

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»**

IX Всероссийская научно-практическая конференция

(Владивосток, 21-27 января 2024 года)

*Материалы конференции*



**ДАЛЬНИИС**

Владивосток  
2024

**УДК 378.14**

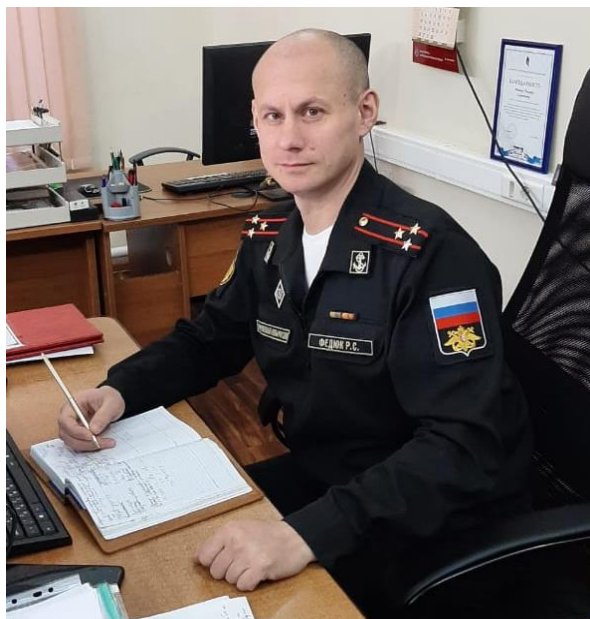
Инженерное дело на Дальнем Востоке России: Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции. Владивосток: ВУЦ ДВФУ. 2024. - 539 с.

В издании представлены материалы докладов участников IX Всероссийской научно-практической конференции «Инженерное дело на Дальнем Востоке России», состоявшейся во Владивостоке 21 - 27 января 2024 года.

ISBN 978-5-90363-186-5

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

© ДВФУ, 2024



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

21 - 27 января 2024 года Военный учебный центр и Политехнический институт Дальневосточного федерального университета провели IX Всероссийскую научно-практическую конференцию: «Инженерное дело на Дальнем Востоке России».

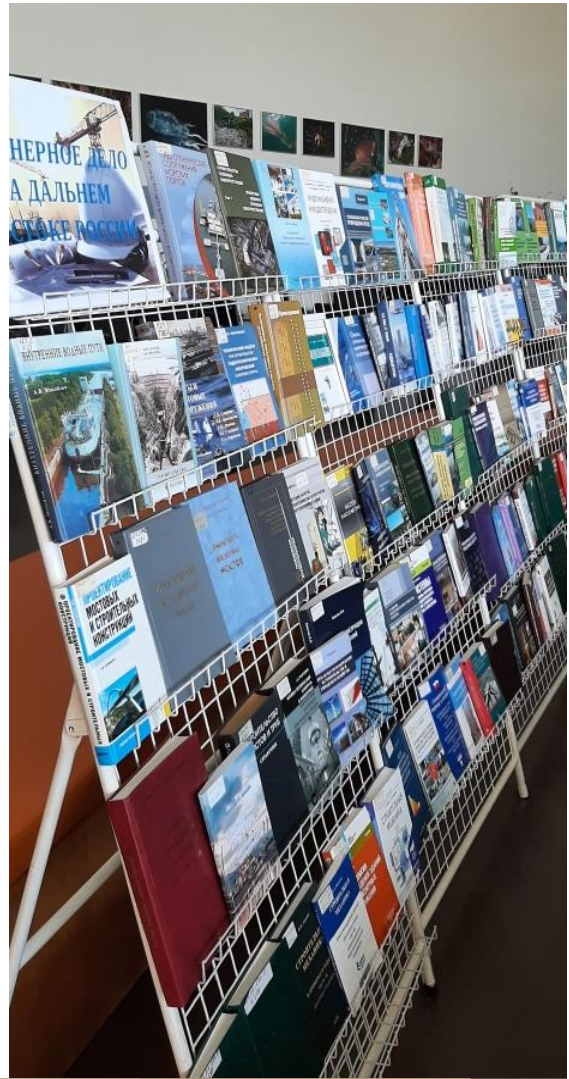
В конференции приняли участие ученые из МГСУ (г. Москва), ВСГУТУ (г. Улан-Удэ), ДВФУ (г. Владивосток), ДальНИИС (г. Владивосток) и четырех десятков других научных и учебных заведений со всей России, а также СНГ.

