридов, В.Д. Малюк. – Текст : непосредственный// Бетон и железобетон- взгляд в будущее. В 7-ми томах: научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону, Москва, 12-16 мая 2014 г. Т.3: Арматура и система армирования. Фибробетоны и армоцементы. Проблемы долговечности/ под ред. Б.Н. Гусева.- Москва: МИСИ-МГСУ. 2014.- С. 388-398.

4. Malyuk V., Degradation and sudden failure of concrete structures of marine hydraulic structures in severe hydrometeorological conditions. Far East Con-2018. International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 463 (2018) 022071. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/463/2/022071>.

5. Вавренюк С.В., Ефименко Ю.В., Вавренюк В.Г., Фарафонов А.Э. Результаты исследования причин разрушения бетонного покрытия морского пирса на побережье Японского моря // Строительные материалы. - 2019. №11.

6. Malyuk V.V., Malyuk V.D. Freezing mechanisms of the concrete in an area of variable water level of port facilities. В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International Science and Technology Conference "Earth Science", ISTC EarthScience 2022 - Chapter 4." 2022. С. 052020.

7. Malyuk V.V., Malyuk V.D., Lobodyuk A.V. Operating conditions and damage to the concrete of port facilities on the southern coast of Sakhalin. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International Science and Technology Conference "Earth Science", ISTC EarthScience 2022 - Chapter 4." 2022. С. 052035.

8. Малюк В.В., Малюк В.Д., С.Н. Леонович. Методика обследования железобетонных конструкций портовых сооружений (о. Сахалин) // Бетон и железобетон. 2021. № 5-6 (607-608), 67-74 с.

**Бирюков Александр Николаевич<sup>1</sup>, Клюев Виктор Дмитриевич<sup>2</sup>**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ**  
**ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО ДЕМОНТАЖУ МОНОЛИТНЫХ**  
**ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

*<sup>1</sup>Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения им генерала армии В.А. Хрулева, кафедра «Технология, организация и экономика строительства» Почтовый адрес: ул. Захарьевская дом 22, Санкт-Петербург, Россия, 191123.*

*<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт «Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертиз» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации Почтовый адрес: ул. Антонова-Овсеенко, д. 13, к. 1, Москва, Россия, 123317*

**Аннотация:** В данной статье акцентированно внимание на актуальности исследования перспектив развития технологии производства демонтажных работ монолитных железобетонных несущих конструкций. Рассматриваются специфичные особенности технологии производства работ по демонтажу монолитных железобетонных несущих конструкций. Предлагается в качестве перспективной технологии решение по разделению железобетонного массива на укрупненные транспортабельные блоки.

**Ключевые слова:** технология, демонтажные работы, снос, монолитные конструкции, алмазная резка.

Согласно исследованиям ряда ученых около 80% разбираемых конструкций составляют железобетонные конструкции [1-5]. Объемы разбираемых железобетонных конструкций представлены на рисунке 1 [6].

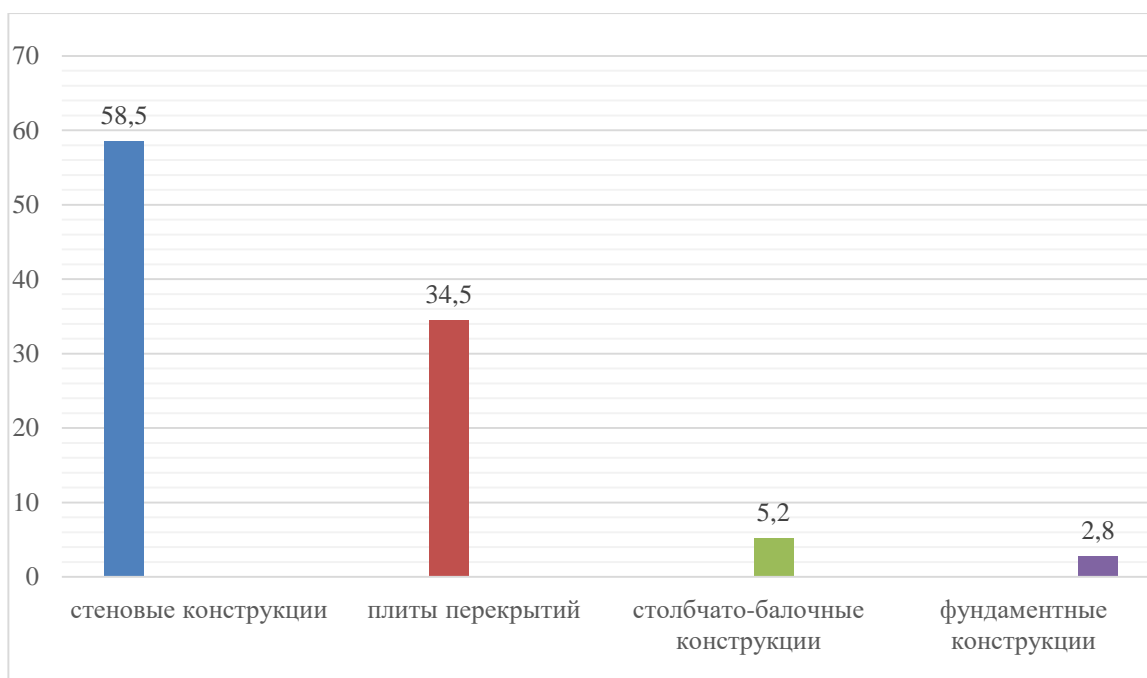


Рисунок 1 - Объемы разбираемых железобетонных конструкций, %

Внутренняя планировка зданий выполнена с большим количеством внутренних стен и перегородок, что требует применения малогабаритных и мобильных средств разборки. Результаты анализа объемов разбираемых железобетонных конструкций, представленные на рисунке 1 показали, что демонтажу подлежат преимущественно стеновые конструкции и плиты перекрытий [7].

Приведенная классификация в СП 325.1325800.2017 подлежащих разборке бетонных и железобетонных конструкций, применяющихся при выборе способов и средств разборки, недостаточна для решения вопросов технологии производства работ по демонтажу монолитных железобетонных конструкций [8].

Учитывая, что монолитного бетона и железобетона, включая гидротехническое и транспортное строительство в 1965 г. было уложено около 85 млн. м<sup>3</sup> (т.е. почти в 1,5 раза больше, чем сборного), нельзя снижать внимание к монолитным конструкциям, которые в определенных условиях являются более рациональными [9].

Ежегодный объем конструкций зданий и сооружений подлежащие демонтажу (сносу) по территории Российской Федерации составляет около 1,5 млн. куб. м. [10].

В настоящее время в России и за рубежом большое распространение получили новые технологии возведения каркасных зданий из монолитного бетона. Массовое строительство подобных конструкций через несколько десятков лет вследствие морального или физического износа столкнется с проблемой их экономичного демонтажа [11-13].

Большая номенклатура конструктивных элементов и значительные их различия по весу (разновесность) отрицательно влияют на темп работ по демонтажу и использование кранов по грузоподъемности и времени (рисунок 2) [14-16].

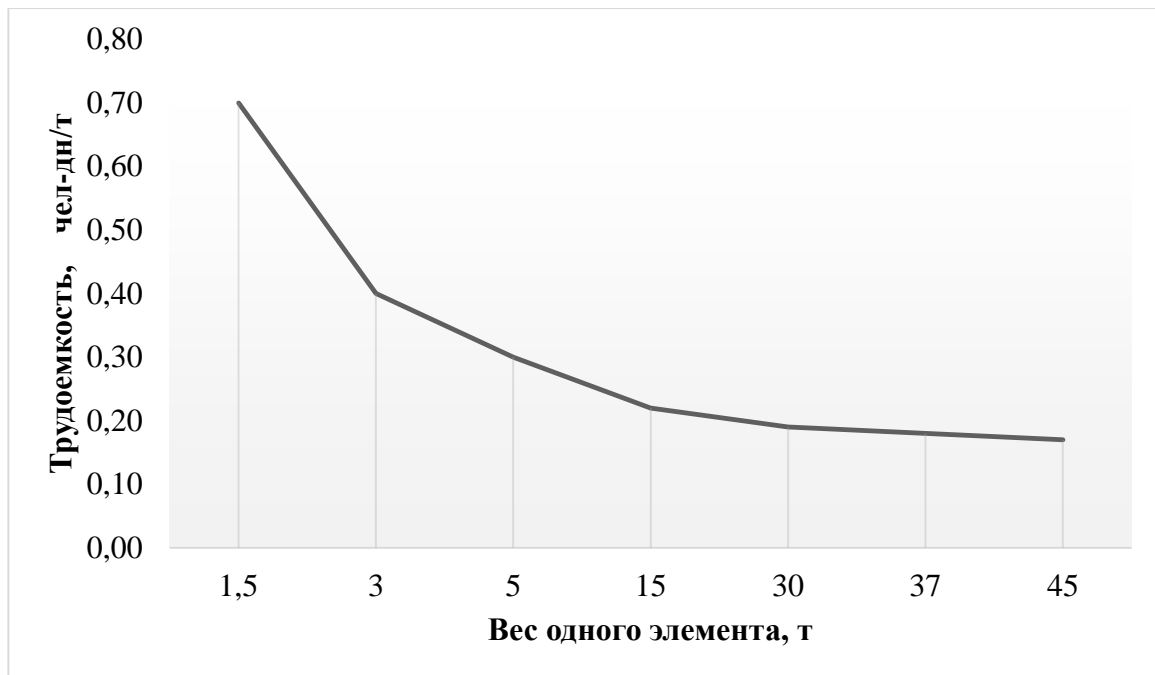


Рисунок 2 - Зависимость трудоемкости демонтажа от веса элемента

Для оценки сборного железобетонного здания с точки зрения равновесности элементов служит показатель демонтажного веса [14-16]

$$K = \frac{Q_{\text{ср}}}{Q_{\text{нб}}}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{ср}}$  – средний вес отдельного элемента, т;

$Q_{\text{нб}}$  – наибольший вес конструктивного элемента по зданию, т;

Демонтажную высоту вычисляют по формуле:

$$H_{\text{д}} = h_0 + h_з + h_э + h_с, \quad (2)$$

где  $H_{\text{д}}$  - высота производства работ по демонтажу конструкции, м;

$h_0$  - превышение опоры демонтируемого элемента над уровнем стоянки крана, м;

$h_з$  - запас по высоте, требующийся по условиям безопасности для снятия конструкций к месту складирования (принимается не менее 0,5 м), м;

$h_э$  - высота железобетонного элемента, м;

$h_с$  - высота строповки в рабочем положении от верха демонтируемого элемента до низа крюка крана, м [17].

Как показывают исследования ряда ученых наиболее сложными и трудоемкими, до 60% от общего объема, является производство работ по демонтажу, связанных с разборкой и резкой пространственно-сложных, высокопрочных, массивных конструкций и оборудования, большой металлоемкости, заполненных бетоном полостей и фундаментов [18-20].

Одной из самых перспективных технологий разделения монолитных железобетонных несущих конструкций на транспортабельные элементы, исключая динамическое воздействие на элементы конструкции, является применение алмазной резки канатной машиной [20].

Таким образом, подтверждена актуальность исследования перспектив развития технологии производства демонтажных работ монолитных железобетонных несущих конструкций. Рассмотренные специфические особенности технологии производства работ по демонтажу монолитных железобетонных несущих конструкций показали, что наиболее технически сложной и трудоемкой операцией является разделение строения на транспортабельные элементы. По мнению авторов для решения данной задачи наиболее целесообразной технологией является алмазная резка канатной машиной.

### **Список литературы:**

1. Бирюков А.Н. О возможности взаимодействия подразделений публично-правовой компании «военно-строительная компания» Министерства обороны Российской Федерации и подразделений материально-технического обеспечения войск национальной гвардии при ликвидации последствий вооруженных конфликтов / А.Н. Бирюков, А.А. Хлыстунов // Актуальные вопросы материально-технического обеспечения войск национальной гвардии Российской Федерации : Сборник научных статей X Всероссийской научно-практической конференции, Пермь, 18 февраля 2022 года. – Пермь: Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации», 2022. – С. 57-61. – EDN VYGCRC.

2. Бирюков, А.Н. Разработка и формализация основных показателей, определяющих систему экономической безопасности жилищно-коммунального хозяйства военной организации государства / А. Н. Бирюков, А. Н. Бирюк // Актуальные вопросы материально-технического обеспечения войск национальной гвардии Российской Федерации : Сборник научных статей X Всероссийской научно-практической конференции, Пермь, 18 февраля 2022 года. – Пермь: Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации», 2022. – С. 62-73. – EDN LBMVRB.

3. Бирюков, А.Н. Особенности обеспечения экономической безопасности жилищно-коммунального хозяйства Министерства обороны Российской Федерации / А. Н. Бирюков, А. Н. Бирюк // Актуальные проблемы военно-научных исследований. – 2022. – № S1(20). – С. 8-17. – EDN GGKJMM.

4. Implementation of techniques and design of equipment for the production of the food liquids / T. Drozdova, A. Biryukov, N. Kachaeva [et al.] // Journal of Physics: Conference Series : International Conference "Actual Trends in Radiophysics", Tomsk, 01–04 октября 2019 года. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012003. – DOI 10.1088/1742-6596/1499/1/012003.

5. Efficiency Evaluation of Apartment Houses Reconstruction with Optimizational Criteria Application / A. N. Biryukov, I. N. Kravchenko, E. O. Dobryshkin [et al.] // International Journal for Computational Civil and Structural

Engineering. – 2020. – Vol. 16. – No 1. – P. 14-24. – DOI 10.22337/2587-9618-2020-16-1-14-24.

6. Complex approach to organizations' capital assets reproduction / A. Birjukov, E. Dobryshkin, Y. Birjukov, V. Tishchenko // E3S Web of Conferences : Key Trends in Transportation Innovation, KTTI 2019, Khabarovsk, 24–26 октября 2019 года. – Khabarovsk: EDP Sciences, 2020. – P. 04026. – DOI 10.1051/e3sconf/202015704026.

7. Determination of the type of repair work based on the results of survey and monitoring of the technical condition of buildings / A. Birjukov, A. Lebedkin, Y. Birjukov, V. Pchelkin // E3S Web of Conferences : Key Trends in Transportation Innovation, KTTI 2019, Khabarovsk, 24–26 октября 2019 года. – Khabarovsk: EDP Sciences, 2020. – P. 06023. – DOI 10.1051/e3sconf/202015706023.

8. Optimization of management decisions for choosing strategy of enterprises fixed assets reproduction / A. N. Biryukov, E. Dobryshkin, I. N. Kravchenko, M. A. Glinsky // Engineering for Rural Development, Jelgava, 22–24 мая 2019 года. – Jelgava: Без издательства, 2019. – P. 1726-1735. – DOI 10.22616/ERDev2019.18.N505.

9. Kazakov, Yu. Fast assembly of quality suspended ventilated facades / Yu. Kazakov, A. Birjukov // Architecture and Engineering. – 2017. – Vol. 2. – No 1. – P. 32-40.

10. Bolotin, S. Time management in drafting probability schedules for construction work / S. Bolotin, A. Birjukov // World Applied Sciences Journal. – 2013. – Vol. 23. – No 13. – P. 1-4. – DOI 10.5829/idosi.wasj.2013.23.pac.90001.

11. Бирюков А.Н., Коновалов В.Б., Зенков В.Ю., Бирюков Н.А., Гончаров М.О., Гудечек В.В. Программа обеспечения энергетической безопасности объектов. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019615324, 24.04.2019. Заявка № 2019611979 от 27.02.2019.

12. Бирюков А.Н., Бирюков Ю.А., Руденко А.А. Техно-экономические и организационные аспекты восстановления объектов военной инфраструктуры: монография/Бирюков А.Н., Бирюков Ю.А., Руденко А.А. – СПб.: ВИ(ИТ) ВАМТО, 2021. – 284 с.

13. Бирюков А.Н., Буланов А.И. Стратегия развития строительного предприятия в современных условиях. СПб, ВИТУ, 2004.

14. Бирюков А.Н., Денисов В.Н., Бирюков Ю.А. Восстановление объектов военной инфраструктуры при ликвидации последствий вооруженных конфликтов: моногр. СПб.: ВИ(ИТ) ВА МТО, 2019. - 338 с.

15. Бирюков А.Н., Бирюков Ю. А., Токарев Н.В. Выбор средств механизации для выполнения демонтажных работ / А. Н. Бирюков, Ю. А. Бирюков, Н. В. Токарев // Строительные и дорожные машины. – 2017. – № 11. – С. 48-53.

16. Бирюков, А.Н. Таутиев И.М. Основные методы выбора средств механизации при проведении демонтажных работ / Технология строительного производства. Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции, посвящённой 190-летию Санкт-Петербургского государственного



архитектурно-строительного университета (ЛИСИ – СПбГАСУ). Санкт-Петербург, 2022. С. 14-20.

17. Бирюков А.Н., Таутиев И.М. Анализ современного состояния процесса выбора средств механизации при проведении демонтажных работ / Современные проблемы менеджмента в строительстве. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 202. С. 246-254.

18. Бирюков А.Н., Кравченко И. Н., Лудченко Н. И. Оптимизация поставок материально-технических ресурсов для производства ремонтно-восстановительных работ / А. Н. Бирюков, И. Н. Кравченко, Н. И. Лудченко [и др.] // Строительные и дорожные машины. – 2018. – № 10. – С. 52-56.

19. Бирюков А.Н., Кравченко И.Н., Лудченко Н.И. Подбор состава комплекта средств механизации в зависимости от способа выполнения демонтажных работ / А. Н. Бирюков, Ю. А. Бирюков, И. Н. Кравченко, Н. В. Токарев // Строительные и дорожные машины. – 2018. – № 3. – С. 49-55.

20. Бирюков А.Н., Иванова И.С. Методика обеспечения энергетической безопасности зданий и сооружений на основе их вариантного проектирования с учетом энергоэффективности эксплуатационного содержания/ Нормирование и оплата труда в строительстве. 2019. № 1. С. 49-57.

## **Bibliography:**

1. Biryukov A.N. On the possibility of interaction between the units of the public law company "Military Construction Company" of the Ministry of Defense of the Russian Federation and the units of material and technical support of the National Guard troops in the aftermath of armed conflicts / A.N. Biryukov, A.A. Khlystunov // Actual issues of material and technical support of the National Guard troops of the Russian Federation : Collection of scientific articles of the X All-Russian Scientific and Practical Conference, Perm, February 18, 2022. – Perm: Federal State State Military Educational Institution of Higher Education "Perm Military Institute of the National Guard Troops of the Russian Federation", 2022. – pp. 57-61. – EDN VYGCRC.

2. Biryukov, A.N. Development and formalization of the main indicators determining the system of economic security of housing and communal services of the military organization of the state / A. N. Biryukov, A. N. Biryuk // Actual issues of material and technical support of the troops of the National Guard of the Russian Federation : Collection of scientific articles of the X All-Russian Scientific and Practical Conference, Perm, February 18, 2022. – Perm: Federal State-owned Military Educational Institution of Higher Education "Perm Military Institute of the National Guard Troops of the Russian Federation", 2022. – Pp. 62-73. – EDN LBMVRB.

3. Biryukov, A.N. Features of ensuring economic security of housing and communal services of the Ministry of Defense of the Russian Federation / A. N.

Biryukov, A. N. Biryuk // Actual problems of military scientific research. – 2022. – No. S1(20). – pp. 8-17. – EDN GGGJMM.

4. Implementation of techniques and design of equipment for the production of the food liquids / T. Drozdova, A. Biryukov, N. Kachaeva [et al.] // Journal of Physics: Conference Series : International Conference "Actual Trends in Radiophysics", Tomsk, October 01-04, 2019. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012003. – DOI 10.1088/1742-6596/1499/1/012003.

5. Efficiency Evaluation of Apartment Houses Reconstruction with Optimizational Criteria Application / A. N. Biryukov, I. N. Kravchenko, E. O. Dobryshkin [et al.] // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2020. – Vol. 16. – No 1. – P. 14-24. – DOI 10.22337/2587-9618-2020-16-1-14-24.

6. Complex approach to organizations' capital assets reproduction / A. Birjukov, E. Dobryshkin, Y. Birjukov, V. Tishchenko // E3S Web of Conferences : Key Trends in Transportation Innovation, KTTI 2019, Khabarovsk, October 24-26, 2019. – Khabarovsk: EDP Sciences, 2020. – P. 04026. – DOI 10.1051/e3sconf/202015704026.

7. Determination of the type of repair work based on the results of survey and monitoring of the technical condition of buildings / A. Birjukov, A. Lebedkin, Y. Birjukov, V. Pchelkin // E3S Web of Conferences : Key Trends in Transportation Innovation, KTTI 2019, Khabarovsk, October 24-26, 2019. – Khabarovsk: EDP Sciences, 2020. – P. 06023. – DOI 10.1051/e3sconf/202015706023.

8. Optimization of management decisions for choosing strategy of enterprises fixed assets reproduction / A. N. Biryukov, E. Dobryshkin, I. N. Kravchenko, M. A. Glinsky // Engineering for Rural Development, Jelgava, May 22-24, 2019. – Jelgava: Without publishing house, 2019. – P. 1726-1735. – DOI 10.22616/ERDev2019.18.N505.

9. Kazakov, Yu. Fast assembly of quality suspended ventilated facades / Yu. Kazakov, A. Birjukov // Architecture and Engineering. – 2017. – Vol. 2. – No 1. – P. 32-40.

10. Bolotin, S. Time management in drafting probability schedules for construction work / S. Bolotin, A. Birjukov // World Applied Sciences Journal. – 2013. – Vol. 23. – No. 13. – P. 1-4. – DOI 10.5829/idosi.wasj.2013.23.pac.90001.

11 Biryukov A.N., Konovalov V.B., Zenkov V.Yu., Biryukov N.A., Goncharov M.O., Gudechek V.V. Program for ensuring energy security of facilities. Certificate of registration of the computer program RU 2019615324, 04/24/2019. Application No. 2019611979 dated 27.02.2019.

12. Biryukov A.N., Biryukov Yu.A., Rudenko A.A. Technical, economic and organizational aspects of the restoration of military infrastructure facilities: monograph/Biryukov A.N., Biryukov Yu.A., Rudenko A.A. – St. Petersburg: VI(IT) VAMTO, 2021. – 284 p.

13. Biryukov A.N., Bulanov A.I. Strategy of development of a construction enterprise in modern conditions. St. Petersburg, VITU, 2004.

14. Biryukov A.N., Denisov V.N., Biryukov Yu.A. Restoration of military infrastructure facilities in the aftermath of armed conflicts: monogr. SPb.: VI(IT) VA MTO, 2019. - 338 p.
15. Biryukov A.N., Biryukov Yu. A., Tokarev N.V. The choice of means of mechanization for carrying out dismantling works / A. N. Biryukov, Yu. A. Biryukov, N.V. Tokarev // Construction and road machines. – 2017. – No. 11. – pp. 48-53.
16. Biryukov, A. N. Tautiev I.M. Basic methods of selecting mechanization tools during dismantling works / Technology of construction production. Materials of the All-Russian Youth Scientific and Practical Conference dedicated to the 190th anniversary of the St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (LISI – SPbGASU). St. Petersburg, 2022. pp. 14-20.
17. Biryukov A.N., Tautiev I.M. Analysis of the current state of the process of choosing mechanization tools during dismantling works / Modern problems of management in construction. Materials of the All-Russian Scientific and practical Conference. St. Petersburg, 202. pp. 246-254.
18. Biryukov A.N., Kravchenko I. N., Ludchenko N. I. Optimization of supplies of material and technical resources for the production of repair and restoration works / A.N. Biryukov, I.N. Kravchenko, N.I. Ludchenko [et al.] // Construction and road vehicles. – 2018. – No. 10. – pp. 52-56.
19. Biryukov A.N., Kravchenko I.N., Ludchenko N.I. Selection of the composition of a set of mechanization tools depending on the method of performing dismantling works / A.N. Biryukov, Yu.A. Biryukov, I.N. Kravchenko, N.V. Tokarev // Construction and road machines. – 2018. – No. 3. - pp. 49-55.
20. Biryukov A.N., Ivanova I.S. Methodology for ensuring energy security of buildings and structures based on their variant design taking into account the energy efficiency of operational maintenance/ Rationing and remuneration in construction. 2019. No. 1. pp. 49-57.

**<sup>1</sup>Бирюков Александр Николаевич, <sup>2</sup>Клюев Виктор Дмитриевич  
ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ ПРИ  
ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ**

*<sup>1</sup>Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва, кафедра Технологии, организации и экономики строительства.*

*Санкт-Петербург, улица Захарьевская дом 22, 191123*

*<sup>2</sup>Департамент Национальной ассоциации стоимостного инжиниринга.  
Москва, улица Россолимо дом 17, 119021*

**Аннотация:** в статье изложены особенности при определении влияния факторов, характеризующих специфику монтажных работ, на эксплуатационные затраты и продолжительность работы машин и механизмов. Авторами разработана модель, учитывающая нормативно-параметрический метод, регрессионную и ковариационную зависимости, что позволяет оценить совокупность влияния факторов на эксплуатационные затраты и

продолжительность работы машин и механизмов, описать порядок расчета эксплуатационных затрат и продолжительности работы машин и механизмов и сформировать объем инвестиций на эксплуатационные затраты машин и механизмов.

**Ключевые слова:** демонтажные работы, экономико-математическая модель, эксплуатационные затраты, машины и механизмы.

Сущностью разработанной модели является формирование объема капитальных вложений на восстановление зданий и сооружений при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций в части производства демонтажных работ.

Состав затрат на эксплуатацию машин и механизмов при производстве демонтажных работ представлен на (рисунок1) [1].

Для определения объема капитальных вложений на восстановление зданий и сооружений в составе модели разработана блок-схема расчёта машиноёмкости машин и механизмов в зависимости от условий производства работ представленная на (рисунок 2) [1].

Для прогнозирования последующих расчётов эксплуатационных затрат и машиноёмкости машин и механизмов для производства демонтажных работ выявлены основные факторы, влияющие на них, которые представлены в таблице 1 [2].

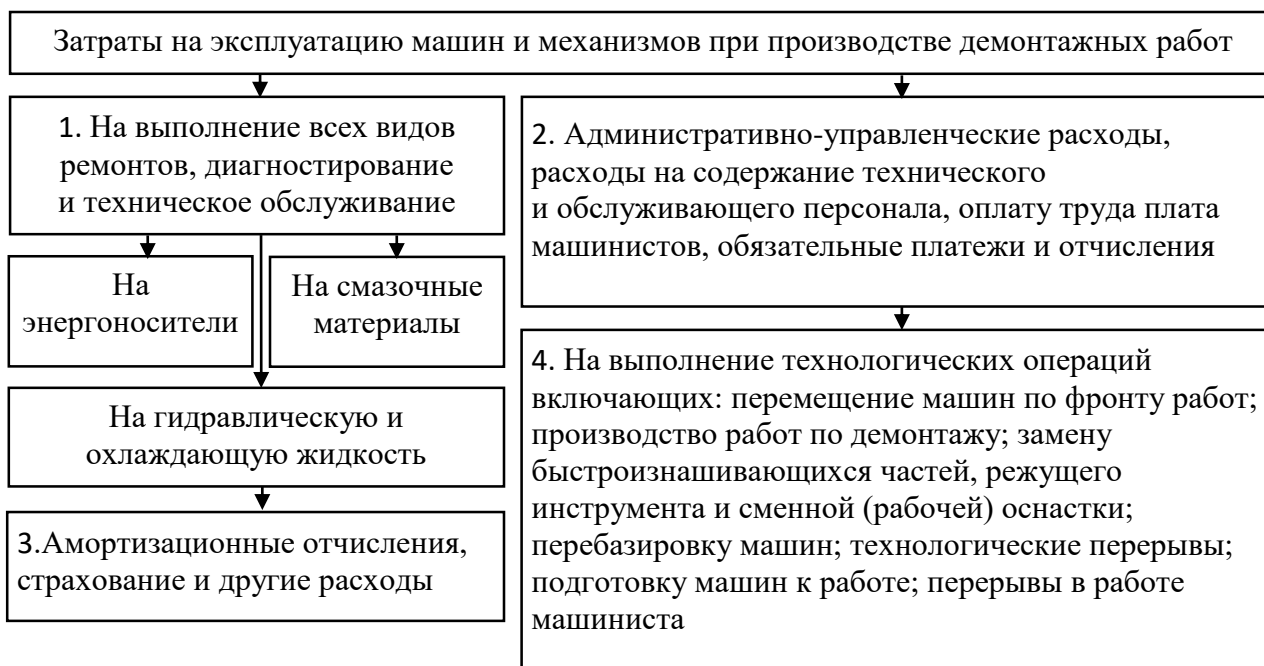


Рисунок 1 - Состав затрат на эксплуатацию машин и механизмов при производстве демонтажных работ

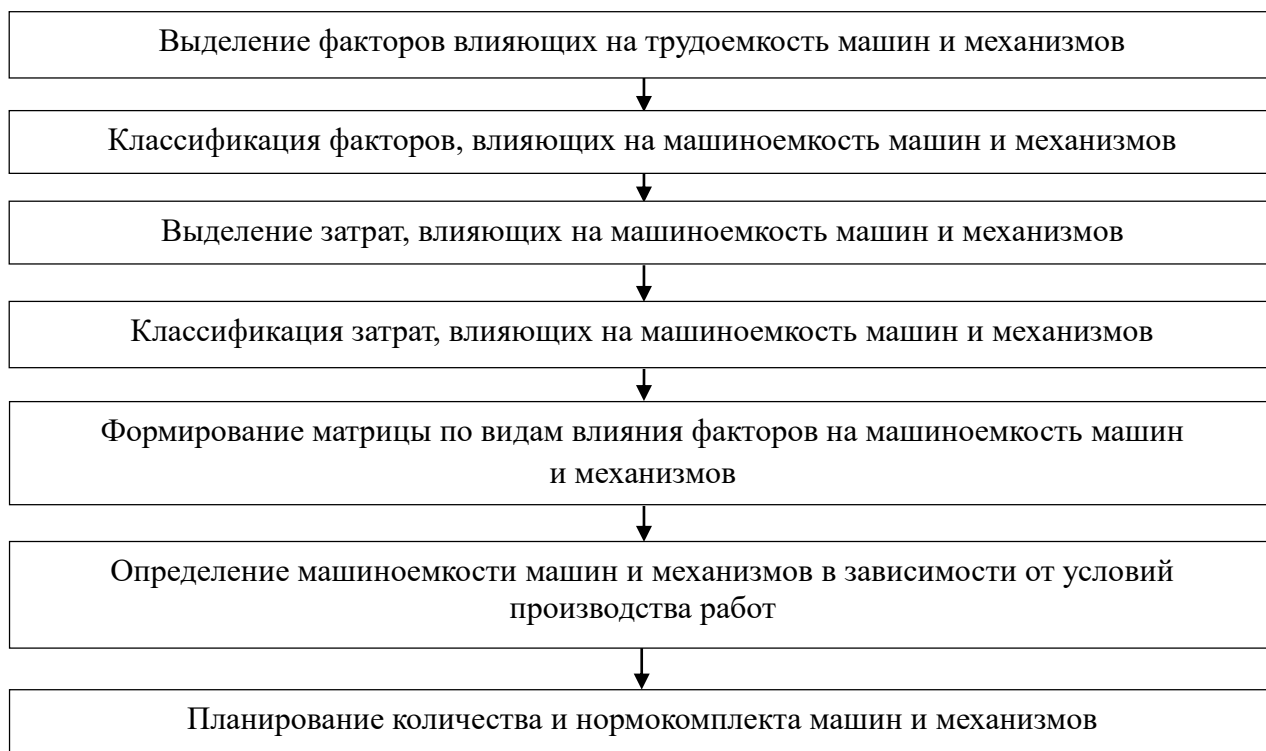


Рисунок 2 - Блок-схема расчёта машиноёмкости машин и механизмов в зависимости от условий производства демонтажных работ

Таблица 1

Основные факторы, влияющие на эксплуатационные затраты и машиноёмкость демонтажных работ

Основные факторы, влияющие на эксплуатационные затраты и машиноёмкость работ		
X <sub>1</sub> - объемно-планировочные и архит. параметры объекта	X <sub>13</sub> - коэффициент на перебазировку машин	X <sub>25</sub> – коэффициент на перерывы в работе машиниста
X <sub>2</sub> - географическое положение объекта	X <sub>14</sub> - коэффициент технологические перерывы	X <sub>26</sub> – уровень подготовки машин к работе
X <sub>3</sub> – природно-климатические условия местности	X <sub>15</sub> – стоимость страхования техники	X <sub>27</sub> – показатель демонтируемости объекта
X <sub>4</sub> - наличие инженерных систем и их компоновка	X <sub>16</sub> - уровень затрат на зарплату машинистов, технический и обслуживающий персонал	X <sub>28</sub> – показатель внутренней стесненности объекта
X <sub>5</sub> – обеспеченность трудовыми ресурсами (машинисты)	X <sub>17</sub> - стоимость смазочных материалов	X <sub>29</sub> – показатель внутриплощадочных проездов объекта
X <sub>6</sub> - наличие и объем средств механизации	X <sub>18</sub> - стоимость энергоносителя	X <sub>30</sub> – показатель закрытости застройки
X <sub>7</sub> - наличие сложного технологического оборудования	X <sub>19</sub> - стоимость гидравлической и охлаждающей жидкостей	X <sub>31</sub> – показатель плотности застройки
X <sub>8</sub> - режим функционирования объекта	X <sub>20</sub> – стоимость амортизационных отчислений	X <sub>32</sub> – показатель стесненности по

		транспортным габаритам демонтажного механизма
X <sub>9</sub> – качество выполнения всех видов ремонтов, диагностирования и технического обслуживания	X <sub>21</sub> – достаточность компоновки технической документации об элементах объекта	X <sub>33</sub> – показатель стесненности использования демонтажных механизмов
X <sub>10</sub> – качество выполнения технологических операций	X <sub>22</sub> – уровень износа техники	X <sub>34</sub> – показатель необходимости мониторинга сохраняемых конструкций
X <sub>11</sub> – уровень замены быстроизнашивающихся частей, инструмента	X <sub>23</sub> – уровень квалификации технического и обслуживающего персонала	X <sub>35</sub> – показатель непрерывности процесса производства работ
X <sub>12</sub> – коэффициент перемещения машин по фронту работ	X <sub>24</sub> – наличие средств автоматизации и индикации	X <sub>36</sub> – коэффициент, характеризующий удаленность от баз снабжения и затраты на транспортировку

Кроме того, для последующих расчётов выделены виды затрат на эксплуатацию машин и механизмов и факторы, влияющие на машиноёмкость машин и механизмов, которые представлены на (рисунок 3) [2].



Рисунок 3 - Классификация основных факторов демонтажных работ, оказывающих влияние эксплуатационные затраты и машиноёмкость машин и механизмов

Рассчитана зависимость эксплуатационных затрат на машины и механизмы от факторов-аргументов, влияющих на производство демонтажных работ ( $x_1, x_{27}, x_{31}, x_{33}, x_{34}, x_{35}$ ), описываемая линейной многофакторной функцией вида [3]:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_{27}x_{27} + b_{31}x_{31} + b_{33}x_{33} + b_{34}x_{34} + b_{35}x_{35}. \quad (1)$$

Основные параметры модели зависимости эксплуатационных затрат и машиноемкости машин и механизмов от варианта производства работ представлены в табл.2 [4].

Для количественной оценки степени влияния перечисленных факторов на уровень годовых эксплуатационных затрат на машины и механизмы была построена ковариационная модель вида [5]:

$$\hat{y} = 0,04x_1 + 2,85x_{27} - 1,20x_{31} - 2,16x_{33} + 2,73x_{34} + 29,66x_{35}. \quad (2)$$

Таблица 2

Параметры модели зависимости эксплуатационных затрат и машиноемкости машин и механизмов от варианта производства работ

Обозначение коэффициентов регрессии	Параметры модели						
	$b_0$	$b_1$	$B_{27}$	$B_{31}$	$B_{33}$	$B_{34}$	$B_{35}$
Значения коэффициентов регрессии	0	0,04	2,85	-1,20	-2,16	2,73	29,66

Коэффициенты регрессии показывают, что увеличение объемно-планировочных и архитектурных параметров ОВИ на 1 м<sup>2</sup> влечет увеличение затрат на 0,04 млн. руб.; увеличение демонтируемого объема на объекте на 1 % оказывает влияние на рост эксплуатационных затрат в объеме 2,85 млн. руб.; снижение показателя плотности застройки на 1 % влечет снижение эксплуатационных затрат на машины и механизмы на 1,20 млн. руб.; снижение показателя стесненности использования демонтажных механизмов на 1 % влечет снижение затрат на 2,16 млн. руб.; рост показателя необходимости мониторинга сохраняемых конструкций на 1 % приведет к увеличению затрат на 2,73 млн. руб.; рост показателя непрерывности процесса производства демонтажных работ на 1 % увеличивает эксплуатационные затраты на 29,66 млн. руб.

Расчетное значение дисперсионного отношения Фишера  $F_{расч.}=46,72$  с 6 и 73 степенями свободы значительно превосходит табличное  $F_{табл.}=2,21$  при 95% уровне значимости, что позволяет сделать вывод об адекватности построенной модели исследуемому процессу формирования затрат и, следовательно, делает корректным ее использование в расчете эксплуатационных затрат. Соответственно, влияние факторов, заложенных в модель, на расчет эксплуатационных затрат существенно [6-8].

Этот же вывод подтверждает величина множественного коэффициента корреляции ( $R=0,971$ ), показывающего очень высокую тесноту линейной связи факторов с изучаемым показателем. Квадрат множественного коэффициента

корреляции, выраженный в процентах, показывает, что в рассматриваемом случае на 94,41% изменения затрат объясняются соответствующими изменениями учтенных в модели факторов.

Значимость каждого включенного в модель фактора оценим с помощью квантилей распределения Стьюдента. Для всех коэффициентов регрессии, квантили распределения Стьюдента составили [9-10]:  $t_1^p=0,003$ ,  $t_{27}^p=2,85$ ,  $t_{31}^p=-1,20$ ,  $t_{33}^p=-2,16$ ,  $t_{34}^p=2,7$ ,  $t_{35}^p=29,66$  и оказались выше табличного значения  $t=1,99$  при 95% уровне значимости, кроме факторов  $x_1$ ,  $x_{31}$ . Несмотря на это исключать эти факторы из модели не целесообразно, учитывая значимость их влияния на производство демонтажных работ.

Непосредственный расчет эксплуатационных затрат осуществляется путем использования различных характеристик регрессионной модели. Чаще других в практических расчетах используются частные коэффициенты абсолютного роста и частные коэффициенты эластичности, численные значения коэффициентов эластичности приведены в табл.3 [10-12]:

$$b_k = \partial Y / \partial X_n \quad (3)$$

$$E_k = \frac{\partial Y}{\partial X_n} / \frac{\bar{Y}}{\bar{X}_n} \quad (4)$$

Таблица 3

Коэффициенты эластичности эксплуатационных затрат

№ п/п.	Факторы	Коэффициенты эластичности $E_k$
1.	Объемно-планировочные и архитектурные параметры объекта, м <sup>2</sup>	0,9725
2.	Показатель демонтируемости объекта, %	0,1976
3.	Показатель плотности застройки, %	-0,147
4.	Показатель стесненности использования демонтажных механизмов, %	-0,301
5.	Показатель необходимости мониторинга сохраняемых конструкций, %	0,2463
6.	Показатель непрерывности процесса производства демонтажных работ, %.	0,032

Коэффициенты эластичности эксплуатационных затрат показывают, что увеличение факторов, представленных в таблице 3 [13], влечёт увеличение или снижение соответствующих затрат.

Общий объем эксплуатационных затрат на машины и механизмы, представленный в данной модели, как сумма затрат на эксплуатацию по видам, состоящей из 4 блоков, рассчитывается по формуле [14]:



$$\Gamma_{ЭЗ} = \sum_{\text{блок 1}} + \sum_{\text{блок 2}} + \sum_{\text{блок 3}} + \sum_{\text{блок 4}} \quad (5)$$

$$\Gamma_{ЭЗ} = \sum_{m=1}^{14} \sum_{n=1}^N x_{mn} + \sum_{m=1}^9 \sum_{n=1}^N x_{mn} + \sum_{m=1}^6 \sum_{n=1}^N x_{mn} + \sum_{m=1}^{31} \sum_{n=1}^N x_{mn} \quad (6)$$

где:

-  $\sum_{m=1}^{44} \sum_{n=1}^N x_{mn}$  - сумма эксплуатационных затрат по 1 блоку матрицы;

$\sum_{m=1}^9 \sum_{n=1}^N x_{mn}$  - сумма эксплуатационных затрат по 2 блоку матрицы;

$\sum_{m=1}^6 \sum_{n=1}^N x_{mn}$  - сумма эксплуатационных затрат по 3 блоку матрицы;

$\sum_{m=81}^{31} \sum_{n=1}^N x_{mn}$  - сумма эксплуатационных затрат по 4 блоку матрицы.

Таким образом, авторами разработана экономико-математическая модель определения влияния факторов, характеризующих специфику демонтажных работ, на эксплуатационные затраты и продолжительность работы машин и механизмов, научная новизна которой состоит в том, что в отличие от существующих она учитывает нормативно-параметрический метод, регрессионную и ковариационную зависимости, что позволяет оценить совокупность влияния факторов на эксплуатационные затраты и продолжительность работы машин и механизмов, описать порядок расчета эксплуатационных затрат и продолжительности работы машин и механизмов и сформировать объём инвестиций на эксплуатационные затраты машин и механизмов.

### Список литературы:

1. Белицкий Б.Ф. Технология и механизация строительного производства. Ростов н/Д: ФЕНИКС, 2004. 752 с.
2. Бирюков А.Н., Стратегия развития строительного предприятия в современных условиях. СПб, ВИТУ, 2004.
3. Бирюков А.Н., Денисов В.Н., Бирюков Ю.А. Восстановление объектов военной инфраструктуры при ликвидации последствий вооруженных конфликтов: моногр. СПб.: ВИ(ИТ) ВА МТО, 2019. 338 с.
4. Бирюков, А. Н. Выбор средств механизации для выполнения демонтажных работ / А. Н. Бирюков, Ю. А. Бирюков, Н. В. Токарев // Строительные и дорожные машины. – 2017. – № 11. – С. 48-53.
5. Бирюков, А. Н. Таутиев И.М. Основные методы выбора средств механизации при проведении демонтажных работ / Технология строительного производства. Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции, посвящённой 190-летию Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (ЛИСИ – СПбГАСУ). Санкт-Петербург, 2022. С. 14-20.
6. Бирюков А.Н., Таутиев И.М. Анализ современного состояния процесса выбора средств механизации при проведении демонтажных работ / Современные проблемы менеджмента в строительстве. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 202. С. 246-254.

7. Оптимизация поставок материально-технических ресурсов для производства ремонтно-восстановительных работ / А. Н. Бирюков, И. Н. Кравченко, Н. И. Лудченко [и др.] // Строительные и дорожные машины. – 2018. – № 10. – С. 52-56.

8. Подбор состава комплекта средств механизации в зависимости от способа выполнения демонтажных работ / А. Н. Бирюков, Ю. А. Бирюков, И. Н. Кравченко, Н. В. Токарев // Строительные и дорожные машины. – 2018. – № 3. – С. 49-55.