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.

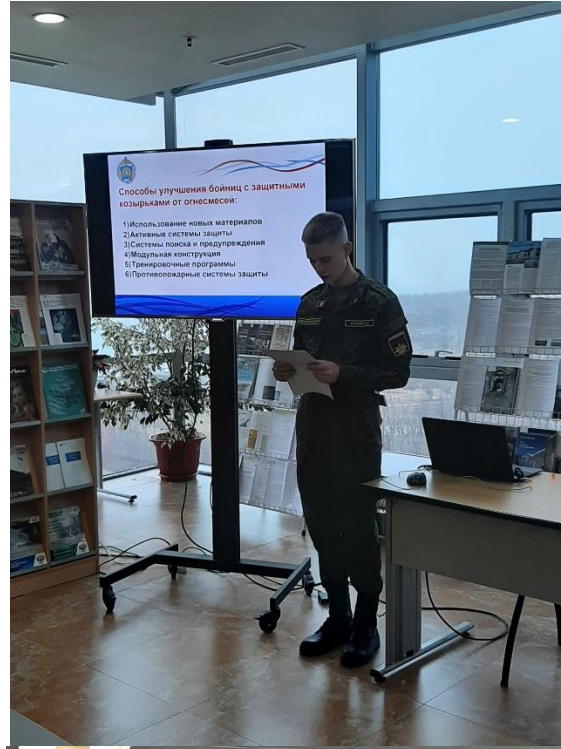
***С уважением,  
профессор военного учебного центра при ДВФУ  
доктор технических наук  
член-корреспондент Российской инженерной академии  
советник РААСН  
полковник Федюк Роман Сергеевич***

## 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>
Минаев Александр Николаевич, д.т.н., проф., профессор ДВФУ	+7(914) 726-60-58 <a href="mailto:minaev.an@dvfu.ru">minaev.an@dvfu.ru</a>
Юдаков Александр Алексеевич, д.т.н., проф., заведующий инженерно-технологическим центром Института химии Дальневосточного отделения Российской академии наук	+7(914) 703-66-09 <a href="mailto:etcih@mail.ru">etcih@mail.ru</a>
Ткач Евгения Владимировна, д.т.н., проф., профессор кафедры строительного материаловедения МГСУ	+7(495) 781-80-07 <a href="mailto:ev_tkach@mail.ru">ev_tkach@mail.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 автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук	+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>
Ибрагимов Дамир Ирекович, к.т.н., доц., доцент ВУЦ при ДВФУ	+7(950) 293-45-61 <a href="mailto:ibragimov.da@dvfu.ru">ibragimov.da@dvfu.ru</a>







## Оглавление

<b>Секция № 1. Строительные конструкции, здания и сооружения</b> .....	17
<b>Руководитель секции: Федюк Роман Сергеевич, д.т.н., доц., профессор Военного учебного центра при ДВФУ</b> .....	17
Аюбов Н.А. <sup>1</sup> , Гатиев М.Ш. <sup>1</sup> , Ключев С.В. <sup>2</sup> , Федюк Р.С. <sup>3</sup> ДЕФОРМИРОВАНИЕ ТОНКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ .....	17
Гатиев М.Ш. <sup>1</sup> , Аюбов Н.А. <sup>1</sup> , Ключев С.В. <sup>2</sup> , Федюк Р.С. <sup>3</sup> ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ ТЕОРИЙ ПОЛЗУЧЕСТИ .....	22
Королев Александр Сергеевич УПРУГИЕ СВОЙСТВА БЕТОНА ПРИ СЖАТИИ И РАСТЯЖЕНИИ: УЧЕТ ИХ РАЗНОРОДНОСТИ И ПРИРОСТА В ПРОЕКТИРОВАНИИ АРМИРОВАННЫХ ПРОЛЕТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	26
Кудрявцев Сергей Анатольевич, Вальцева Татьяна Юрьевна, Петерс Анастасия Александровна, Чуб Полина Сергеевна, Шестаков Илья Викторович ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСНОВАНИЯ НА ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В ЮЖНЫХ РАЙОНАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА .....	33
Люй Сяокай ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕЙСМОСТОЙКИХ ЗДАНИЙ РОССИИ И КИТАЯ .....	47
Попова Марина Владиславовна, Тужилова Мария Валерьевна АВАРИЙНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЯ ШКОЛЫ.....	55
Садыков Ренат Ахатович, Сабитов Линар Салихзанович, Мухаметзянова Аида Камилевна УСТАНОВИВШИЙСЯ НЕЛИНЕЙНЫЙ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС В МНОГОСЛОЙНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.....	65
Скирдин Д.С. CLT-ПАНЕЛИ .....	82
Тюрин Евгений Анатольевич ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА .....	84
Токарчук Владислав Валентинович ПРИНЦИП УПРАВЛЕНИЯ УСИЛИЯМИ В НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ СООРУЖЕНИЙ.....	93
<b>Секция № 2. Основания и фундаменты, подземные сооружения</b> .....	97