9. Кравченко И.Н., Бирюков А.Н., Тростин В.П., Федоров А.О. Модернизация технологического оборудования по обогащению местных строительных материалов и утилизации разрушенных конструкций // Строительные и дорожные машины. 2019. № 12. С. 44–51.

10. Кудрявцев Е.М. Комплексная механизация и автоматизация строительства. М.: Стройиздат, 1989. 246 с.

11. Таутиев И.М. Эксплуатационные свойства средств механизации, применяемых при производстве демонтажных работ / Региональные аспекты управления, экономики и права Северо-западного федерального округа России. 2021. № 3 (54). С. 91-100.

12. Implementation of techniques and design of equipment for the production of the food liquids / T. Drozdova, A. Biryukov, N. Kachaeva [et al.] // Journal of Physics: Conference Series: International Conference "Actual Trends in Radiophysics", Tomsk, 01–04 октября 2019 года. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012003. – DOI 10.1088/1742-6596/1499/1/012003.

13. Efficiency Evaluation of Apartment Houses Reconstruction with Optimizational Criteria Application / A. N. Biryukov, I. N. Kravchenko, E. O. Dobryshkin [et al.] // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2020. – Vol. 16. – No1. – P. 14-24. – DOI 10.22337/2587-9618-2020-16-1-14-24.

14. Complex approach to organizations' capital assets reproduction / A. Biryukov, E. Dobryshkin, Y. Biryukov, V. Tishchenko // E3S Web of Conferences : Key Trends in Transportation Innovation, KTTI 2019, Khabarovsk, 24–26 октября 2019 года. – Khabarovsk: EDP Sciences, 2020. – P. 04026. – DOI 10.1051/e3sconf/202015704026.

**<sup>1</sup>Шляхтина Татьяна Фёдоровна, <sup>2</sup>Федюк Роман Сергеевич  
ТЕРМИЧЕСКАЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ФИБРОБЕТОНОВ**

*ФГБОУ ВО «Братский государственный университет»,  
кафедра строительных конструкций и технологии строительства,  
665709, г. Братск, ул. Макаренко, д. 40*

*ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Военный учебный  
центр, 690922, г. Владивосток, о. Русский, нп. Аякс, д. 10*

**Аннотация:** в статье рассмотрена сравнительная термическая трещиностойкость бетона и фибробетона на основе нормативно-справочных и экспериментальных данных. Установлено, что дисперсное армирование

позволяет втрое увеличить допустимый температурный перепад без трещинообразования.

**Ключевые слова:** термическая трещиностойкость, фибробетон, предельная растяжимость, растяжение при раскалывании.

Дисперсное армирование стальной и полимерной фиброй значительно повышает прочность на растяжение и трещиностойкость по сравнению с традиционно армированным бетоном. Следовательно, помимо преимуществ на растяжение, фибробетон может воспринимать большие температурные градиенты, возникающие при выдерживании, как в зимний, так и летний период в жарком климате. Как известно, температурные перепады, возникающие в процессе твердения бетона, по критерию трещиностойкости лимитируются предельной растяжимостью бетонной матрицы, весьма незначительной для тяжёлого бетона, а введение дисперсной арматуры способно существенно повысить предел прочности на растяжение и трещиностойкость.

Устойчивость бетона к разрушению определяется способностью сопротивляться образованию и росту трещин. Образовавшиеся в тяжёлом бетоне трещины не встречают препятствий для распространения, в то время как в дисперсно-армированных бетонах преграда в виде волокон мешает распространению трещин, поскольку волокна пронизывают трещину и препятствуют её дальнейшему раскрытию.

Под воздействием напряжений в конструкции первая трещина, образовавшаяся в фибробетоне, не несёт катастрофического разрушения, но приводит к перераспределению нагрузки между бетонной матрицей и волокнами. То есть, нагрузка, действующая на зону возникновения трещин, перераспределяется на волокна, и края трещин освобождаются от напряжений, поэтому процесс раскрытия трещин может затухать. Это достигается за счет 2-х факторов: силы сцепления фибры с бетонной матрицей и механизмов заанкеривания волокон в бетоне [1].

При достижении предела растрескивания, матрица в фибробетоне разделяется бесчисленными параллельными трещинами, а воздействие дополнительного растягивающего напряжения приводит к растяжению волокон. Таким образом, работу дисперсно-армированных композитов с точки зрения механики разрушения можно представить в виде трех этапов:

- упругий диапазон до точки возникновения первой трещины;
- этап множественного растрескивания, когда деформации композита превышают максимально возможные деформации матрицы;
- далее в зависимости от модуля и прочности сцепления начинается этап растягивания или выдёргивания волокон из матрицы.

Существующие в настоящее время методы расчета на трещиностойкость фибробетонных конструкций не учитывают особенностей фибробетона как конструкционного материала и базируются на методах, применяемых для расчета трещиностойкости конструкций, армированных стержневой арматурой. Методы расчета фибробетонных конструкций не допускают образования трещин

в фибробетоне, хотя образование даже трещин со значительным раскрытием не приводит к разрушению конструкции. Такая работа фибробетона позволяет использовать при расчётах линейную механику разрушения, как для квазиоднородного материала.

В отечественной и зарубежной литературе проблема трещиностойкости бетона рассматривается с разной степенью упрощений на основе эмпирических зависимостей. Если для железобетона расчёт по второй группе предельных состояний на образование трещин осложняется наличием кроме упругих ещё пластических деформаций бетона, то для фибробетона теоретические подходы только разрабатываются, требуя уточнений и совершенствования.

Зарубежными и российскими учеными предложен ряд критериев температурного трещинообразования на основе сравнения, возникающих в возводимой конструкции растягивающих напряжений с допустимыми значениями. При этом возможен учет ряда граничных условий[2].

В практике проектирования и возведения бетонных сооружений используется критерий термической трещиностойкости, основанный на теории предельной растяжимости бетона. Обычно критерий термической трещиностойкости является безразмерной величиной, которую физически можно трактовать как наибольшее возможное относительное удлинение бетона, наблюдаемое в результате тепловыделения. Исходя из этого, в таблице 1 приведены результаты расчёта предельно допустимых перепадов температур до трещинообразования для бетона и фибробетона с использованием нескольких методик.

В соответствии с ACI 207.1R-96 «Mass Concrete» максимальный температурный градиент между ядром и поверхностью бетонного массива не должен превышать 20°C. Аналогичные требования регламентируются отечественными нормами. С использованием различных методик были получены сопоставимые результаты, что подтверждает их достоверность. Поскольку, предельная растяжимость сталефибробетон превышает предельную растяжимость бетона, это снижает опасность температурного трещинообразования и позволяет или снижать толщину теплоизоляции опалубки, или сокращать время выдерживания до распалубки. Кроме того, возможен более интенсивный разогрев фибробетонных смесей, что сократит время тепловой обработки или термосного выдерживания.

Таблица 1 - Предельно допустимые перепады температур для железобетона и сталефибробетона, °C

Наименование методики	Расчётные формулы	Железо бетон	Сталефибро бетон
- стандарт CIRIA C600 (Великобритания);	$\Delta T_{\text{макс}} = \frac{3.7 \cdot \varepsilon}{a}$	19,9	28,5
- методика Телешева В.И., средние и максимальные значения	$[\Delta T_6^{\text{ср}}] = \frac{\varepsilon_{\text{пр}}}{a k_3 k_p k_{\text{тр}}}$ $[\Delta T_6^{\text{макс}}] = [\Delta T_6^{\text{ср}}] \cdot k_{\text{перех}}$	18,9 28,35	27,02 40,8

- методика НИИЖБа	$\Delta t_{\text{доп}} = \varepsilon_{\text{пр}} \left( 128 + \frac{\beta \cdot M_{\text{п}}}{3 + 10 \sqrt{V_{\text{макс}}}} \right)$ ,	11,43	14,9
-------------------	---	-------	------

Для определения экспериментальных значений предельной растяжимости фибробетонов с различными видами фибр в сопоставлении с неармированным мелкозернистым бетоном были изготовлены образцы-балочки с размерами 7x7x23 см. В качестве предельной растяжимости в эксперименте принят предел прочности на растяжение при раскалывании. Физико-механические характеристики изготовленных образцов приведены в таблице 2.

Таблица 2- Физико-механические характеристики исследованных бетонов

Состав матрицы	Вид фибры и % армирования	Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Средняя прочность на растяжение при раскалывании, МПа	Средняя прочность на сжатие, R <sub>сж</sub> , МПа
1:2	-	2245	2,18	36,83
1:3	-	2187	1,41	28,25
1:2	Стальная фибра, 5 %	2371	3,8	34,74
1:3	Полипропиленовая фибра, 1 %	2113	1,9	15,5

В статье [3] рассмотрены методики расчёта предельной растяжимости бетона и допустимого температурного перепада без образования трещин, (включая стандарт CIRIA C600, методику Телешева В.И. и СП 41.13330.2012) для бетона и фибробетона. В табл. 3 и 4 приведены результаты расчётов предельно допустимых перепадов температур на основе справочно-литературных и экспериментальных данных для мелкозернистого бетона-матрицы состава Ц:П=1:2 и Ц:П=1:3 и фибробетонов со стальной и полипропиленовой фиброй.

Таблица 3 - Предельно допустимые перепады температур для бетона-матрицы и сталефибробетона, °С

Наименование методики	Бетон-матрица, Ц:П=1:2		Сталефибробетон	
	Расчёт с использованием справочно-нормативных данных	Расчёт с использованием экспериментальных данных	Расчёт с использованием справочно-нормативных данных	Расчёт с использованием экспериментальных данных
Методика ВНИИГ	19,9	28,5	30	65,2
Методика П.И. Васильева	18,9 28,35	27,02 40,8	27,42 41,1	61,7 80,21
Методика СП 41.13330.2012	11,43	14,9	27,5	61,44

Таблица 4 - Предельно допустимые перепады температур для бетона-матрицы и фибробетона с полимерными фибрами, °С

Наименование методики	Бетон-матрица, Ц:П=1:3		Фибробетон	
	Расчёт с использованием справочно-нормативных данных	Расчёт с использованием экспериментальных данных	Расчёт с использованием справочно-нормативных данных	Расчёт с использованием экспериментальных данных
Методика ВНИИГ	20	33,44	25,52	60,96
Методика П.И. Васильева, средние и максимальные значения	19,14 28,71	31,65 41,15	24,15 31,34	57,68 74,98
Методика СП 41.13330.2012	18,8	31,65	24,14	57,97

В массивных конструкциях, где вследствие экзотермии цемента наблюдаются значительные температурные перепады между поверхностью и ядром, применение фибробетона обеспечит повышенную трещиностойкость, при условии оптимизации параметров дисперсного армирования.

Выполненные исследования показывают, что дисперсное армирование позволяет втрое увеличить допустимый температурный перепад без трещинообразования при тепловом воздействии на массивные конструкции, что позволит существенно повысить эффективность бетонных работ при экстремальных температурах.

### Список литературы

1. Рабинович Ф. Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: М.: АСВ, 2004. 560с.
2. Трапезников Л.П. Температурная трещиностойкость массивных бетонных сооружений. М.: Энергоатомиздат, 1986. – 272 с
3. Шляхтина Т.Ф., Попов Н.А. Повышение эффективности зимнего бетонирования за счет дисперсного армирования // Сборник Трудов Братского государственного университета (серия «Естественные и инженерные науки») – 2022. – С. 128-134.

Токарева Лия Андреевна<sup>1</sup>, Сабитов Линар Салихзанович<sup>1,2</sup>, Ахтямова  
Лейсан Шамилевна<sup>3</sup>

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ  
ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК КАК СПОСОБ  
ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

<sup>1</sup>Казанский государственный энергетический университет, 420066, г. Казань,  
ул. Красносельская, д.51

<sup>2</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, г. Казань, ул.  
Кремлевская, д.18, корпус 1

<sup>3</sup>Донской государственный технический университет, 344003, ЮФО,  
Ростовская область, г.Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

**Аннотация.** В связи с быстрым ростом конкуренции предприятия вынуждены искать пути снижения энергопотребления и увеличивать энергоэффективность отдельных производств. Одной из стратегией развития строительной отрасли является создание и усовершенствование строительных конструкций с целью повышения их прочности, надежности и эксплуатационной долговечности. В данной работе рассмотрена возможность снижения материалоемкости и снижение временных затрат при строительстве ветроэнергетической установки для повышения энерго- и ресурсоэффективности. Применение сборно-разборного фундамента позволит снизить материалоемкость за счет образования полости в каждом модуле, а также снизить трудозатраты на этапе изготовления в связи с отсутствием участия специальных грузоподъемных механизмов.

**Ключевые слова:** ветроэнергетическая установка, конструкция, сборно-разборный фундамент, энергоэффективность.

Согласно «Стратегии развития топливно-энергетического комплекса Республики Татарстан на период до 2030 года» идет активное развитие ветроэнергетики и повышение мощностей ветрогенерации. В качестве территории размещения ветроэнергетической установки (далее – ВЭУ) предлагается выбрать территорию, расположенную вблизи с. Старое Суркино Альметьевского района Республики Татарстан, которая обладает необходимым ветроэнергетическим потенциалом – скорость ветра не менее 7 м/с. Помимо выбора площадки для строительства ВЭУ, необходимо использовать основные опорные элементы, которые выдержат все воздействия, включая нагрузки, создаваемые ветряной турбиной и другими внешними факторами.

Башня и фундамент являются основными опорными элементами ВЭУ, и для создания прочного и экономичного ветряного преобразователя необходимо оптимизировать структуру башен и фундамента.

Башни решетчатой конструкции представляют собой пространственные стержневые системы, основными несущими элементами которых являются две пары стоек – передние и задние [1]. Известные треугольные решетчатые

конструкции часто создаются из круглых труб, соединенных между собой и образуя фигурную форму опор.

Задачей при проектировании башен ВЭУ является снижение ее стоимости и трудоемкости изготовления. Одним из способов достижения является использование в трехгранной решетчатой опоре стойки, которая выполняется из двух уголков. Вершины уголков соединены на сварке, с расположением их смежных полок, направленных внутрь опоры под углом  $60^\circ$  друг к другу, а также смежных полок, направленных наружу опоры, соответственно под углом  $120^\circ$  друг к другу. К концам смежных полок приварены две стальные полосы продольными швами.

Так образуется пояс замкнутого многогранного сечения, представляющий собой две трехгранные конструкции, имеющие общее ребро в месте сварки по длине вершин уголков (рисунок 1) [2,3].

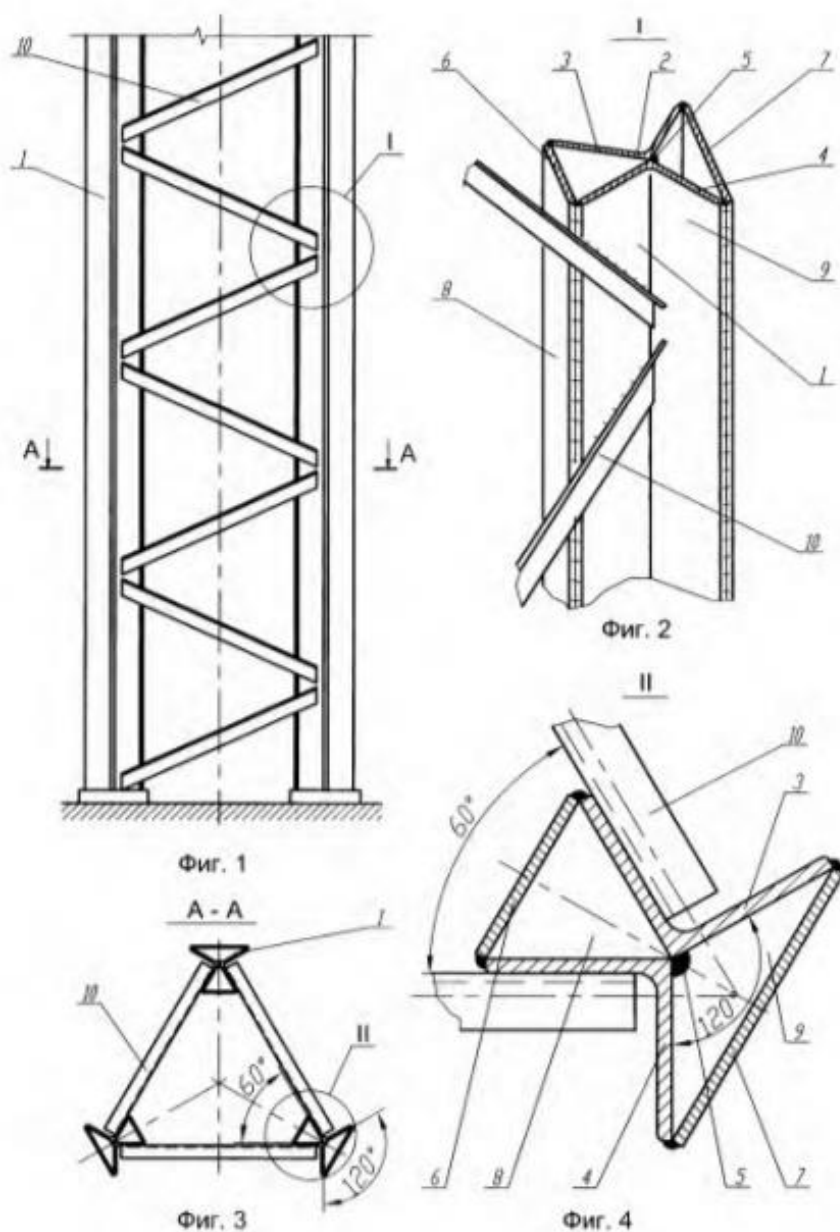


Рисунок 1 -Трехгранная решетчатая опора. 1- пояс; 2 – стойка; 3,4 – углы; 5 – соединения сварки; 6,7 – стальные полосы; 8,9 – трехгранные конструкции; 10 – стержни решетки



ВЭУ, ее фундамент и грунтовое основание образуют единую систему «ВЭУ – фундамент – основание», элементы которой взаимодействуют друг с другом при любых статических или динамических воздействиях на них. Фундамент должен обеспечивать прочную и устойчивую основу башенной конструкции для всех условий действия нагрузок (гравитационные, аэродинамические, эксплуатационные) и определенных сейсмических условий. Выбор фундамента при строительстве ВЭУ зависит от грунтов, типа башни, ее размеров и мощности ВЭУ.

Одним из направлений усовершенствования конструкций ВЭУ является изучение и внедрение применения сборно-разборного фундамента при строительстве.

Сборно-разборный фундамент включает отдельные железобетонные блоки, в виде призмы установленных на поверхность основания и стянутых между собой горизонтальными тяжами, и анкерные болты на отдельных блоках для крепления башни. Блоки из железобетона выполнены в форме полых треугольных или прямоугольных призм, включающих в себя стенки и днище, и соответствуют указанным габаритным размерам. В стенках вблизи их вершин по верху и низу выполнены отверстия для стяжных болтов [5]. Фундамент, используемый для башенных сооружений, является основным элементом конструкции, который принимает на себя все нагрузки от верхних частей сооружений и равномерно распределяет их по поверхности основания.

Предлагаемая конструктивная схема (рисунок 2) представляет собой сборный железобетонный фундамент, состоящий из полых призматических блоков, стянутых между собой болтами.

Размеры сооружения в плане составляют 15,274 x 13,758 м., высота фундаментной плиты – 1 м., толщины стенок сборных блоков – 150 мм, толщины стенок сборных блоков – 150 мм. В центральных блоках присутствуют отверстия для крепления мачты к фундаменту, во всех блоках имеется 4 отверстия для стягивания отдельных блоков между собой болтами. В качестве материала конструкций использовать бетон класса В25, арматура А500, А240.

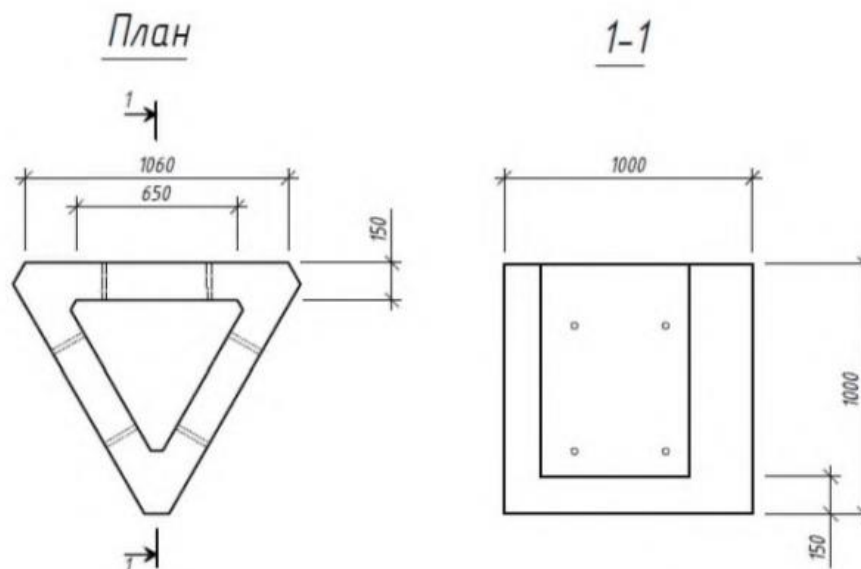


Рисунок 2 - План, разрез и армирование отдельного модуля

Фундаментная плита (рис.3), моделировалась в виде пластинчатых 3-х угольных элементов. Основание здания задано в системе «ЛИРА-ГРУНТ»; для того, чтобы ограничить горизонтальные перемещения сооружения использованы специальные одноузловые конечные элементы, моделирующие трение грунта.

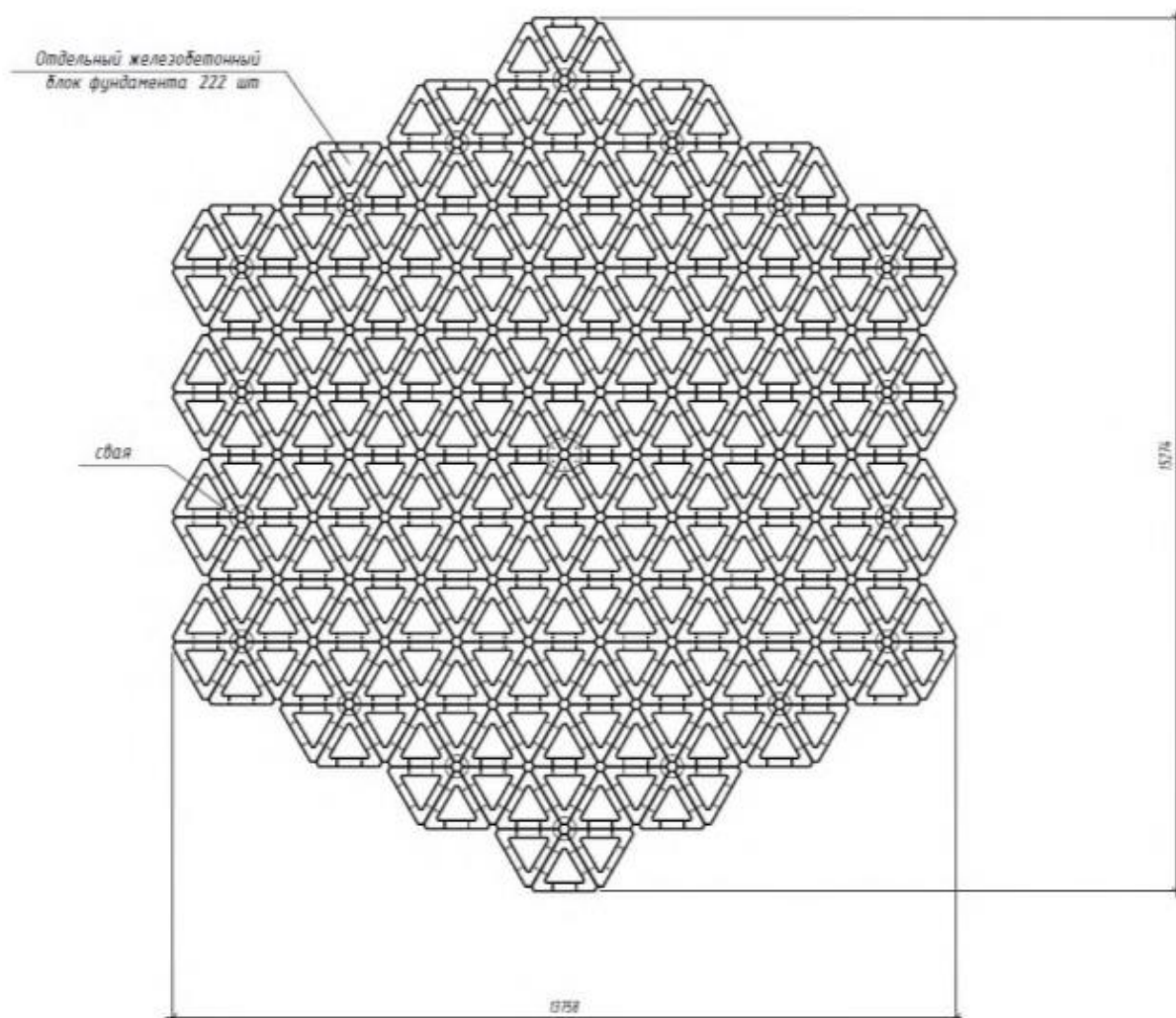


Рис.3. План фундамента из модулей под башенное сооружение

Башня ВЭУ жестко крепится с помощью анкерной корзины, установленной в тело ростверка и надежно в нем закрепленной. Конструктивная схема сооружения – свободный сверху жесткий стержень, заземленный в фундаменте, с неуравновешенной массой ветроустановки в верхнем сечении. Пространственная неизменяемость и поперечная жесткость ВЭУ обеспечена собственными техническими параметрами и надежностью закрепления фундамента в грунте.

Применение сборно-разборного фундамента в совокупности с забивными сваями, как изделий заводского изготовления, позволяет сооружать объекты в местах с неразвитой стройиндустрией, с применением минимального набора строительной техники, и что крайне важно, без разворачивания бетонно-растворного узла на площадке строительства. Это безусловно дает ряд

преимуществ при сооружении ВЭУ единичной мощностью до 300кВт в неосвоенных и труднодоступных районах обладающих высоким ветропотенциалом.

Применение данного вида фундамента позволит добиться следующих преимуществ:

1. Снижение затрат материалов возможно путем создания полости в каждом модуле и заполнения ее грунтом;
2. Сборка фундамента на строительной площадке из отдельных типовых модулей, изготавливаемых в заводских условиях [6];
3. Экономия времени при возведении конструкции составит более 2,5 месяцев;
4. Снижение затрат на использование машин и механизмов за счет отсутствия специального оборудования для проведения монолитных работ;
5. Экономический эффект от идентификации сборно-разборного фундамента, как объекта движимого имущества позволяет оптимизировать и значительно снизить налогооблагаемую базу, что благоприятно отражается на стоимости владения сооружением в целом [7].

#### **Список литературы:**

1. Металлические конструкции: учебник для вузов / под ред. Ю.И. Кудишина. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 688 с
2. Совершенствование конструктивных решений башенных сооружений. Токарева Л.А., Сабитов Л.С. В сборнике: инновационные перспективы Донбасса. Материалы 8-й Международной научно-практической конференции. Донецк, 2022. С. 6-10.
3. Пат. 2707898. Рос. Федерация: МПК E04H 12/10. Трехгранная решетчатая опора / И.Р. Бадертдинов, Л.С. Сабитов, И.Л. Кузнецов, Л.Ш. Ахтямова, А.К. Мезиков. - № 2019113023 заявл. 26.04.2019; опубл. 02.12.2019; Бюл. №34.
4. Sabitov, Linar; Klyuev, Sergey; Undalov, Alexander; Mailyan, Levon; Klyuev, A; Fediuk, R; Kashapov, Nail; Akhtyamova, Leysan; Khezhev, T; Zagidullin, Ramil. Comparison of the results of numerical and experimental studies of the design of a radial-beam dome with triangular membrane core-shells- 2023. - Vol.48, Is.. - P.1118-1127.
5. Стрелков Ю.М., Сабитов Л.С., Ключев С.В., Ключев А.В., Радайкин О.В., Токарева Л.А. Технологические особенности конструирования сборно-разборного фундамента под башенные сооружения // Строительные материалы и изделия. 2022. Том 5. № 3. С. 17 – 26.
6. Ахтямова Л.Ш., Сабитов Л.С., Маилян А.Л., Маилян Л.Р., Радайкин О.В. Технологические и конструктивные особенности проектирования модульного железобетонного фундамента под высотное сооружение различного типа // Строительные материалы и изделия. 2019. Т. 2. № 6. С. 5 – 1
7. Ю.М.Стрелков, Л.С.Сабитов, Л.Р.Маилян, И.Н.Гарькин / Оптимизация эксплуатационных расходов при использовании сборно-разборного фундамента для ветроэнергетических установок // Инженерный вестник Дона, №3 (2023)

<sup>1</sup>Доржиева Елизавета Валерьевна, <sup>1</sup>Шестаков Николай Игоревич,  
<sup>1</sup>Цыденова Алиса Борисовна, <sup>1</sup>Гончиков Алдар Георгиевич, <sup>2</sup>Федюк Роман  
Сергеевич

## РАЗРАБОТКА БИОРАЗЛАГАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА И ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ

<sup>1</sup>Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,  
кафедра «Строительные материалы, автомобильные дороги и  
деревообработка», г. Улан-Удэ, ул. Ключевская 40В, 670013

<sup>1</sup>Дальневосточный федеральный университет, Военный учебный центр,  
г. Владивосток, о. Русский, нп. Аякс, 10, 690922

*Объектом исследования является древесно-полимерные композиты, полученные на основе отходов деревоперерабатывающих производств Республики Бурятия и полилактида.*

*Целью работы является возможность получения биоразлагаемого древесно-полимерного композита, изучение основных свойств полученного композиционного материала.*

*Получены экспериментальные составы биоразлагаемых древесно-полимерных композитов на основе полилактида и древесных отходов.*

**Ключевые слова:** древесно-полимерный композит, древесные отходы, полилактид, биоразлагаемые материалы.

*Статья подготовлена в рамках гранта «Молодые ученые ВСГУТУ-2023».*

Глобальное использование природных ресурсов и накопление техногенных и бытовых отходов, связанное с непрерывно возрастающей производственной деятельностью человека, губительно воздействует на окружающую среду. Поэтому в современном мире на первый план выдвигаются задачи как рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды, так и переработки отходов.

Несмотря на накопленный многолетний опыт производства и применения материалов из промышленных отходов и несомненные достижения в использовании некоторых их видов, общий процент использования отходов остается недопустимо малым.

Переработке подвергается примерно 9% пластиковых отходов, 12% — уничтожается, а остальные 79% накапливаются на свалках или попадают в окружающую среду. Таким образом, назрела настоятельная необходимость решения проблемы глобального накопления пластиковых отходов. Один из путей решения этой задачи – применение биоразлагаемых полимеров, которые не наносят вреда ни здоровью человека, ни окружающей среде [1]. Можно выделить три основные группы биоразлагаемых пластиков: материалы на основе крахмала, полигидроксиалканоаты (ПГА) и полилактиды (ПЛА).

Полилактид - термопластичный полимер, на основе которого можно получить прочные и водостойкие биоразлагаемые материалы, свойства которых

соответствуют применяемым традиционным полимерам, таким как полиэтилен, полипропилен (ПП) и полистирол.

Вопросам разработки композиционных материалов на основе биоразлагаемых полимеров для получения 3D-нитей для метода послойного наплавления посвящены работы многих российских ученых [2-4]. Однако, увеличение, производства полилактида в мире, высокие физико-химические свойства, биоразлагаемость, а также повышение требований к экологической безопасности окружающей среды, позволяет рассматривать полилактид в качестве реальной альтернативы традиционным полимерам при производстве строительных материалов.

Одним из наиболее перспективных современных материалов, отличающиеся экономичностью производства, технологичностью переработки, высокими эксплуатационными характеристиками и широким диапазоном применений является древесно-полимерные композиты (ДПК). В составе ДПК, как правило, имеются три основных компонента: древесная мука; органические или синтетические полимеры; набор специальных добавок (или аддитивов), улучшающих технологические характеристики продукции из композита. Для производства древесно-полимерного композита могут использоваться любые термопластичные полимеры. Сейчас же наиболее часто используются четыре их вида: полиэтилен, поливинилхлорид, полипропилен и полистирол. Первое место пока занимает полиэтилен

Известно, что доля низкокачественной древесины, отходов лесозаготовок и лесопиления составляет, соответственно, 15–40, 30–40 и 19–20 %. В объемном исчислении это очень внушительная цифра – более 45 млн м<sup>3</sup> древесных отходов, из них более 2286 тыс. м<sup>3</sup> – это опилки и щепа [5].

В проводимых исследованиях были использованы: древесные опилки хвойной породы сосны средней крупности фракцией 1- 3 мм, высушенные до влажности 2-3%, древесная мука марки 180, поли-L-лактид, физико-механические свойства которого приведены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства полилактида

Свойства	Показатель
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,25
Температура плавления, °С	175-179
Температура стеклования, °С	60-62
Предел прочности, МПа	64
Относительное удлинение при разрыве, %	5,8
Предел прочности при изгибе, МПа	94
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	3,8

Предварительно была изучена исходная структура применяемого полилактида с помощью растровой электронной микроскопии при 30, 250, 500 – кратном увеличении. (ЦКП «Прогресс», ВСГУТУ, г. Улан-Удэ). Полученные снимки представлены на рисунке 2.

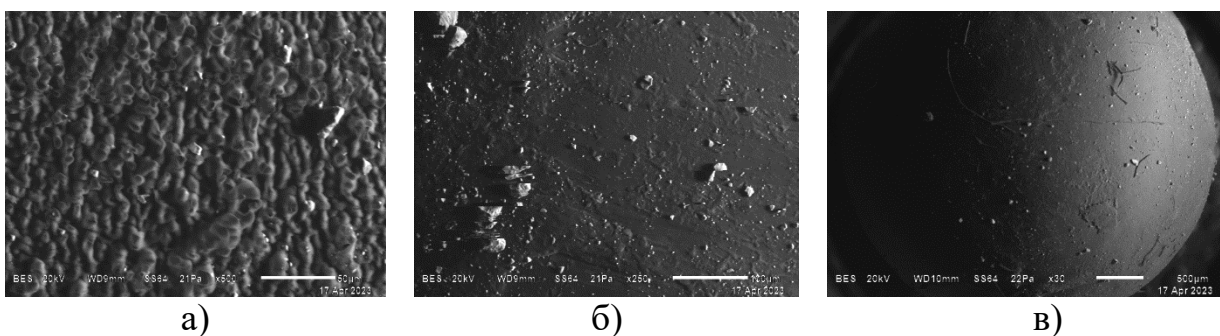


Рисунок 2- микроструктура полилактида: а) – 500 кратное увеличение; б) 250 – кратное увеличение; в) 30 – кратное увеличение

Для изучения влияния вида наполнителя на свойства ДПК были приготовлены смеси сосновых опилок и полимера, а также смеси древесной муки и полимера в различных соотношениях. Образцы изготавливались при температуре 240 °С и давлении прессования 10 МПа. Составы ДПК приведены в таблице 2.

Таблица 2

#### Экспериментальные составы ДПК

Номер состава	Соотношение компонентов		Номер состава	Соотношение компонентов	
	Опилки, масс. %	Полилактид, масс. %		Древесная мука, масс. %	Полилактид, масс. %
1	60	40	4	60	40
2	70	30	5	70	30
3	80	20	6	80	20

Полученные экспериментальные образцы представлены на рисунке 2



Рисунок 2 – Экспериментальные образцы древесно- полимерного композита на основе ПЛА

Были изучены основные физико-механические свойства полученных древесно-полимерных композитов. Результаты исследований представлены в таблице 3.

Таблица 3

## Основные физико-механические свойства

Номер состава	Предел прочности на сжатие, МПа	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение, %
1	16,5	960	-
2	15,7	950	-
3	15,0	940	-
4	20,5	1080	0,77
5	19,5	1060	0,80
6	19,0	1040	0,85

Таким образом, древесно-полимерные композиты, полученные на основе полилактида и древесного наполнителя (виде древесных опилок и древесной муки) позволяют получить материалы со следующими свойствами: плотностью 940 -1080 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощением 0,77-0,85% (по массе), пределом прочности при сжатии 15-20,5 МПа. Диапазон физико механических показателей композиционного материала зависит от исходного соотношения сырьевой смеси (полилактид/древесный наполнитель), а также от вида наполнителя. При одинаковых соотношениях полимера и наполнителя древесно - полимерные композиты на основе древесной муки и полилактида имеют повышенные физико - механические свойства, чем древесно-полимерные композиты на основе древесных опилок. Экспериментальные образцы на основе древесной муки и полилактида имеют более плотную, равномерную, гладкую структуру, что является результатом равномерного распределения древесной муки в матрице композита.

Результаты проведенных первичных исследований показали возможность получения древесно – полимерного композиционного материала на основе полилактида и древесных отходов Республики Бурятия и в дальнейшем могут быть использованы в производстве строительных материалов.

**Список литературы:**

1. Шестаков Н.И., Каддо М.Б., Волошин Д.А., Урмайкин Е.А. Перспективы применения полилактида в строительстве // Перспективы науки. – 2020. – №3(126). – С.50 – 53
2. Галяветдинов Н.Р., Талипова Г.А., Сафин Р.Р., Мухаметзянов Ш.Р. Разработка древесно-наполненного композитного состава для 3D принтеров // Деревообрабатывающая промышленность. – 2019. – № 1. – С. 33– 39.
3. Сабирова Г.А., Сафин Р.Р., Хайруллин Р.З. Влияние концентрации наполнителя на физико механические свойства древесно-наполненных композиционных материалов //Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2020. – № 3 (15). – С. 24– 34.
4. Бабунова М.В., Бакирова Э.Р., Бабунова А.А., Кулиш Е.И., Захаров В.П. Изучение биодеструкции биоразлагаемых полимерных композитов на основе

первичных и вторичных полиолефинов и природных наполнителей растительного происхождения // Вестник Технологического университета. – 2018. – № 1. – С. 43– 46.

5. Урханова Л.А., Доржиева Е.В., Гончикова Е.В. и др. Разработка технологии производства арболита с модифицирующими добавками // Актуальные вопросы строительного материаловедения. Материалы конференции (Улан – Удэ, 2021 г.) Улан Удэ: Изд-во БГУ им. Доржи Банзарова – 2021. – С. 170 – 174.

### **Bibliography**

1. Shestakov N.I., Caddo M.B., Voloshin D.A., Urmaikin E.A. Prospects for the use of polylactide in construction // Prospects of science. - 2020. - No. 3 (126). – P.50 – 53

2. Galyavetdinov N.R., Talipova G.A., Safin R.R., Mukhametzyanov Sh.R. Development of wood-filled composite composition for 3D printers // Woodworking industry. - 2019. - No. 1. - P. 33-39.

3. Sabirova G.A., Safin R.R., Khairullin R.Z. Effect of filler concentration on the physical and mechanical properties of wood-filled materials. Bulletin of the Volga State Technological University. Ser.: Materials. Constructions. Technologies. - 2020. - No. 3 (15). – P. 24–34.

4. Bazunova M.V., Bakirova E.R., Bazunova A.A., Kulish E.I., Zakharov V.P. Study of biodegradation of biodegradable polymer composites based on primary and secondary polyolefins and natural fillers of plant origin. Bulletin of the Technological University. –2018. - No. 1. - S. 43-46.

5. Urkhanova L.A., Dorzhieva E.V., Gonchikova E.V. et al. Development of technology for the production of wood concrete with modifying additives // Actual issues of building materials science. Conference Proceedings (Ulan-Ude, 2021) Ulan-Ude: BSU Publishing House Dorji Banzarova - 2021. - P.170 - 174.

УДК 691.32

### **Саламанова Мадина Шахидовна, Магомедов Аслан Шахидович ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАРБОНАТНОЙ ДОБАВКИ**

*ГГНТУ имени М.Д. Миллионщикова, РФ, Грозный, 364051,  
пр. Исаева 100*

**Аннотация:** Поиск нового альтернативного вяжущего, менее энергоемкого и затратного, получаемого по более экологичной и производительной схеме производства, с меньшим потреблением исчерпаемого природного сырья, негативным влиянием на окружающую среду является актуальной и важной задачей. В работе приводятся результаты по разработке многокомпонентной полиморфной вяжущей системы «портландцемент – карбонатная добавка – суперпластификатор», выявлена оптимальная степень наполнения вяжущей системы в дозировке 20% по массе способствует



максимальному приросту прочности на протяжении всего исследуемого промежутка времени.

**Ключевые слова:** карбонатная добавка, портландцемент, вяжущая система, суперпластификатор, порошок, микронаполнитель, бетонная смесь

В настоящее время вопросы развития низкоуглеродных технологий являются самыми бурно обсуждаемыми на многих научных площадках мирового уровня, и концептуально связанными с проблемами ресурсо- и энергосбережения в производстве строительных материалов, изделий и конструкций. Получение незаменимого и востребованного на данный момент вяжущего материала – портландцемента, влечет за собой непоправимый урон окружающей природной среде, ведь не секрет, высокотемпературный обжиг сырьевой смеси, сопровождается выбросами огромного объема окиси углерода, потенциально опасной для цивилизации щелочной реакционной цементной пыли, серы, тяжелых металлов, диоксинов и других вредных соединений [1–4]. Да в итоге получаем качественный и эффективный продукт, но какой ценой!

Все эти обозначенные проблемы в комплексе наталкивают ученых на поиск нового альтернативного вяжущего, менее энергоемкого и затратного, получаемого по более экологичной и производительной схеме производства, с меньшим потреблением исчерпаемого природного сырья, негативным влиянием на окружающую среду [5, 6]. Но на данный момент достойной замены уникальному портландцементу еще не найдено и строительство надежных и долговечных зданий и сооружений долгие годы не обойдется без него, поэтому необходимо применять всевозможные мероприятия для снижения доли клинкера в цементной системе. Введение в состав композиции механо– и механохимически активированных добавок различного происхождения, химических модификаторов, бинарных порошков, инновационных способов ультразвуковой обработки воды затворения и других технологических приемов позволят повысить технико-экономический эффект производства вяжущих материалов [7–9, 11].

В научно-техническом центре коллективного пользования «Современные строительные материалы и технологии» была проделана работа по разработке многокомпонентной вяжущей системы «портландцемент – карбонатная добавка – суперпластификатор». Карбонатная добавка позволит сократить долю затратного клинкера в цементной композиции, ведь известен факт, кристаллы кальцита с характерной мелкозернистой структурой и стабильным химическим составом, способны направленно улучшать физико-механические и эксплуатационные характеристики бетона. Следует отметить, что в Чеченской Республике широко распространены карбонатные породы, Ярыш Мардынский карьер известняка располагает природным сырьем более чем на 300 лет, но несмотря на это важно рационально и бережно использовать это ископаемое. Местные известняки чистые, не доломитизированные являются ценным ресурсом для получения портландцементного клинкера и газосиликатной продукции в регионе. На всех стадиях производства продукции, начиная от

процесса приготовления сырьевой массы, до обжига и окончательной обработки полуфабриката образуются огромные объемы карбонатных отходов в виде грубодисперсных фракций, ультра и нано дисперсных порошков [10, 12].