<b>Руководитель секции: Цимбельман Никита Яковлевич, к.т.н., доц., директор департамента геоинформационных технологий Политехнического института (школы) ДВФУ .....</b>	<b>97</b>
Арбузова Надежда Сергеевна О МОДЕЛИРОВАНИИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОПОРЫ ОСВЕЩЕНИЯ С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХЛОРИДСОДЕРЖАЩЕЙ СРЕДЫ И СЛУЧАЙНЫХ СВОЙСТВ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ .....	97
Выходцев Иван Алексеевич <sup>1</sup> , Дёмкин Андрей Михайлович <sup>2</sup> РАЗМЕЩЕНИЕ ОБЪЕКТОВ В ПОДЗЕМНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ .....	101
Выходцев Иван Алексеевич <sup>1</sup> , Демкин Андрей Михайлович <sup>2</sup> , Мочалов Александр Викторович <sup>3</sup> , Козлов Павел Геннадьевич <sup>1</sup> ВОЗДЕЙСТВИЕ СЕЙСМОВЗРЫВНЫХ ВОЛН НА ОСНОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ .....	105
Гультияев Роман Сергеевич <sup>1</sup> , Марков Виталий Иванович <sup>1</sup> , Краев Андрей Николаевич <sup>2</sup> ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ ПРИ ОБЪЕМНЫХ И СДВИГОВЫХ ДЕФОРМАЦИЯХ ГРУНТА.....	110
Мухаметзянов Ильгизар Фархатович, Баранов Андрей Сергеевич ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР РЕЖИМНЫХ ФАКТОРОВ .....	114
Панарин Игорь Иванович СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ТОРКРЕТИРОВАНИЯ: ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ.....	123
Сидорова Анастасия Сергеевна ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ОСНОВАНИЯ И РЕМОНТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТА.....	132
Токарева Лия Андреевна <sup>1</sup> , Сабитов Линар Салихзанович <sup>1,2</sup> , Абдуллазянов Эдвард Юнусович <sup>1</sup> , Айзатуллин Марат Мансурович <sup>1</sup> , Зарипов Марсель Мансурович <sup>1</sup> МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И МОНТАЖА ФУНДАМЕНТОВ ПОД ОПОРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....	140
<b>Секция № 3. Турбины, теплоснабжение и вентиляция .....</b>	<b>144</b>
<b>Руководитель секции: Фершалов Юрий Яковлевич, доктор технических наук, доцент. Кафедра Судовой энергетики и автоматики. Политехнического института (Школы) ДВФУ .....</b>	<b>144</b>