Проба карбонатной пыли, отобранная из аспирационной системы газосиликатного производства светло-серого окраса, обладает дисперсностью частичек в размерном диапазоне 0,005 – 0,1 мм, при воздействии атмосферной влаги наблюдается агрегация структурных компонентов, что свойственно реакционно активным веществам. Микроисследования на дифрактометре «ARLX'TRA», представленные в виде рентгенографических кривых (рисунок 1), подтвердили присутствие в составе смеси портландита  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , кварца  $\text{SiO}_2$ , оксида кальция  $\text{CaO}$ , кальцита  $\text{CaCO}_3$  и альбита  $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ .

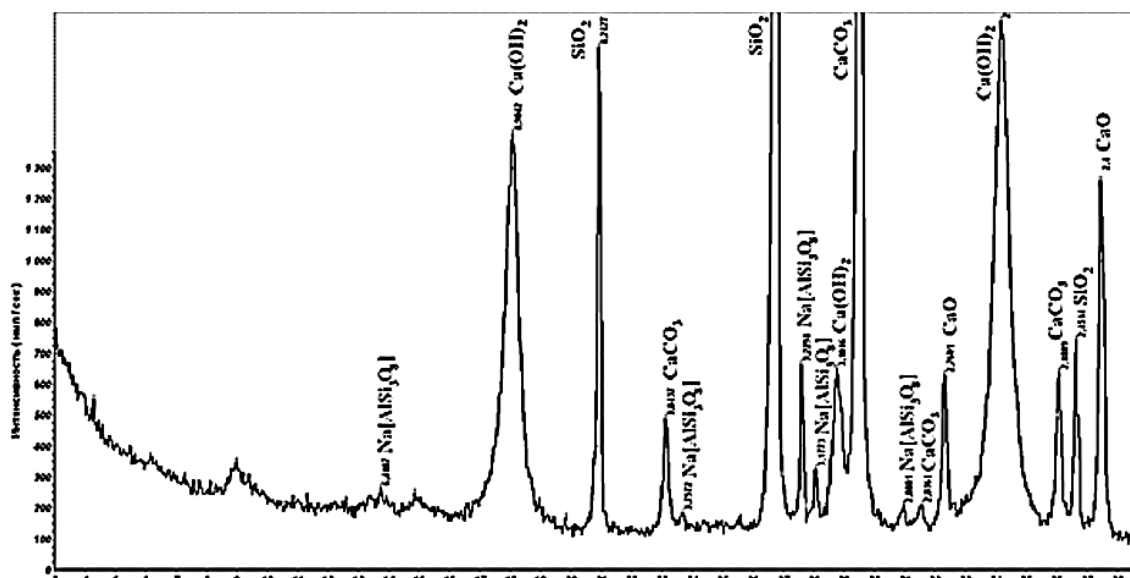


Рисунок 1 - Дифрактограмма пробы карбонатной пыли

Первичная природа минералов карбонатных пород кварца, кальцита и альбита определяется узкими диагностическими линиями дифрактограммы. При соприкосновении карбонатных пород с топочными газами при температуре  $900^\circ\text{C}$  и выше происходит рекристаллизация оксида кальция, о чем свидетельствуют сужающиеся диагностические рефлекссы дифрактограммы. Портландит выражен более широкими линиями, явно симметричными, что свойственно соединениям вторичной природы, характеризующим гидравлическую активность карбонатной пыли.

Полученные рентгенографические анализы указывают на положительные возможности карбонатной пыли, и химическая активность будет проявляться в вяжущей системе «портландцемент – карбонатная добавка – суперпластификатор» за счет образования таких прочных соединений как гидрокарбоалюминатов кальция  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCO}_3\cdot 11\text{H}_2\text{O}$ , гидрокарбонатов кальция  $\text{CaCO}_3\cdot\text{Ca}(\text{OH})_2\cdot\text{H}_2\text{O}$  и гидросульфокарбосиликатов кальция – таумасита  $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{CaSO}_4\cdot\text{CaCO}_3\cdot 15\text{H}_2\text{O}$ .

Для подтверждения выдвинутой гипотезы были изготовлены и испытаны серии образцов вяжущих материалов системы «портландцемент – карбонатная добавка – суперпластификатор» (ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии). В вяжущих композициях варьировалось содержание портландцемента и карбонатной добавки, а степень дисперсности частиц карбонатной добавки изменялась в пределах 780 – 805 м<sup>2</sup>/кг (прибор ПСХ-12), истинная плотность порошка составляла 2620 кг/м<sup>3</sup> (прибор Ле Шателье). В качестве химического модификатора в экспериментах применялась порошкообразная добавка «Полипласт СП-1», состоящая из натриевых солей полиметиленнафталинсульфокислот различной молекулярной массы, соответствующая требованиям ГОСТ 24211–2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. Дозировка добавки определялась экспериментальным путем и была установлена 1% от массы портландцемента. Рецептуры и свойства вяжущих систем «портландцемент – карбонатная добавка – суперпластификатор» представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

Таблица 1. Рецептуры и свойства вяжущих материалов

Вяжущее	Соотношение	НГЦТ, %	Сроки схватывания, начало/конец час-мин	Активность, МПа
ЦЕМ I 42,5 Н, АО «ЧЕЧЕНЦЕМЕНТ»	100:0	25,5	2-15 / 3-40	52,2
ПЦ : КД	80:20	21,4	3-20 / 4-05	55,6
ПЦ : КД	70:30	22,2	3-25 / 4-00	49,0
ПЦ : КД	65:35	22,9	3-27 / 4-10	46,5

**Примечание:** ПЦ – портландцемент; КД – карбонатная добавка

Анализируя результаты проведенных исследований можно констатировать, что оптимальная степень наполнения вяжущей системы «портландцемент – карбонатная добавка 20% – суперпластификатор». Наполнение системы карбонатной составляющей в дозировке 20% по массе способствует максимальному приросту прочности на протяжении всего исследуемого промежутка времени. Как было отмечено ранее образование таких труднорастворимых минералов гидрокарбоалюмината кальция, гидрокарбоната кальция и таумасита содействовало приросту прочности.

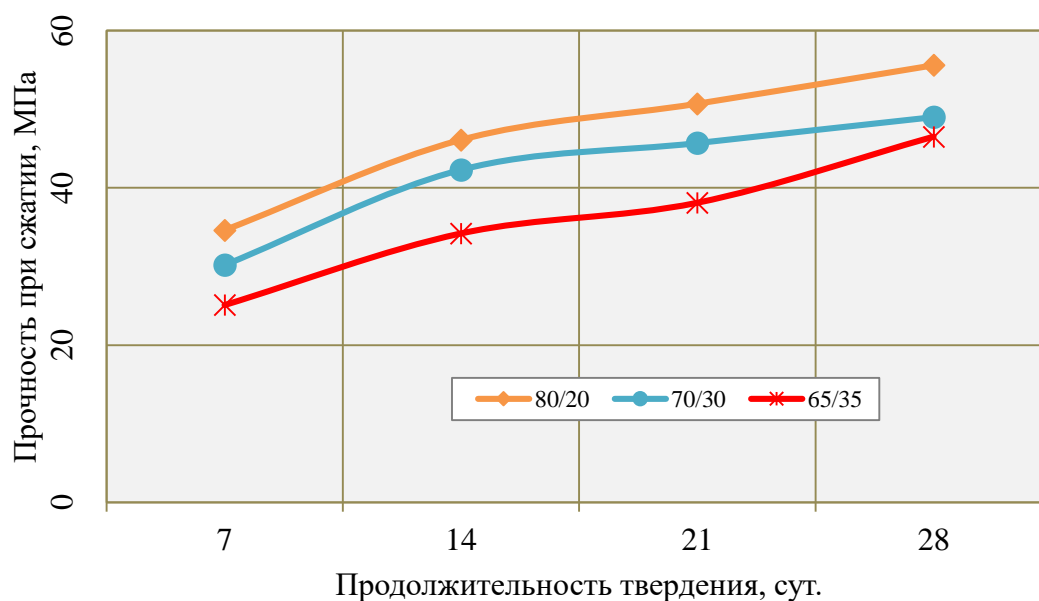


Рисунок 2 - График кинетики набора прочности образцов вяжущего «портландцемент – карбонатная добавка – суперпластификатор»

Комплексное использование карбонатной добавки и суперпластификатора «Полипласт СП-1» в дозировке 1% от массы портландцемента способствовало существенному снижению водопотребности цементного теста, к тому же сроки схватывания увеличиваются на 60 минут, чтобы благоприятно скажется на процессах гидратации и дальнейшего твердения. Дальнейшее увеличение дозировки карбонатной добавки отрицательно сказывается на прочностных характеристиках, что объясняется увеличением свободной извести и портландита в композиции, но учитывая экономию 30–35% портландцемента снижение прочности на 11-19% дает возможность использовать этот материал в качестве отделочных материалов.

Таким образом, необходимо отметить, что предлагаемые рецептуры многокомпонентной вяжущей системы «портландцемент – карбонатная добавка – суперпластификатор», позволят сократить долю затратного клинкера в цементной композиции, за счет утилизации карбонатных отходов, тем самым решаются проблемы экологического и технического характера. Полученные вяжущие композиции способны направленно улучшать технологические, физико-механические и эксплуатационные характеристики бетонной смеси и бетона, достигать в итоге классы бетона В30–40, что актуально при возведении монолитных бетонных и железобетонных конструкций в условиях строительной площадки.

#### Список литературы:

1. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны // М.: АСВ. 2006. 289 с.

2. Hillemeier B., Buchenau G., Herr, R., Huttli R., Klubendorf St., Schubert K.: Spezialbetone Betonkalender, Ernst & Sohn. 2006. №1. P.534-549.
3. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М.Ш., Бисултанов Р.Г. Влияние тонкодисперсных микронаполнителей из вулканического пепла на свойства бетонов // Сборник статей международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова», 24-26 марта 2015 г., г. Грозный, т. 1, С. 171-176.
4. Муртазаев С-А.Ю., Саламанова М.Ш., Сайдумов М.С., Гишлакаева М.И. Использование в мелкозернистых бетонах отходов переработки горных пород // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Наука и образование в Чеченской республике: состояние и перспективы», посвященной 10-ти летию со дня образования КНИИ РАН. Грозный: 2011. С.181-184.
5. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М.Ш. Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы // Приволжский научный журнал. 2018. Т. 46. № 2. С. 65–70.
6. Каприелов С.С. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях. Ч. II // Строительные материалы. 2008. №3. С.9-13.
7. Murtazayev S- A. Yu., Salamanova M.Sh., Alashanov A., Ismailova Z. Features of Production of Fine Concretes Based on Clinkerless Binders of Alkaline Mixing 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019) Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 23–27 September 2019. Belgorod: 2019. pp. 385-388.
8. Murtazayev S- A. Yu., Salamanova M.Sh., Mintsayev M.Sh., Bisultanov R.G Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol.1. pp.500 – 503.
9. Khater A., and Gawwad H. Effect of firing temperatures on alkali activated Geopolymer mortar doped with MWCNT. Advances in Nano Research, 2015. No.3 (4), pp. 225-242.
10. Саламанова М.Ш., Муртазаев С-А.Ю., Аласханов А.Х., Муртазаев Т. С-А. Перспективы использования отходов цементной промышленности для получения современных бетонных композитов // Строительные материалы. 2021. № 5. С.54-63.
11. Fediuk, M. Mosaberpanah and V. Lesovik, “Development of fiber reinforced self-compacting concrete (FRSCC): towards an efficient utilization of quaternary composite binders and fibers,” (Advances in concrete construction, 2020, 9(4)), pp. 387-395.
12. С.-А.Ю. Муртазаев, В.Х. Хадисов, М.Ш. Саламанова, М.М. Мовсулов, “Перспективы использования отходов цементной промышленности,” (В сборнике: Современные проблемы в строительстве: постановка задач и пути

их решения: сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Юго-Западный государственный университет, 2019), С. 258-265.

**Е.В. Ткач<sup>1</sup>, Ю.С. Филимонова<sup>1</sup>**

## **ТЯЖЕЛЫЙ БЕТОН НА ОСНОВЕ ПОЛИДИСПЕРСНОГО ВЯЖУЩЕГО С КОМПЛЕКСНЫМ МОДИФИКАТОРОМ ДЛЯ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

*<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26*

### **Аннотация**

К бетонам, применяемым в гидромелиоративном строительстве, предъявляются высокие требования по долговечности, которая оценивается в первую очередь, их прочностью и водонепроницаемостью [1]. Основным направлением решения задач данного типа, является создание высокой плотности структуры бетона, рационально сочетающего необходимые технологические и эксплуатационные характеристики, путем использования вяжущих веществ высокого качества и комплексных модификаторов [2-3]. В частности, применением полидисперсных минеральных компонентов, обеспечивающих высокую плотность упаковки исходных частиц в каждом микрообъеме материала, а также пластификаторов и полимерных модификаторов, модифицирующих структуру и свойства материала [4-5]. Перспективным является направление по разработке и реализации эффективных мер по усилению и защите железобетона материалами с повышенной степенью сопротивляемости агрессивным факторам окружающей среды, например, полимерными композициями [6-8]. Полимербетоны не нашли еще широкого распространения из-за их дефицитности и высокой стоимости и, таким образом, основным строительным материалом при возведении мелиоративных сооружений остаются бетон и железобетон. Таким образом, решение задач получения бетонов, в частности для гидромелиоративного строительства, с высокими эксплуатационными свойствами путем модифицирования его структуры и свойств комплексными добавками [9-12] с каждым годом становится всё более актуальным.

Свойства и структура модифицированного бетона изучались с использованием следующих материалов. В качестве вяжущего применяли портландцемент класса ЦЕМ I 42,5Н; мелкого заполнителя – природный песок с модулем крупности 2,5; крупного заполнителя – гранитный щебень. Для регулирования свойств бетонной смеси и полученного на его основе бетона вводили комплексную химическую добавку: суперпластификатор Melflux 5581 F плюс водорастворимая полимерная добавка «ПОЛИДОН-А» и дисперсно-армирующая добавка – рубленое базальтовое волокно.

Проведен подбор предварительного состава тяжелой бетонной смеси с целью определения оптимального расхода исходных материалов на 1 м<sup>3</sup>

бетонной смеси, при котором обеспечиваются следующие условия: выдерживаются заданные физико-механические, гидрофизические характеристики и эксплуатационные свойства проектируемого бетона. В работе было проведено исследование по упорядочению структуры разномодульного вяжущего за счет выбора оптимальной дисперсности и создание тонкодисперсных фракций клинкерного компонента. Было предусмотрено определение различных фракций клинкерного компонента, обеспечивающих максимальную плотность упаковки используемых цементных частиц. Исследование проводилось с тремя фракциями: грубой (удельная поверхность 1200-1500 см<sup>2</sup>/г), более дисперсной, превышающей дисперсность грубой фракции на 1500 см<sup>2</sup>/г и высокодисперсной, обеспечивающей заполнение оставшихся пустот в образовавшейся структуре.

При различной дисперсности двух клинкерных составляющих возможна реализация трех схем упаковок частиц относительно исходной (рисунок 1 а).

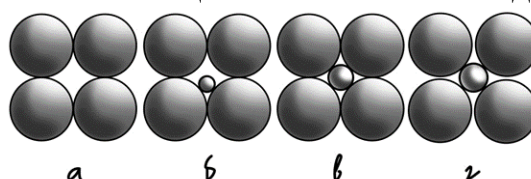


Рисунок 1 - Теоретически возможные схемы взаимораспределения частиц клинкерного компонента

При введении частиц размера, крупнее оптимального (рисунок 1 г), будет происходить раздвижка зерен, сопровождающаяся увеличением пустотности цементной системы, вследствие чего, на ранней стадии темп её твердения будет снижаться, а также обладать более низкой прочностью на поздних сроках твердения. В случае, если размер частиц меньше оптимального (рисунок 1 б), объем пустот уменьшается относительно упаковки исходных частиц (рисунок 1 а), но в меньшей степени, чем в оптимальном случае (третья схема, рисунок 1 в). Твердение цементной системы на ранней стадии также будет более замедлено относительно третьей схемы. Исходная упаковка грубых частиц клинкера не нарушается, а её пустотность – минимальна (рисунок 1 в). Поэтому в дальнейших исследованиях была принята третья схема упаковки (оптимальная) с разностью удельных поверхностей фракций, равной 1500 см<sup>2</sup>/г, что является первым уровнем упаковки двух фракций клинкерного составляющего. Первый уровень – грубая фракция клинкера с удельной поверхностью 1200 см<sup>2</sup>/г принималась с учетом обеспечения запаса клинкерного фонда, способствующему восстановлению бетона в поздние сроки твердения при его эксплуатации (рисунок 1 а). Второй уровень – тонкая фракция с удельной поверхностью 2700 см<sup>2</sup>/г принималась с учетом максимального заполнения пустот грубодисперсной составляющей, которая должна обеспечить твердение цементной системы на ранней стадии твердения (рисунок 1 а). Для значимого повышения качества цемента и темпов твердения на ранней стадии, а также возможностью получения высокопрочного бетона с минимальным расходом

цемента вводилась третья фракция с удельной поверхностью 4500 см<sup>2</sup>/г, что является третьим уровнем упаковки дисперсного состава вяжущего вещества.

Для проведения эксперимента расход материалов бетонных смесей на 1 м<sup>3</sup> в виде воды, гранитного щебня, песка, гиперпластификатора «Melflux 5581 F» установлен постоянным для всех разработанных составов и равным, соответственно, 128 л, 960 кг, 1048 кг, 0,8 кг. Входные факторы, влияющие на прочность на сжатие ( $R_{сж}$ ), растяжение при изгибе ( $R_{изг}$ ) и водопоглощение ( $W_m$ ), отображены в табл. 3 и представлены в виде:  $x_1$  – содержание полимера «Полидон-А»,  $C_d$ , % от массы вяжущего вещества;  $x_2$  – содержание базальтового волокна,  $C_f$ , % от объема.

Получены следующие уравнение регрессии (1; 2; 3) в соответствии с полученными результатами:

$$Y_1 = 60,3 + 1,55x_1 + 0,91x_2 + 2,13x_1x_2 - 4,46x_1^2 - 3,44x_2^2 \quad (1)$$

$$Y_2 = 6,78 + 0,02x_1 + 0,13x_2 + 0,22x_1x_2 - 0,16x_1^2 - 0,35x_2^2 \quad (2)$$

$$Y_3 = 2,4 - 0,27x_1 + 0,07x_2 - 0,25x_1x_2 + 0,39x_1^2 + 0,12x_2^2 \quad (3)$$

При помощи инструментов компьютерной программы Matlab R2015a были получены изображения поверхности выражения целевых функций для регрессионных уравнений (1; 2; 3) и определены значения переменных  $x_1$  и  $x_2$ , при которых искомая функция ( $y$ ) принимает максимальное или минимальное значение, отображенные на рисунках 2; 3; 4 соответственно.

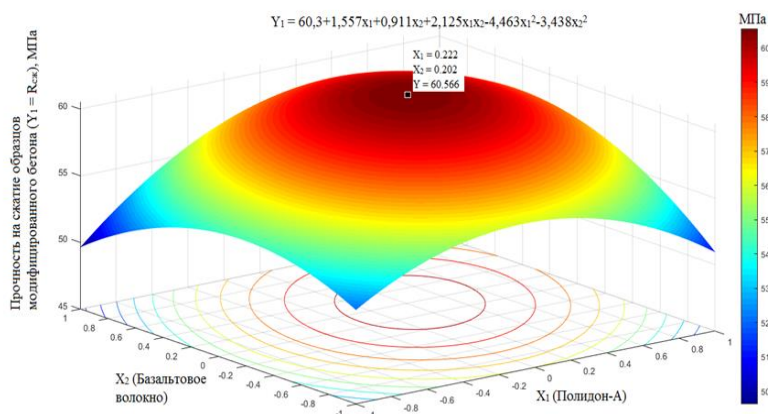


Рисунок 2 - Графическое изображение поверхности регрессионного уравнения (2) второго порядка

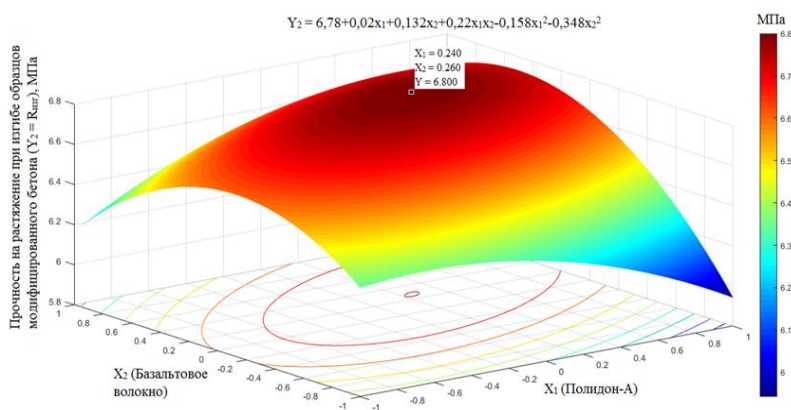


Рисунок 3 - Графическое изображение поверхности регрессионного уравнения (3) второго порядка



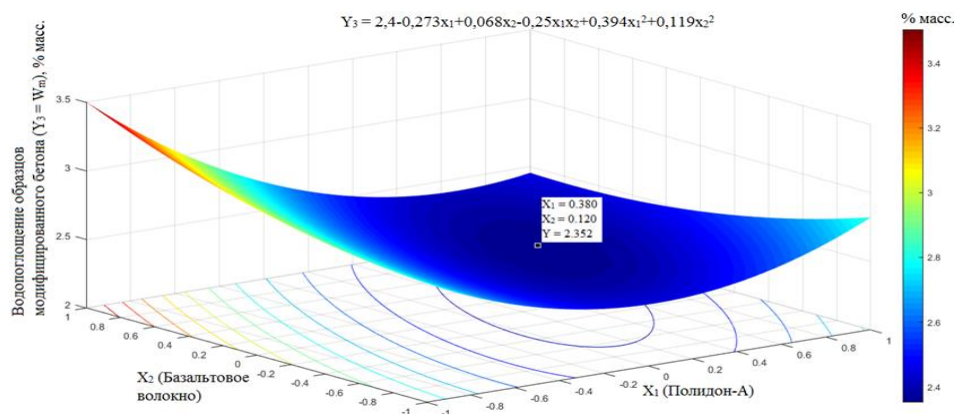


Рисунок 4 - Графическое изображение поверхности регрессионного уравнения (1.4) второго порядка

Используя инструменты компьютерной программы Matlab R2015a найдено максимальное значение целевой функции регрессионного уравнения второго порядка:  $MAX Y_{1max} = 60,566$  при  $x_1 = 0,222$ ,  $x_2 = 0,202$ , что в натуральных значениях составляет 0,222 % и 0,703 %, соответственно.  $MAX Y_{2max} = 6,800$  при  $x_1 = 0,240$ ,  $x_2 = 0,260$ , что в натуральных значениях составляет 0,224 % и 0,739 %, соответственно.  $MAX Y_{3min} = 2,352$  при  $x_1 = 0,380$ ,  $x_2 = 0,120$ , что в натуральных значениях составляет 0,238 % и 0,718 %, соответственно. Установлены оптимальные значения  $x_{1opt} = 0,231$ ,  $x_{2opt} = 0,711$  в натуральном виде, при которых функция  $Y_1$  – прочность на сжатие ( $R_{сж}$ ) принимает максимальное значение, а  $Y_3$  (водопоглощение,  $W_m$ ) – минимальное. После подстановки найденных значений в уравнения 1.2 – 1.4 были определены прочность на сжатие  $R_{сж} = 59,68$  МПа, растяжение при изгибе  $R_{изг} = 6,73$  МПа, водопоглощение  $W_m = 2,43\%$ .

## ВЫВОДЫ

1. Исследовано влияние трехфракционного состава клинкерного компонента цементных частиц (1200, 2700, 4500 см<sup>2</sup>/г) на снижение межчастичной пустотности до 7% и повышение прочности на 35-40% относительно контрольного состава.

2. Обоснована и экспериментально доказана возможность получения тяжелого бетона с повышенными эксплуатационными показателями за счет совместного применения полидисперсного вяжущего с комплексным полимерным модификатором (Melflux + Полидон-А) и микроармирующим базальтовым волокном.

3. С использованием методов математического планирования эксперимента и методов регрессионного анализа оптимизирован состав модифицированного тяжелого бетона по критериям прочности: на сжатие, растяжение при изгибе, водопоглощение соответственно. Определено оптимальное содержание базальтового армирующего волокна в предлагаемом составе с концентрацией фибры, составляющей 0,75% и содержание полимера «Полидон-А» - 0,2% от массы вяжущего.

### Список литературы:

1. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. - М.: Изд. Асс. строительных вузов. - 2006. - 368 с.
2. Соловьев В.И., Ткач Е.В., Серова Р.Ф., Ткач С.А., Тоимбаева Б.М., Сейдинова Г.А. Исследование пористости цементного камня, модифицированного комплексными органоминеральными модификаторами // Фундаментальные исследования. — 2014. — № 8-3. — С. 590-595.
3. Самченко С.В., Абрамов М.А., Егоров Е.С. Особенности протекания гидратации и твердения цементных паст с добавкой гидратированного цемента // Техника и технология силикатов. 2020. Т. 27. № 1. С. 24-28.
4. Энтин З.Б., Юдович Б.Э. Многокомпонентные цементы. - Научн. тр. // НИИцемент, вып 107. 1994. С. 3-76. DOI: 10.31659/0585-430X-2016-740-8-25-29.
5. Величко Е.Г., Шумилина Ю.С. К проблеме формирования дисперсного состава и свойств высокопрочного бетона // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 2. С. 235-243. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.235-243.
6. Самченко С.В., Козлова И.В., Земскова О.В., Дударева М.О., Шубина Е.С. Сравнительный анализ способов модифицирования шлакопортландцемента ультрадисперсным компонентом // Техника и технология силикатов. 2020. Т. 27. № 4. С. 113-120.
7. Калашников В.И. Промышленность нерудных строительных материалов и будущее бетонов, Construction Materials, 3, 20-23(2008)
8. Суздальцев О.В. Новые высокоэффективные бетоны, New university. Technical sciences, 7-8(29-30), 44-47(2014).
9. Самченко С.В., Егоров Е.С. Управление свойствами цементной пасты при ее модифицировании предварительно гидратированной цементной суспензией // Техника и технология силикатов. 2021. Т. 28. № 2. С. 54-58.
10. Ткач Е. В., Темирканов Р. И. Улучшение физико-механических свойства модифицированного бетона на основе применения химически активированного микрокремнезема с микроармирующим волокном // Строительство и реконструкция. – 2020. – №2 (88). – С. 123-135
11. Филимонова Ю.С., Величко Е.Г. Исследование комплексной модификации тяжелого бетона // Строительство и реконструкция. 2021. №4 (96). С.107-109 DOI: 10.33979/2073-7416-2021-96-4-107- 112.
12. Ткач Е.В., Филимонова Ю.С., Корнеев А.И. Тяжелый бетон на основе полидисперсного вяжущего с комплексным полимерным модификатором с повышенными эксплуатационными показателями // Строительство и реконструкция. 2022;(2):112-119. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2022-100-2-112-119>

**Пилипенко Антон Сергеевич, Скаяев Арсен Русланович**  
**ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ**  
**АЭРОГЕЛЕЙ**

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет», 129337, Центральный федеральный округ, г.  
Москва, Ярославское шоссе, д. 26*

**Аннотация:** Повышение эффективности теплоизоляционных материалов возможно за счёт создания низкоплотной структуры с развитой удельной поверхностью, исключаяющей внутренние конвекционные процессы. Аэрогели на основе различных материалов неплохо зарекомендовали себя в отраслях техники не только как теплоизоляционные материалы, но и материалы со специальными свойствами. Полимерные аэрогели обладают рядом особенностей, которые позволяют эффективно применить их в строительстве в качестве теплоизоляционных материалов. Применение отходов полимерного производства и вторичных полимеров может удешевить подобные материалы. Для подтверждения указанного предположения были изучены механические и химические свойства вторичных полиэтилентерефталатов. Показана принципиальная возможность их применения для получения аэрогелей, но технология получения требует дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** аэрогель, вторичный полиэтилентерефталат, теплоизоляционные материалы, поливинилхлорид, замена растворителя.

В настоящее время остро стоит проблема утилизации и переработки полимерных бытовых отходов. Такие отходы имеют долгий цикл естественного разложения, мешая развитию и восстановлению экосистемы. В особенности вызывает затруднения переработка крайне стойкого к химическим воздействиям полиэтилентерефталата (ПЭТФ). Основные используемые механизмы переработки (переплавка и гранулирование, разложение ПЭТФ на исходные компоненты и повторный синтез и т.п.) энергозатратны и относительно сложны.

Теплоизоляционные материалы на основе полимеров применяются в строительстве достаточно широко. Например, фольгированный вспененный полиэтилен используется для создания неразрывного контура утеплителя ангаров, складов, ферм, бытовых помещений [1]. Преимуществами таких материалов является технологичность монтажа (вплоть до соединения при помощи сварки горячим воздухом), достаточная долговечность и теплотехническая эффективность при сопоставимой стоимости. Тем не менее, замкнутый водо- и паронепроницаемый контур требует устройства вентиляции помещения, а полимерная природа материала не позволяет достичь высокой механической прочности на сжатие и высокой пожарной безопасности материала.

При этом развитие строительной технологии требует разработки более эффективных и доступных теплоизоляционных материалов с высокой эксплуатационной стойкостью. Примером таких материалов могут являться

различные аэрогели из минерального или органического сырья. Они обладают низкой средней плотностью  $\rho_m=20-40$  кг/м<sup>3</sup> и низким коэффициентом теплопроводности  $\lambda=0,02$  Вт/м·К.

В настоящее время производство аэрогелей для строительных нужд находится на невысоком уровне. В России разработка аэрогелей впервые была проведена сотрудниками ИК СО РАН и ИЯФ СО РАН в Новосибирске, результаты работы применялись в основном для тонких исследований излучения Вавилова-Черенкова. Последующие исследования показали эффективность применения аэрогелей в качестве сорбирующих и фильтрационных материалов, а также в качестве эффективной теплоизоляции. Наиболее широко представлены на современном строительном рынке изделия китайского происхождения (Alison Aerogel, Joda и т.д.). Изделия, предлагаемые этими компаниями, имеют в своём составе керамический или кремниевый аэрогель на керамическом холсте или без него. В США аэрогели в основном используются в аэрокосмической и тонкой химической технологии, но есть и малосерийное производство силикатных аэрогелей, в основном, сувенирного назначения. В России производство аэрогелей осуществляется на нескольких предприятиях (например, ООО «Ниагара», Щёлково) и имеет невысокие количества произведённой продукции из-за сложности и дороговизны технологии.

Существующие технологии предполагают применение сверхкритической экстракции для всех типов аэрогелей, что значительно удорожает производство материалов. Подбор компонентов жидкой фазы, способных удаляться при естественной сушке, может удешевить производство и расширить возможности применения аэрогелей, например, для изоляции трубопроводов, жилых и производственных зданий, промышленного оборудования в суровых условиях Крайнего Севера. Основная идея исследования заключалась в том, что получить аэрогель возможно путём создания гелевой структуры полимера в растворителе и последующей фиксации структуры методом замены растворителя.

Для подтверждения принципиальной возможности получения аэрогелей на основе ПЭТФ химическими методами без использования сложных технологических процессов были проведены исследования прочностных и деформативных свойств ПЭТФ и его растворимости. Был использован гранулированный ПЭТФ производства «VP Polymer», средняя плотность которого по данным производителя составила 1360-1400 кг/м<sup>3</sup>, прочность при разрыве – 60-80 МПа, температура плавления – 180-240°C, температура стеклования – 70-80°C, а температура разложения – 350°C. Дополнительно был использован подготовленный вторичный ПЭТФ, полученный путём механической переработки случайной выборки пластиковых бутылок, очищенных соответствующими растворителями от остальных защитных слоёв. В качестве растворителей по литературным данным были взяты наиболее распространённые растворители различных производителей – бензол, толуол, ксилол, диметилформамид, диметилсульфоксид, дихлорэтан, тетрахлорметан, циклогексанон и др.

Образцы ПЭТФ были подготовлены путём формования в экструдере с последующей изотермической выдержкой. Форма образцов соответствовала требованиям соответствующих документов ГОСТ. Испытания механических свойств показали предел прочности на разрыв около 15-17 МПа, на сжатие – около 40 МПа, на изгиб – 36-39 МПа.

Для определения химической стойкости образцы ПЭТФ, наоборот, были подвергнуты измельчению до частиц размером не более 5 мм. Стойкость оценивалась путём контроля убывания массы навески в соответствующем растворителе. В процессе исследования образцы ПЭТФ показали нулевую растворимость в выбранном наборе растворителей. Для улучшения условий протекания реакции образцы в колбах с растворителем были подвергнуты нагреванию на водяной бане при ступенчатом нагреве (рисунок 1). При повышении температуры до 95-100°C и изотермической выдержке в течение 20 минут растворения также не наблюдалось.



Рисунок 1 - Оценка растворимости образцов ПЭТФ

Таким образом, предположение о возможности получения гелевой системы на основе ПЭТФ при комнатных и бытовых температурах и атмосферном давлении не оправдалось. Тем не менее, для проверки принципиальной возможности такой технологии было принято решение использовать другой полимерный материал – поливинилхлорид (ПВХ) производства ВОАО «Химпром», средняя плотность которого по данным производителя составила 1370-1420 кг/м<sup>3</sup>, прочность при разрыве – 47-53 МПа, температура плавления – 150-200°C, температура стеклования – 70-90°C, а температура разложения – 100-140°C. В качестве растворителя был выбран диметилформамид (ДМФА) производства компании «Компонент–Реактив». Заменителем растворителя был выбран технический этиловый спирт.

Получение гелевой структуры обеспечивалось растворением ПВХ в ДМФА при помощи ультразвуковой лабораторной мешалки (рис. 2). Температура в реакторе в процессе перемешивания контролировалась и не поднималась выше 60°C. Время перемешивания составляло 30 минут, период гелеобразования составил около 16 часов, замена растворителя осуществлялась подачей заменителя снизу-вверх в четыре этапа через 6 часов каждый.



Рисунок 2 - Схема лабораторной установки (ультразвуковая мешалка, керамическая чаша-реактор, чаша-кристаллизатор с водой, шумозащитный кожух).

Полученные образцы приобрели структуру аэрогеля (рисунок 3), но, вследствие выбранной схемы вытеснения растворителя с удалением отработанного ДМФА с поверхности, полного вытеснения растворителя из структуры материала не произошло. Помимо этого, этиловый спирт во всех этапах вытеснения подавался чистым, что не позволило ПВХ в структуре отвердеть. В процессе последующего анализа уровня техники были выявлены похожие исследования [2], в которых спирт вводился разбавленным водой в соотношении 0, 25, 50 и 75%. Это позволило получить стабильную структуру ПВХ-аэрогеля после естественной сушки.



Рисунок 3 - Образование гелевой структуры образца ПВХ-ДФМА

В нашем случае, за счёт указанных выше факторов, наблюдалась значительная усадка образцов при удалении смеси растворителя и заменителя (рис. 4). Значение усадки возрастало со временем, вплоть до полного омоноличивания образца в некоторых случаях. Тем не менее, при уточнении механизма замены растворителя, получить гелевую структуру в композиции ПВХ-ДФМА возможно. Впоследствии возможно также и стабилизировать полученную структуру с образованием аэрогеля на основе ПВХ, что показано исследователями [2].



Рисунок 4 - Контроль усадки образца (начальный размер – диаметр чашки Петри, размер образца с течением времени контролировался штангенциркулем по характерным диаметрам).

Таким образом, в результате исследований были оценены свойства вторичных полиэтилентерефталатов в качестве сырья для производства аэрогелевых материалов. Предложенная технология получения аэрогелей на основе полиэтилентерефталата при помощи метода замены растворителя оказалась малоэффективной из-за высокой стойкости полиэтилентерефталата к растворителям.

Для подтверждения принципиальной возможности получения аэрогелей на основе полимерного сырья были проведены исследования на условно похожем поливинилхлориде. Аэрогели на основе поливинилхлорида были получены по рассмотренной технологии, но имели высокую усадку и неполное удаление растворителя.

Для дальнейших исследований представляется целесообразным изучить технологию с этапом растворения полиэтилентерефталата при повышенных давлении и температуре (с возможностью образования гелеобразной структуры кипением при резком изменении давления).

#### **Список литературы:**

1. Zhukov, Alexey D., et al. Insulation Sheath Materials for Cold Preservation. *Materials Science Forum*, vol. 974, Trans Tech Publications, Ltd., Dec. 2019, pp. 452–457. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.974.452.
2. Man Li, et al. Ultralight and Flexible Monolithic Polymer Aerogel with Extraordinary Thermal Insulation by A Facile Ambient Process. *Adv. Mater. Interfaces* 2019, 6, 1900314, DOI: 10.1002/admi.201900314.

**Явинский Александр Викторович**  
**ВЛИЯНИЕ ЗОЛЫ ГИДРОУДАЛЕНИЯ НА СВОЙСТВА**  
**КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО**

*Аспирант кафедры “Промышленное и гражданское строительство”  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный  
университет»*

*пр. Мира, д. 5, г. Омск, Россия, 644080.*

*Научный руководитель: Чулкова Ирина Львовна, д.т.н., профессор  
кафедры “Промышленное и гражданское строительство”*

**Аннотация:** В работе исследуется актуальная тема использования отходов ТЭЦ в качестве компонента композиционного вяжущего. Для исследования влияния количества золы гидроудаления на прочность композиционного вяжущего изготавливались составы с различной дозировкой золы (0%, 10%, 20%, 30%, 40%). В качестве образцов использовались кубы с ребром 2 см. Часть образцов подвергались тепловлажностной обработке, а часть твердели в нормальных условиях. По результатам испытаний на прочность был рассчитан удельный расход цемента на единицу прочности композиционного вяжущего. По результатам исследований можно сделать вывод, что замена 20% цемента золой гидроудаления при тепловлажностной обработке позволит получать составы, не уступающие по прочности беззолым образцам и характеризующиеся сниженным расходом цемента на единицу прочности.

**Ключевые слова:** цемент, зола гидроудаления, прочность, расход цемента.

Образующиеся при сжигании угля отходы тепловых электростанций (ТЭЦ) создают серьезную проблему при их утилизации и хранении [1]. В мире наблюдается тенденция к повышению количества потребляемого твердого топлива на тепловых электростанциях [2].

Ежегодная выработка отходов ТЭЦ в России составляет более 25 млн. тонн, однако, переработке подвергается не более 10% вырабатываемых в год отходов, что значительно меньше, чем в других развитых странах. Следствием чего стали огромные площади золоотвалов по всей России. Общая площадь золоотвалов в России составляет более 30 тыс. га, на которых хранится около 1,5 млрд тонн отходов [3].

Строительная отрасль является наиболее актуальной для переработки отходов ТЭЦ. Одним из направлений утилизации золы гидроудаления может быть её использование в составе композиционного вяжущего.

Критерием оценки экономической эффективности использования композиционного вяжущего может выступать удельный расход цемента на единицу прочности, который рассчитывается по формуле [4]:

$$C_{сж}^{уд} = \frac{C}{R_{сж}}, \text{ кг/МПа}, \quad (1)$$

где  $C$  – расход цемента, кг/м<sup>3</sup>;  $R_{сж}$  – прочность образца при сжатии, МПа.

В работе использовалась зола гидроудаления ТЭЦ-5 города Омска, с следующим химическим составом: SiO<sub>2</sub> - 56,55%, TiO<sub>2</sub> – 1,01%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 22,25, % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 9,29%, MnO - 0,14%, MgO - 0,78%, CaO - 1,44%, Na<sub>2</sub>O - 0,29%, K<sub>2</sub>O - 0,71%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 0,32%, потери при прокаливании - 7,22 %. По химическому составу омская зола является ультракислой и не обладает собственной активностью.

Вторым компонентом исследуемого композиционного вяжущего является цемент ЦЕМ I 42,5 Н изготовленный в ООО «Топкинский цемент».



Для исследования были запроектированы составы композиционного вяжущего из золы гидроудаления и цемента, которые отличались количеством вводимой золы гидроудаления (0%, 10%, 20%, 30%, 40%). Из композиционного вяжущего изготавливались образцы кубы с ребром 2 см, часть из которых твердели в камере нормального твердения (НУ), а часть подвергались тепловлажностной обработке (ТВО) в пропарочной камере. Режим тепловлажностной обработки составил 3 ч предварительной выдержки и 6 часов изотермического прогрева при температуре +60<sup>0</sup>С затем 3 часа плавного остывания. Образцы после тепловлажностной обработки испытывались на 2 сутки, образцы, твердевшие в камере нормального твердения на 28 сутки.

На рисунке 1 представлена зависимость прочности композиционного вяжущего от количества вводимой в него золы гидроудаления.

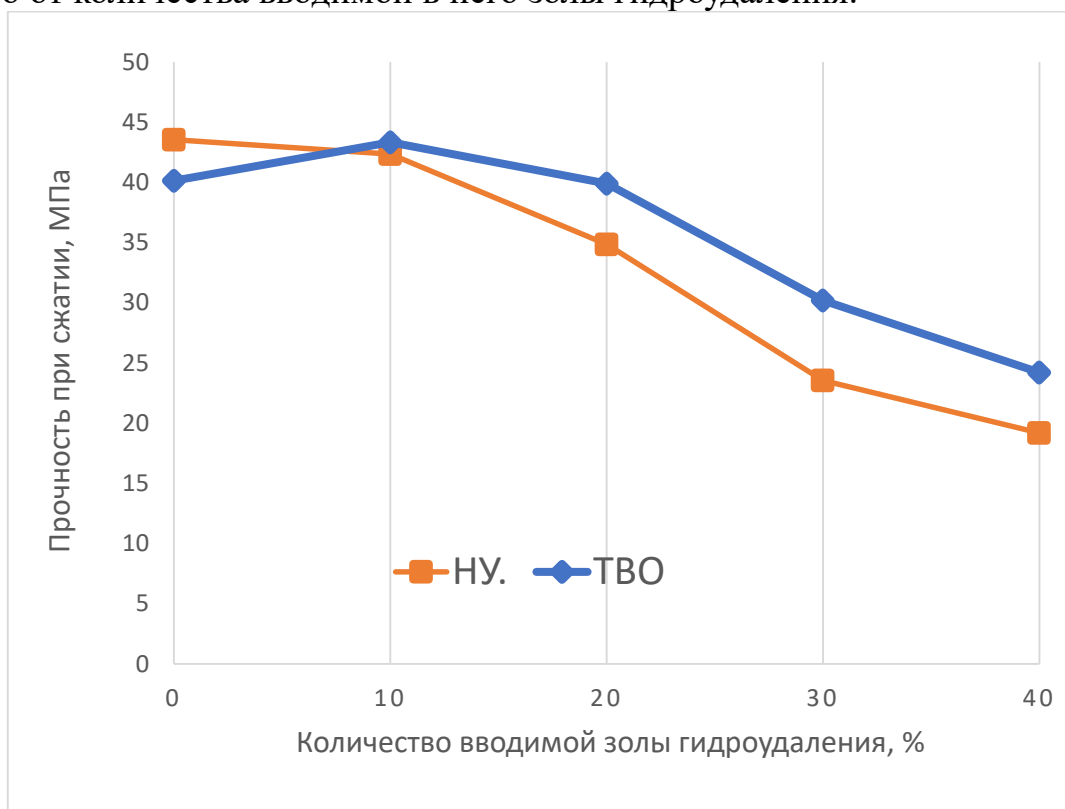


Рисунок 1 – Прочность композиционного вяжущего в зависимости от количества золы гидроудаления

Исследуемые составы при НУ показывают прочность при сжатии ниже, чем контрольный состав на 3%, 20%, 46%, 54% соответственно для составов с 10%, 20%, 30%, 40% золы гидроудаления. Снижение прочности при введении отходов омской ТЭЦ-5 может быть следствием повышенной водопотребности золы гидроудаления, а также большого количества частиц не сгоревшего топлива (потери при прокаливании составляют 7,22%).