Баранов Андрей Сергеевич ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСЕВЫХ ПАРЦИАЛЬНЫХ МИКРОТУРБИН.....	144
Довгий Владимир Святославович, Ильинский Юрий Юрьевич, Фиголь Максим Евгеньевич КОЭФФИЦИЕНТ СКОРОСТИ СОПЛОВЫХ АППАРАТОВ ОСЕВЫХ ГАЗОВЫХ МИКРОТУРБИН .....	146
Кондрашов Антон Андреевич ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОВЫХ ОСЕВЫХ ПАРЦИАЛЬНЫХ МИКРОТУРБИН ТЕОРЕТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ.....	152
Слесаренко Вячеслав Владимирович <sup>1</sup> , Кисель Алексей Альфредович <sup>2</sup> ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ .....	155
Струлев Максим Анатольевич, Ильинский Юрий Юрьевич, Баранов Андрей Сергеевич КОЭФФИЦИЕНТ СКОРОСТИ РАБОЧИХ КОЛЕС .....	163
Фиголь Максим Евгеньевич ПРАВОМОЧНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КПД ОСЕВЫХ ПАРЦИАЛЬНЫХ МИКРОТУРБИН.....	170
<b>Секция № 4. Водоснабжение и водоотведение .....</b>	<b>174</b>
<b>Руководитель секции: Федюк Роман Сергеевич, д.т.н., доц., профессор Военного учебного центра при ДВФУ .....</b>	<b>174</b>
Котовская Елена Евгеньевна, Высоцкий Артем Андреевич АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ НА ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	174
Сарган Дмитрий Леонидович, Дудурич Богдан Богданович, Иванов Александр Николаевич ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ЛИСТОВ С АНКЕРНЫМИ РЕБРАМИ ПРИ РЕМОНТЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЕМКОВЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННОГО, ОБЩЕСТВЕННОГО И ЖИЛОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	183
<b>Секция № 5. Строительные материалы и изделия .....</b>	<b>191</b>
<b>Руководитель секции: Вавренюк Светлана Викторовна, д.т.н., член-корреспондент РААСН, заместитель директора по научной работе ДальНИИС .....</b>	<b>191</b>
Вавренюк Светлана Викторовна <sup>1</sup> , Федюк Роман Сергеевич <sup>1,2</sup> , Салил Мурад Яхья Мохаммед <sup>3</sup> , Шарипов Ленар Рашидович <sup>3</sup> ФАСАДНЫЕ ОТДЕЛОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ С ПОЗИЦИИ ИХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ.....	191

Вавренюк Светлана Викторовна <sup>1</sup> , Федюк Роман Сергеевич <sup>1,2</sup> , Рамазанов Рустам Габтилфаритович <sup>3</sup> , Чжан Сюань <sup>3</sup> СОВРЕМЕННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ФАСАДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	196
Золотарева Светлана Васильевна <sup>1</sup> , Аюбов Нарман Аюбович <sup>2</sup> ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ НА ТЕХНОГЕННОМ СЫРЬЕ ДОРОЖНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	200
Карамов Андрей Аркадьевич ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЛЛАСТОНИТА КАК ПЕРСПЕКТИВНОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ .....	204
Лисейцев Юрий Леонидович ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИБРОБЕТОНОВ .....	208
Мишнёв Максим Владимирович, Королев Александр Сергеевич, Задорин Александр Александрович СТРУКТУРНАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА С ПАМЯТЬЮ НА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ.....	211
Потапенко Ярослав Вадимович <sup>1</sup> , Рахимова Галия Мухамедиевна <sup>2</sup> , Столбоушкин Андрей Юрьевич <sup>3</sup> , Вышарь Ольга Викторовна <sup>2</sup> , Никифорова Валентина Геннадьевна <sup>1</sup> , Рахимов Мурат Аманжолович <sup>2</sup> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛ ТЭС В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ.....	217
Румянцева В.Е. <sup>1,2</sup> , Коновалова В.С. <sup>1</sup> , Промзелева Е.С. <sup>1</sup> КОМБИНИРОВАННАЯ ДОБАВКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ К БИОКОРРОЗИИ.....	225
Святко Иван Андреевич ХАРАКТЕРИСТИКА ОТСЕВОВ ДРОБЛЕНИЯ ПЕСЧАНИКОВ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА КАК СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА .....	227
Сучкова Екатерина Андреевна, Мурсалимова Диана Рамилевна ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНОГО СВЯЗУЮЩЕГО НА СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ.....	232
Сяо Вэньсюй ВЛИЯНИЕ СОСТАВА НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО .....	235
Федюк Роман Сергеевич <sup>1,2</sup> , Юдаков Александр Алексеевич <sup>2</sup> ХИМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ФИБРОАРМИРОВАННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	240
Шаронова О.М. <sup>1</sup> , Добросмыслов С.С. <sup>2</sup> , Аншиц А.Г. <sup>1</sup> СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФРАКЦИЙ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ ЛЕТУЧИХ ЗОЛ РАЗНОЙ ДИСПЕРСНОСТИ И СОСТАВА.....	244