Тепловлажностная обработка составов с заменой части цемента омской золой гидроудаления позволяет получать образцы сопоставимые по прочности при сжатии с контрольным беззолым образцом при введении до 20% отходов. Введение 30% и 40% золы гидроудаления значительно снижает прочность составов, не зависимо от условий твердения. Для повышения вводимого

количества золы гидроудаления необходимо использовать пластифицирующие добавки.

На рисунке 2 представлена зависимость удельного расхода цемента на единицу прочности композиционного вяжущего от количества вводимой в него золы гидроудаления.

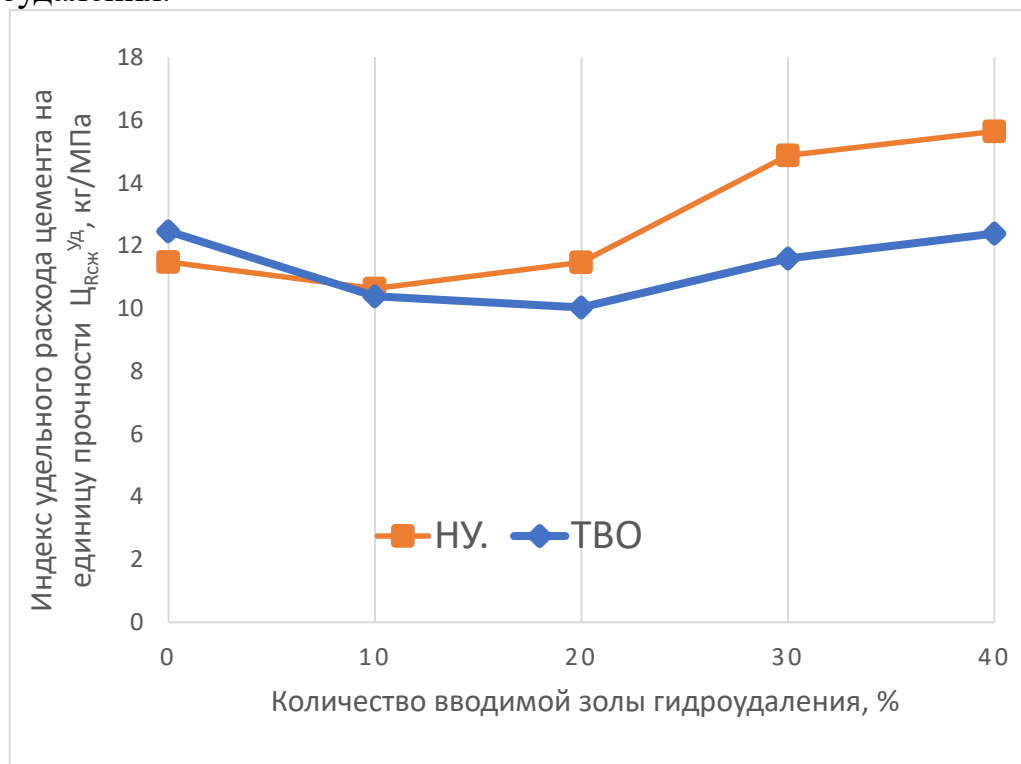


Рисунок 2 – Удельный расход цемента на единицу прочности композиционного вяжущего

Удельный расход цемента на единицу прочности позволяет оценить экономическую эффективность используемых составов. Снижение данного показателя показывает, что используемые составы с введением золы гидроудаления (10% и 20%) более экономически эффективны, чем состав на чистом цементном вяжущем.

ТВО составов с 30% и 40% золы гидроудаления позволяет получать составы с пониженной прочностью и пониженным расходом цемента на единицу прочности, однако требует дополнительных расходов энергии. Твердение составов с 30% и 40% золы при НУ показывает отрицательный экономический эффект, что выражается в повышении индекса удельного расхода цемента и говорит о нецелесообразности использования данных составов.

По результатам испытаний можно сделать вывод, что использование композиционного вяжущего с введением 20% золы гидроудаления позволяет получать составы, которые не уступают по прочности контрольному беззолному составу при твердении в тепловлажностных условиях и будут экономически эффективнее, что выражается в снижении удельного расхода цемента на единицу прочности на 15%.

Введение 10% золы гидроудаления в состав композиционного вяжущего позволяет получать образцы, не уступающие по прочности контрольному

образцу в НУ твердения, при этом индекс удельного расхода цемента на единицу прочности будет снижен всего на 8%.

Вышесказанное говорит о том, что для повышения количества вводимой золы гидроудаления необходимо использовать ТВО, что позволит получить повышенный экономический эффект от снижения расхода цемента, а также позволит получать образцы повышенной прочности.

#### **Список литературы:**

1. Баженов Ю. М. и др. Высококачественные самоуплотняющиеся бетоны с использованием отходов сжигания угля //Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12. – №. 12 (111). – С. 1385-1391.

2. Лесовик В. С., Федюк Р. С. Теоретические предпосылки создания цементных композитов повышенной непроницаемости //Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2016. – №. 1 (47). – С. 65-72.

3. Явинский А.В., Чулкова И.Л. Влияние золы гидроудаления на свойства тяжелого бетона для строительства дорожного покрытия // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 3. С. 16–24.

4. Калашников В. И., Хвастунов А. В., Хвастунов В. Л. Физико-механические и гигрометрические свойства порошково-активированных высокопрочных щебеночных бетонов и фибробетонов с низким удельным расходом цемента на единицу прочности //Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – №. 5. – С. 161-164.

**Климаш Константин Владимирович**

#### **ЛОКАЛИЗАЦИЯ ДЕФЕКТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРОЦЕССЕ ВЫПОЛНЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ**

*ДВФУ, Политехнический институт, инженерно-строительное отделение.*

*Научный руководитель: д.т.н., доц. Федюк Р.С.*

**Аннотация:** Основной задачей является нахождение универсального и точного способа неразрушающего контроля строительных конструкций на наличие дефектов.

**Ключевые слова:** Дефектоскопия, строительные конструкции, неразрушающий контроль.

Во время прохождения практики я участвовал в строительной экспертизе зданий вместе со специалистами компании. Экспертиза проводилась по адресу Крылова 10. Здания исследовались с целью дальнейшего сноса и постройки на их месте жилого комплекса. Именно поэтому так важно выполнить правильно все этапы строительной экспертизы с получением максимума информации о данной местности.

Выполнение строительной экспертизы требуется для каждого строительного объекта, который сдаётся в эксплуатацию. Экспертиза проводится перед планировкой проведения капитального ремонта; перед

проведением реконструкции или модернизации здания; при необходимости оценки здания после пожара или затопления, а также выявления их причин и последствий; при перепланировке или пристроении дополнительного строения; при определении износа конструкции. Всего строительную экспертизу можно разделить на 3 этапа.

На первом этапе экспертизы проводятся замеры объекта, визуальный просмотр помещений, сбор документации и информации об объекте, например и информация об электросетях, теплоснабжению, тех. паспорт сооружения. Благодаря общему исследованию объекта строится подробная модель со всеми необходимыми планами.

На втором этапе производится более глубокий анализ всех конструкций. Проводятся инструментальная и лабораторная экспертизы, а также расчёт несущих частей конструкций (если это требуется для достижения целей заказчика) (рисунок 1)

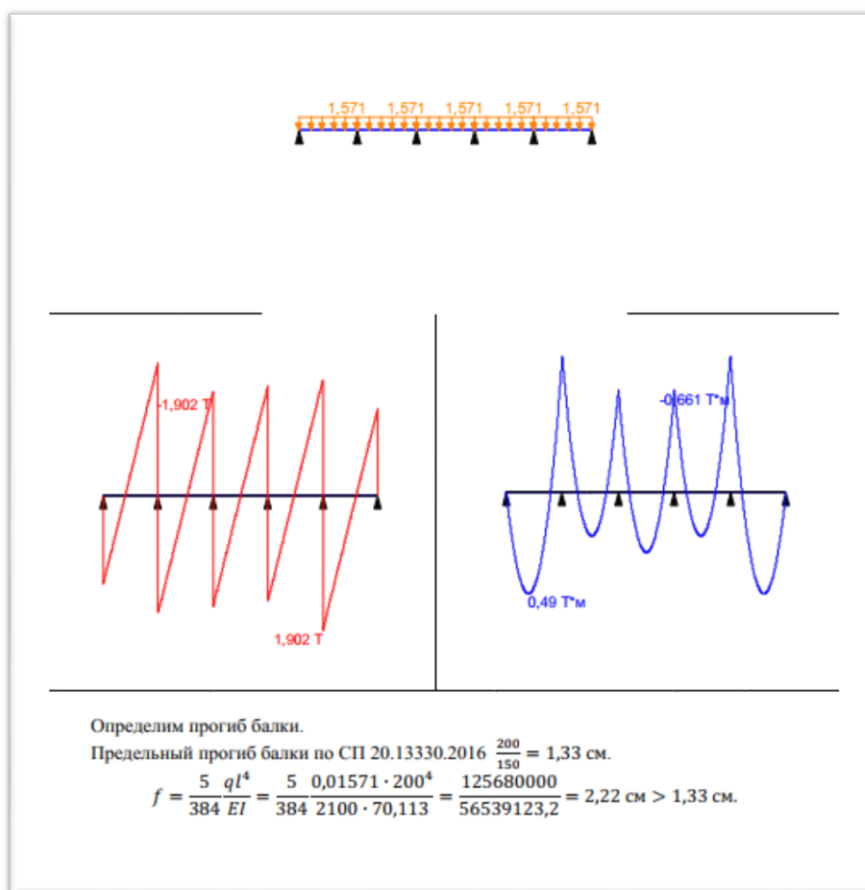


Рисунок 1 - Пример выполненного расчёта несущей конструкции подиума

Все элементы объекта, такие как фундамент, стены, перекрытия, колонны, балки и т.д. исследуются на наличие дефектов: местные разрушения, трещины, нарушения геометрии и т.п.

На третьем этапе выносится вердикт относительно сооружения и нужд заказчика, предлагаются рекомендации по реконструкции, усилению, подбору материалов для заданных работ, устанавливаются эксплуатационные

характеристики, выявляются несоответствия с документацией и реальным состоянием и т.д., что и является итогом всей экспертизы.

Как показала практика, наиболее трудоемким и тяжелым является второй этап. Особую сложность представляет выявление дефектов строительных конструкций, таких как коррозия и трещины, у зданий давнего года постройки с неточным техническим паспортом. Проблема последствий наличия трещин в стенах, если их не выявить, может быть более или менее серьезной в зависимости от серьезности самих трещин. Существует множество причин, по которым может возникнуть трещина в стене. Помимо естественного процесса оседания зданий, трещины могут появиться вследствие землетрясений или оседания грунта под зданием или возле него.

Если трещины на стенах проявляются вместе с пятнами различных цветов, таких как коричневые или желтые пятна, то проблему можно связать с проникновением влаги. (рисунок 2)



Рисунок 2 – Трещина в стене, возникшая из-за проникновения влаги

Тонкие трещины шириной менее одного миллиметра, называемые широко в среде «волосьяными», обычно не вызывают беспокойства. Если такие трещины обнаружены, проблему можно решить, «замазав» и покрасив трещины, так как такая трещина чаще всего находится в штукатурке, а не в самой стене. Если дом имеет штукатурные стены, обычно образуются вертикальные прямые трещины из-за расширения штукатурки, вызванного влажностью, или ее сжатия (при высыхании). Это нормальная ситуация, особенно для новых строений. Вместо того, чтобы сразу вмешиваться, лучше немного подождать, прежде чем заделывать трещины и красить.

Трещина становится по настоящему серьезной, когда ее ширина превышает 5 миллиметров, так как причина может быть более серьезной, чем просто

высохшая штукатурка или процесс оседания здания. Однако, ждать пока трещина «вырастет» до 5 мм, однозначно не стоит, потому следить за динамикой развития трещин обязательно с самого момента её обнаружения.

Стена может быть безвозвратно повреждена, если трещина превышает 15 миллиметров в ширину, так как это может быть признаком сквозного конструктивного повреждения, оседания (резкого погружения здания и его фундамента) или других проблем. Такая крупная трещина может потребовать срочных мер по обеспечению безопасности здания в аварийном режиме. [1]

Выявить трещины можно 2 способами – разрушая слой облицовки и визуально измерять обнаруженную трещину, либо же прибегнуть к неразрушающему контролю.

Неразрушающий контроль – это совокупность мероприятий, позволяющие выявить физико-механические свойства конструкции, идентифицировать вещества, входящие в состав материала, а также идентификация дефектов строительных конструкций, что и интересно нам в данной работе. [2] На практике применяется несколько методов анализа конструкций на дефекты. Первый метод – акустический. Основан он на свойстве звуковой волны менять свои свойства при попадании из одной среды в другую. Акустические приборы неразрушающего контроля посылают ультразвуковой сигнал, который при распространении в материале реагирует на трещины, включения и другие дефекты. Примером такого прибора является ультразвуковой томограф A1040 MIRA (рисунок 3)



Рисунок 3 – Ультразвуковой томограф A1040 MIRA

Однако недостатками ультразвуковой дефектоскопии является её ограниченность применения с крупнозерновыми металлами, деталями малой толщины, материалами, поглощающими звуковую энергию. Применение УЗД невозможно, если поверхность исследования неоднородна и не подготовлена при

помощи специального геля, который препятствует образованию воздушной прослойки между рабочей поверхностью и поверхностью прибора.

Второй метод – радиография. Метод радиографии используется в неразрушающем контроле конструкций для обнаружения дефектов и неоднородностей в материалах с использованием рентгеновского излучения. Принцип работы метода заключается в прохождении рентгеновских лучей через объект и записи изображения на специальной пленке или цифровом детекторе. (рисунок 4)

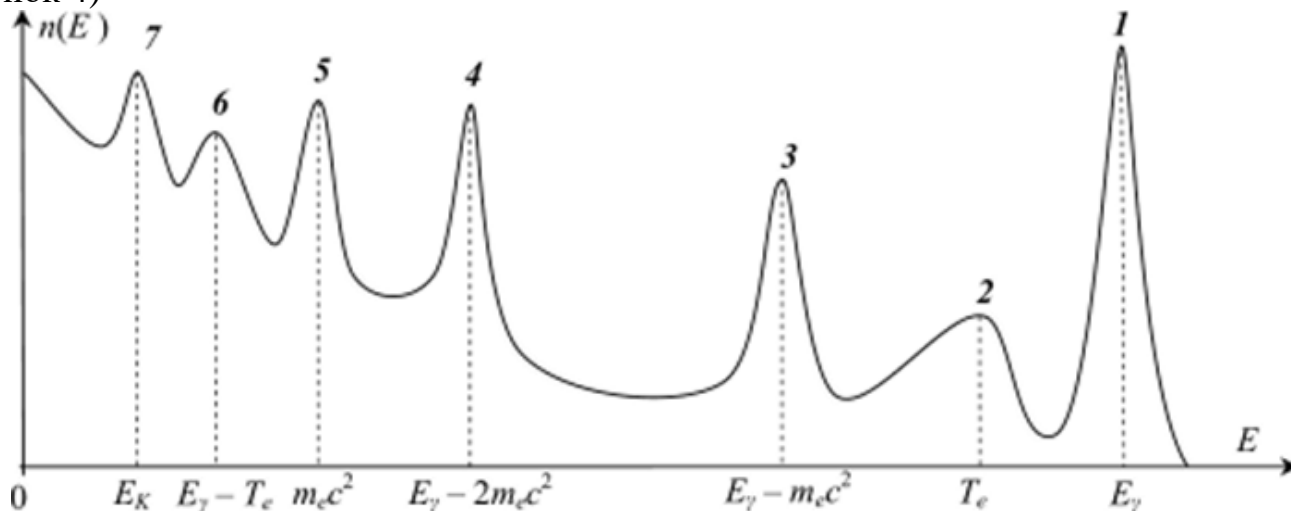


Рисунок 4- Аппаратурный спектр гамма-излучения, 1 – пик полного поглощения; 2 – край комптоновского распределения; 3 – пик одиночного вылета; 4 – пик двойного вылета; 5 – аннигиляционный пик; 6 – пик обратного рассеивания; 7 – пик характеристического излучения защиты

В процессе радиографического контроля объекта излучение проходит через него и взаимодействует с внутренними структурами и дефектами материала. Рентгеновские лучи, прошедшие через объект, создают теневое изображение, которое позволяет определить наличие дефектов, таких как трещины, пустоты, включения, коррозия и другие неоднородности.

Основные преимущества метода радиографии включают:

- 1) Высокую чувствительность к дефектам - даже небольшие трещины и включения могут быть обнаружены.
- 2) Возможность исследования внутренних структур - метод позволяет проникнуть сквозь поверхностные слои материала и исследовать внутренние дефекты и структуры.
- 3) Высокая проникающая способность

Примером такого прибора является переносной рентгеновский аппарат ПИОН-2М (рисунок 5)



Рисунок 5 – Аппарат ПИОН-2М

Но использование рентгеновского аппарата ограничено его принципом работы, так как излучение в нём создаёт генератор. Нередки случаи, когда работы приходится сворачивать из-за поломок или неисправности оборудования.

Более действенным и неприхотливым способом радиографической экспертизы будет применение гамма-лучей. Данный способ основан на свойстве гамма лучей терять часть энергии, проходя через различные материалы. Однако при высоких энергиях процесс прохождения гамма-излучения через вещество значительно усложняется. Вторичные электроны и позитроны обладают большой энергией и поэтому могут, в свою очередь, создавать гамма-излучение. Таким образом в веществе возникает ряд чередующихся поколений вторичного гамма-излучения, электронов и позитронов, то есть происходит развитие каскадного ливня. Однако затем процессы поглощения начинают преобладать над процессами размножения частиц и ливень затухает. Способность гамма-излучения развивать ливни зависит от соотношения между его энергией и так называемой критической энергией, после которой ливень в данном веществе практически теряет способность развиваться. Дабы не допустить развитие вторичных гамма-волн, в конструкции предусмотрен специальный фильтр, представляющий из себя свинцовую пластину, толщиной 0.5 мм. Этого будет достаточно для, того, чтобы стабилизировать гамма-излучение, а также не дать пройти альфа- и бета-частицам. В итоге мы получаем пучок гамма-квантов, проходящих сквозь материал и попадающий на сцинтилляционный спектрометр. спектрометр будет регистрировать гамма-кванты, прошедшие сквозь конструкцию и по значению количества квантов, полностью потерявших свою энергию при прохождении (по пику полного поглощения) [3] Чем больше значения таких квантов, тем более однородна область прохождения. Если значение будет меньше, то мы можем говорить о наличии пустот внутри материала.

В качестве излучателя используется изотоп кобальт-60, покрытый вокруг слоем свинца, равный 18 сантиметров, и отверстием со свинцовой пластиной, толщиной 1,8 сантиметра. Радиационный фон, создаваемый излучателем, составляет 2 мкЗр/ч. Схема установки показана на рисунке 6.



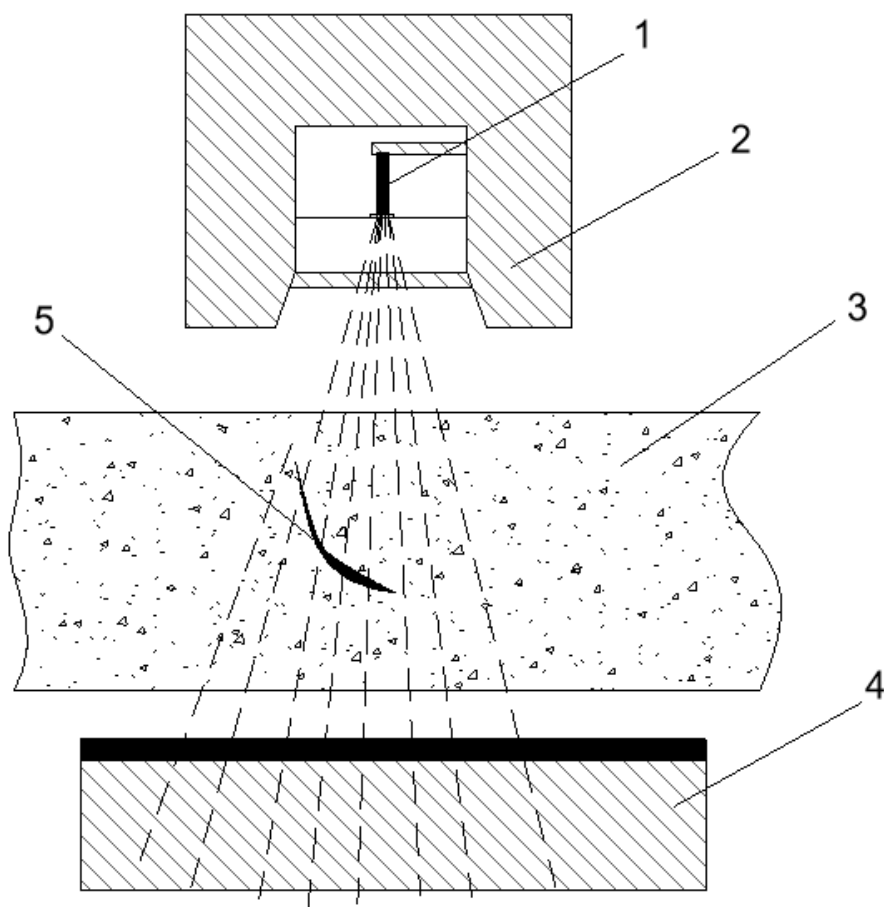


Рисунок 6 – Схема радиографической установки на основе гамма-излучения; 1 – излучатель; 2 – свинцовый футляр с пластиной; 3 – исследуемый материал; 4 – сцинтилляционный гамма-спектрометр; 5 – дефект в материале

Полученные данные с сцинтиллятора собираются в общую картину, по которой уже можно производить анализ на наличие дефектов, с помощью которого можно будет определить местонахождение и характер дефекта. Если испытания проходят в сырых, влажных условиях, вместо сцинтиллятора можно использовать регистрирующую плёнку.

Благодаря данному способу можно исследовать на наличие дефектов строительные конструкции толщиной несколько десятков метров, регулируя при этом энергию гамма-излучения, для получения более высокой точности. Станет возможным определять мельчайшие нарушения в структуре, такие как геометрические неровности, трещины до 0.2 мм диаметром, а способность прохождения гамма-излучения позволит исследовать стены и перекрытия, не снимая облицовки с них, сварные швы, металлические конструкции, арматуру внутри бетона.

### Список литературы:

1. Р.Г. Касимов. Дефекты и повреждения строительных конструкций, методы и приборы для их количественной и качественной оценки. [http://elib.osu.ru/bitstream/123456789/13160/1/32839\\_20170112.pdf](http://elib.osu.ru/bitstream/123456789/13160/1/32839_20170112.pdf)
2. Виды и принципы неразрушающего контроля. <https://litas.ru/blog/stati/nerazrushayushchiy-kontrol-sposoby-i-pribory/>
3. Аппаратурная линия сцинтилляционного спектрометра. <https://studfile.net/preview/8863062/page:4/>
4. Минаев Ю.Л., Супильников А.А, Зарубина Е.Г., Истратов П.А. Влияние малых доз гамма-излучения на организм человека. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-malyh-doz-gamma-izlucheniya-na-organizm-cheloveka>
5. Прецизионное измерение однородности материалов с помощью пропускания гамма-лучей. <https://pubs.aip.org/aip/rsi/article-abstract/25/1/21/439122/Precision-Measurement-of-Uniformity-of-Materials?redirectedFrom=fulltext> -

**Сяо Вэньсюй, Салил Мурад Яхья Мохаммед, Шатохин Дмитрий Александрович, Ломов Максим Игоревич, Шарипов Ленар Рашидович, Рамазанов Рустам Габтилфаритович, Чжан Сюань, Шеремет Алена Анатольевна, Ходыкин Евгений Иванович**

### **НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗВУКОЗАЩИТЫ**

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Научный руководитель: д.т.н., проф. Лесовик В.С.*

**Аннотация:** Жизнь в современных городах характеризуется воздействием на человека большого количества шумовых воздействий: автомобили, индустриальные объекты, местные шумы в селитебных зонах. Актуальность борьбы с окружающим шумом как серьезной опасностью для здоровья в XXI веке подтверждается врачами, кроме того качество жизни становятся все более важным.

**Ключевые слова:** Звукозащита, строительные конструкции, материал.

Звук - это волновая форма энергии, которая проходит сквозь твердые тела, жидкости и газы [1]. Чем больше частицы вибрируют в среде, тем больше энергии проходит через нее. С физической точки зрения, распространение звука заключается в передаче звуковой энергии на частицы среды (например, атмосферы), а от них - на следующие частицы и т.д. [2]. Образующееся в результате этого процесса давление звука создает в человеческом слуховом аппарате различные звуковые ощущения. Соответственно, звуковое давление характеризуется изменением уровня атмосферного давления за конкретный промежуток времени. В качестве минимального порога слышимости установлено давление 20 мкПа [3].

Другое важное понятие в акустике - звуковая энергия  $E$ , вычисляющаяся произведением звуковой мощности на время действия [4]. Интенсивность звука  $I$  рассчитывается также через звуковую мощность, которая делится на площадь своего действия [5]. Следует отметить, что на человека действует интенсивность звука в диапазоне около 15 порядков [6]. Соответственно, характеристика уровня звукового давления вычисляется в единице измерения «децибел» в следующем логарифмическом виде (1):

$$10 \lg \frac{I_1}{I_0} \quad (1)$$

где  $I_1$  – интенсивность исследуемого звука.

При увеличении уровня звука (громкости) на каждые 10 дБ, звук будет восприниматься как более громкий в 2 раза [7]. Громкость звука определяется амплитудой колебания звуковой волны [8-9].

Волны частотного диапазона 20-20 000 Гц способны оказывать действие на слуховой аппарат человека и вызывать у него ощущение звука. Однако согласно [10-11], человек может слышать звуки даже частотой ниже 20 Гц, но, для этого требуется громкость 110-130 дБ и выше (для сравнения, звук частотой 3000 Гц различим уже с громкости чуть выше 0 дБ) (рисунок 1). Уровни звукового давления для различных процессов приведены на рисунке 2. Звук частотой ниже 20 Гц называется инфразвуком, а выше 20 кГц – ультразвуком (рисунок 3) [12]. Наиболее чувствительно ухо к сравнительно узкому диапазону среднечастотных звуков от  $2000 \pm 1000$  Гц; частота 200 кГц является наиболее распространенной для эхолотов; частоты около 2 МГц и выше характерны для радиоволн [13].

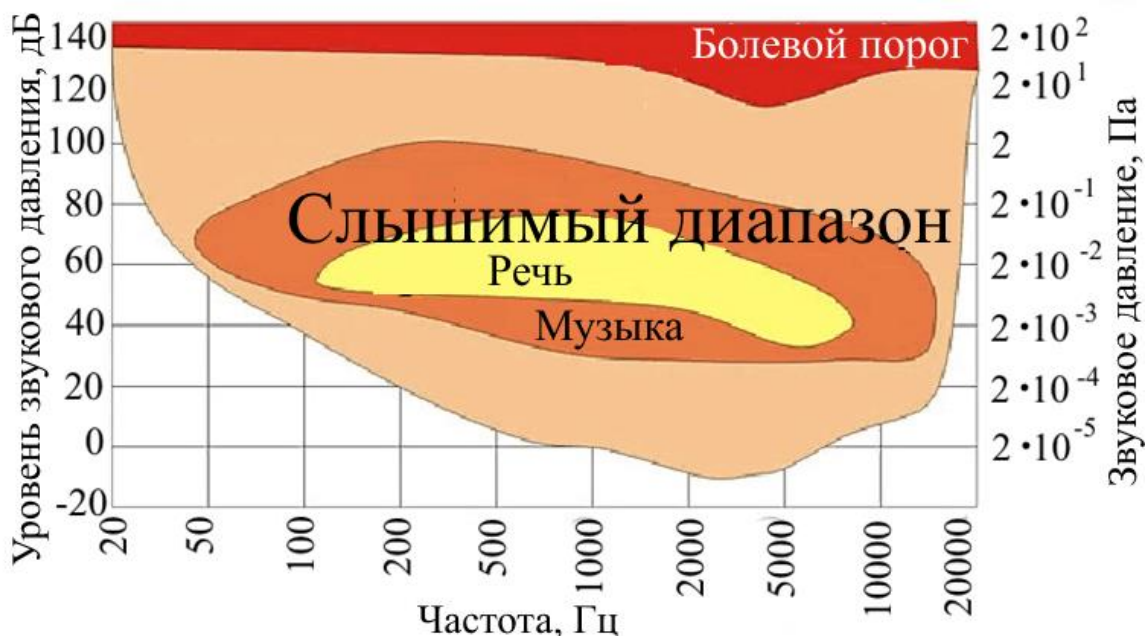


Рисунок 1 – Звуковые пороги для различных частот



Рисунок 2 – Уровни звукового давления при различных процессах

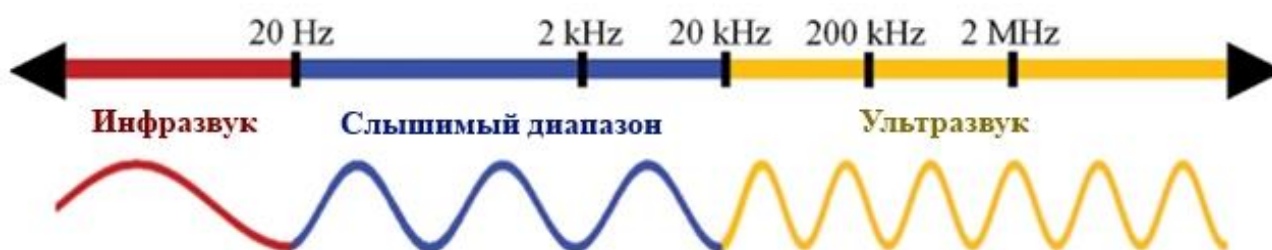


Рисунок 3 – Виды звука в зависимости от частоты

### Список литературы:

1. Peceno, B. Substitution of Coarse Aggregates with Mollusk-Shell Waste in Acoustic-Absorbing Concrete / B. Peceno, C. Arenas, B. Alonso-Farinas, C. Leiva // *Journal of Materials in Civil Engineering*. – 2019. - № 31(6): 04019077.
2. Glé, P. Acoustical properties of materials made of vegetable particles with several scales of porosity / P. Glé, E. Gourdon, L. Arnaud // *Appl. Acoust.* - 2011. doi:10.1016/j.apacoust.2010.11.003.
3. Park, S.B. Studies on the sound absorption characteristics of porous concrete based on the content of recycled aggregate and target void ratio / S.B. Park, D.S. Seo, J. Lee // *Cem. Concr. Res.* - 2005. doi:10.1016/j.cemconres.2004.12.009.
4. Tiwari, V. Acoustic properties of cenosphere reinforced cement and asphalt concrete / V. Tiwari, A. Shukla, A. Bose // *Applied Acoustics*. – 2004. - № 65. Pp. 263–275.
5. Kim, H.K. Workability, and mechanical, acoustic and thermal properties of lightweight aggregate concrete with a high volume of entrained air / H.K. Kim, J.H. Jeon, H.K. Lee // *Construction and Building Materials*. – 2012. - № 29. – Pp. 193–200.
6. Борьба с шумом на производстве. Справочник / Е.Я. Юдин, Л.А. Борисов, И.В. Горенштейн, и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 400 с.
7. Zhang, Z. Mechanical, thermal insulation, thermal resistance and acoustic absorption properties of geopolymers foam concrete (GFC) / Z. Zhang, J.L. Provis, A. Reid, H. Wang // *Cement and Concrete Composites*. – 2015. - № 62. – Pp. 97-105.
8. Attenborough, K. Acoustical impedance models for outdoor ground surfaces // *Journal of Sound and Vibration*. – 1985. - № 99(4). – Pp. 521–544.
9. Аистов, В.А. Комплексный подход к защите территорий и жилой застройки от шума транспортных потоков различного вида / В.А. Аистов, Ю.С.

Бойко, П.И. Поспелов, А.Е. Шашурин, И.Л. Шубин, Б.А. Щит // Бюллетень строительной техники. – 2015. - № 6. - С. 20-22.

10. Keränen, J. The sound insulation of façades at frequencies 5–5000 Hz / J. Keränen, J. Hakala, V. Hongisto // Building and Environment. – 2019. - № 156. – Pp. 12–20.

11. Møller, H. Hearing at low and infrasonic frequencies / H. Møller, C.S. Pedersen // Noise Health. – 2004. - № 6(23). – Pp. 37–57.

12. Laukaitis, A. Acoustical properties of aerated autoclaved concrete / A. Laukaitis, B. Fiks // Applied Acoustics. - 2006. - № 67. – Pp. 284–296.

13. Yang, M. Sound Absorption Structures: From Porous Media to Acoustic Metamaterials / M. Yang, P. Sheng // Annu. Rev. Mater. Res. 2017. doi:10.1146/annurev-matsci-070616-124032.

### Золотарева Светлана Васильевна НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ДОРОЖНОЙ СЕТИ

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*  
*Научные руководители: д.т.н., доц. Ключев С.В., д.т.н., доц. Федюк Р.С.*

**Аннотация:** Длина российских автодорог общего пользования составляет 1452,2 тыс. км, включающих 57,3 тыс. км автомобильных дорог федерального значения, 515,8 тыс. км – регионального значения, 884,5 тыс. км – местного значения. При этом, уровень их обустройства (как в связи с большой площадью страны, так и по ряду других причин) отстает от многих развитых государств, в частности, 8,1% региональных дорог и 43,6% местных дорог не имеют твёрдого покрытия.

**Ключевые слова:** Автодорога, строительные конструкции, материал.

Россия является крупнейшей страной в мире, но по протяженности автомобильных дорог она занимает только пятое место (рисунок 1) [-12]. Япония, которая имеет площадь в 46 раз меньше, обладает примерно такой же протяженностью автодорог [3].

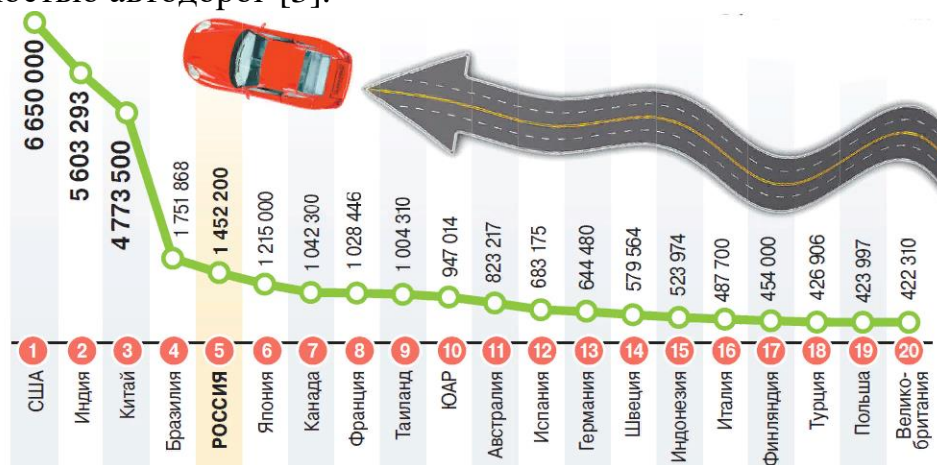


Рисунок 1 - Рейтинг стран по длине автодорог (в км)

Более того, анализируя основные показатели уровня развития территориальной дорожной сети, приходим к выводу, что наша страна требует ее масштабного переоснащения [4-6]. Помимо необходимости масштабного расширения дорожной сети, отечественным дорогам присущи многие типичные разрушения покрытий [7-11] (рисунок 2).

### Типичные разрушения дорожных покрытий



Причинами разрушения дорожного покрытия являются природно-климатические факторы совместно с транспортными нагрузками

**Температурные трещины** образуются из за недостаточной пластичности асфальтобетонов при пониженных температурах.  
**Силовые и усталостные трещины** возникают за счет старения битума и накоплением остаточных деформаций в асфальтобетоне. Возникают после определенного времени эксплуатации дорожного покрытия.

### Трещины на покрытии



### Колейность

Плавное искажение поперечного профиля покрытия на полосах наката. Наблюдается на всех типах покрытия



### Сдвиги

Смещения покрытия по основанию, сопровождающиеся часто наплывом слоя по слою. Наблюдаются на покрытиях, содержащих органическое вяжущее, на крутых спусках, в местах остановок и торможения автомобилей



### Выкрашивание, шелушение

Поверхностное и послойное разрушение покрытия и отслаивание вяжущего от минерального материала. Наблюдается на покрытиях, содержащих вяжущее материалы.



### Выбоины

Местные разрушения покрытия, имеющие вид углубления с резко очерченными краями. Наблюдаются на всех видах покрытий.



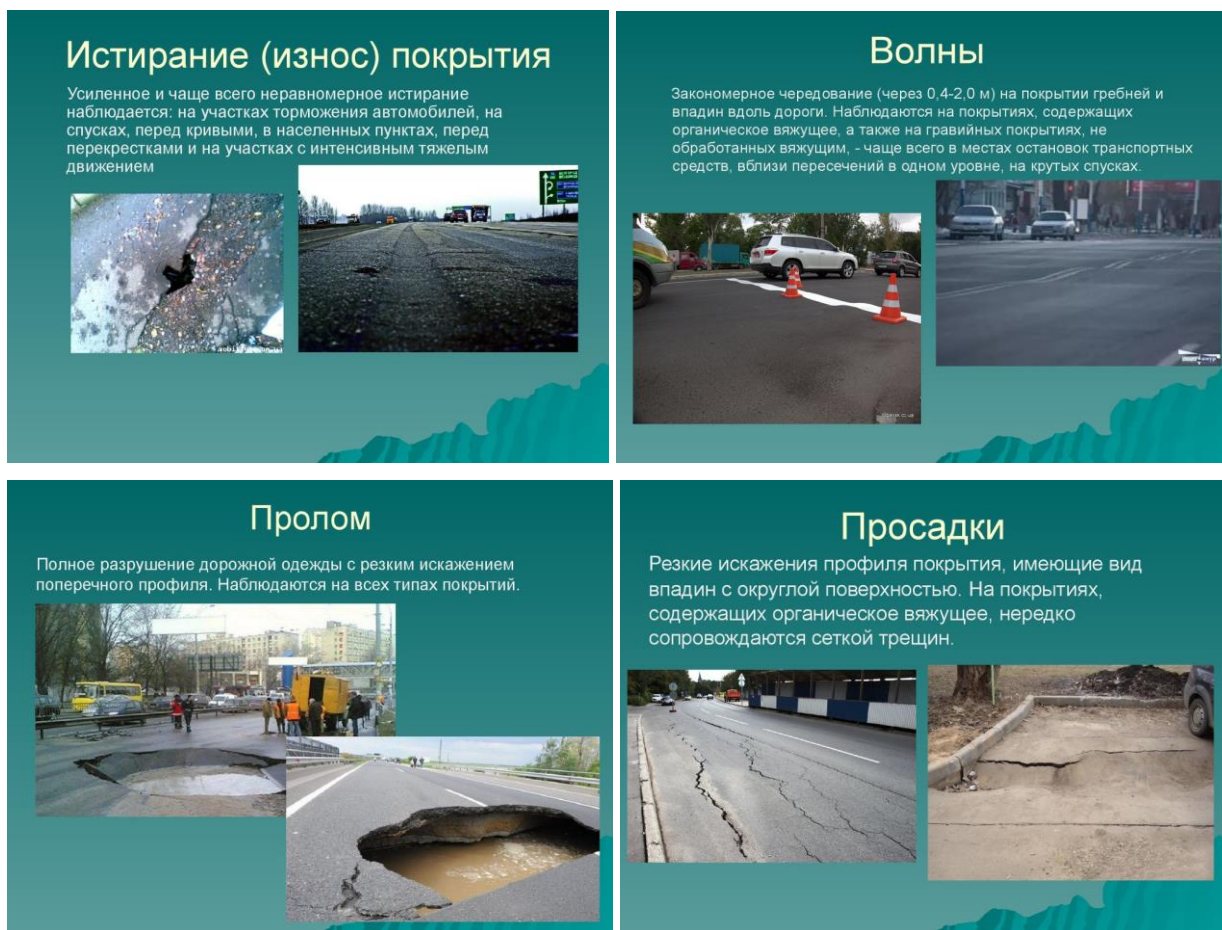


Рисунок 2. Типичные повреждения автомобильных дорог

### Список литературы:

1. Сайт Росавтодора [Электронный ресурс]. Адрес доступа: <https://map.rosavtodor.gov.ru/> (дата обращения 28.06.2023).
2. Лисейцев, Ю.Л. Модифицированные фибробетоны для дорожных и аэродромных покрытий. Автореф. дисс. к.т.н...2.1.5. - Улан-Удэ, 2023. - 22 с.
3. Black, J.A. Governance and the provision of roads and mobility in five Japanese 'societies' / J.A. Black, H. Nakanishi, Y.H. Kobayashi // Case Studies on Transport Policy. - 2023. - Vol. 12. - 101000.
4. Решетова, Е.М. Главные условия развития дорожной сети России / Е.М. Решетова // Экономика строительства. - 2013. - № 4 (22). - С. 12-23.
5. Костылев, В.А. Методы оценки технико-эксплуатационного состояния существующей дорожной сети России / В.А. Костылев // Научные труды SWorld. - 2015. - Т. 1. № 2 (39). - С. 20-24.
6. Епифанов, Ю.А. О некоторых результатах исследования влияния дорожной сети на решение проблемы обеспечения безопасности на дорогах России / Ю.А. Епифанов // Вестник университета. - 2012. - № 4. - С. 24-29.
7. Степаненко, А.А. Деформации и разрушения покрытий нежестких дорожных одежд автомобильных дорог / А.А. Степаненко // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса: Межвузовский сборник научных статей (с международным участием). - Самара, 2019. - С. 208-212.
8. Сайдаминов, И.А. Факторы, влияющие на процессы разрушения

дорожных покрытий нежесткого типа в условиях высокогорья / И.А. Сайдаминов, А.Т. Бердиев, Р.Э. Зиёев, Б.А. Бердиев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. - 2019. - № 1 (45). - С. 204-207.

9. Жалко, М.Е. Неудовлетворительное состояние водоотвода, как причина разрушения дорожного покрытия / М.Е. Жадко // Стратегия устойчивого развития регионов России. - 2013. - № 15. - С. 153-157.

10. Иванова, Л.А. Композиционные составы для локализации очагов разрушения дорожного покрытия / Л.А. Иванова, В.А. Шевченко, В.П. Киселев. - Красноярск, 2012. - 356 с.

11. Красиков, О.А. Весенние деформации и разрушения дорожных покрытий / О.А. Красиков // Автомобильные дороги. - 2022. - № 6 (1087). - С. 82-85.



**«ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО НА  
ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ»**

VIII Всероссийская научно-практическая конференция

(Владивосток, 7-12 августа 2023 года)

Материалы конференции

Владивосток  
2023