<b>Секция № 6. Организация ремонтных работ в строительстве.....</b>	<b>250</b>
<b>Руководитель секции: Макарова Наталья Валентиновна, к.т.н., доц., Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук.....</b>	<b>250</b>
Малазония Георгий Шалвович РЕМОНТ ТРЕЩИН НА ПОКРЫТИИ ОБЪЕКТА КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОДНОЙ ТОНКОДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЫ «ВЗВЕСЬ-ВЯЖУЩЕЕ» .....	250
Малазония Георгий Шалвович ВОЗМОЖНОСТИ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ ВЛАЖНЫХ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С ДИСПЕРСНЫМ БИТУМОМ .....	256
<b>Секция № 7. Технология и организация строительства .....</b>	<b>266</b>
<b>Руководитель секции: Козлов Павел Геннадьевич, преподаватель Военного учебного центра при ДВФУ .....</b>	<b>266</b>
Галаганова Виктория Валерьевна ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ БРЯНСКОГО РЕГИОНА .....	266
Жиляев Андрей Александрович ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЗЕЛЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В РОССИИ .....	274
Обайди Адхам Абдулсаттар Хамид ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТА КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА	278
Сират Джавед МОДЕЛИ И ТИПЫ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР В СТРОИТЕЛЬНОЙ КОМПАНИИ, ИХ ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ...	283
Сулейманов Карим Абдуллаевич, Рябчевский Игорь Сергеевич, Богачева Марина Александровна АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКРОПОРИСТОСТИ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ .....	290
Ткач Е. В., Бурьянов А.Ф., Филимонова Ю. С. РЕСТАВРАЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО .....	294
Федюк Роман Сергеевич <sup>1</sup> , Павликов Сергей Николаевич <sup>2</sup> ТЕХНОЛОГИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОТ ИДЕИ ДО РЕЗУЛЬТАТА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....	299
Федюк Роман Сергеевич <sup>1</sup> , Павликов Сергей Николаевич <sup>2</sup> ПОИСКОВАЯ СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ .....	305

<b>Секция № 8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей</b> .....	312
<b>Руководитель секции: Козлов Павел Геннадьевич, преподаватель Военного учебного центра при ДВФУ</b> .....	312
Ахмаджанов Мирали Зафар углы <sup>1</sup> , Овчинников Игорь Георгиевич <sup>2</sup> ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ МОСТОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ ЖАРКОГО КЛИМАТА И ИХ СОСТОЯНИЕ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ (ПРИМЕНИТЕЛЬНО К РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН).....	312
Бобриков Александр Игоревич, Примчук Анатолий Григорьевич О ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ .....	317
Евдокимов А.А. <sup>1,2</sup> , Венедиктова М.А. <sup>1</sup> , Славин А.В. <sup>1</sup> , Федотов М.Ю. <sup>2</sup> ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ АРОЧНЫХ БЫСТРОВОВОЗВОДИМЫХ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ .....	321
Караханян Вадим Барменович ОСОБЕННОСТИ НАГРУЗОК И ВОЗДЕЙСТВИЙ НА МАГИСТРАЛЬНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ.....	331
Квашук Сергей Владимирович, Бородина Вероника Анатольевна ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В СЛОЖНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ (НА ПРИМЕРЕ ТРАНСПОРТНОГО КОРИДОРА КОМСОМОЛЬСК – СОВЕТСКАЯ ГАВАНЬ) .....	336
Магомедов Мухтар Магомедович, Овчинников Илья Игоревич ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНЫХ МОСТОВ В АСПЕКТЕ ИХ АВАРИЙНОСТИ.....	341
Овчинников Игорь Георгиевич, Жаналиев Бекзат Бактыбекович, Овчинников Илья Игоревич ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ «СОВРЕМЕННЫХ» НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ .....	347
Примчук Анатолий Григорьевич, Алехнович Вадим Олегович СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ СКАЛЬНОГО ГРУНТА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА .....	353
Сергеева Н.Д. Саввина Е.В. ВИМ -ТЕХНОЛОГИЯ КАК ОСНОВА ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ СКВОЗНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОДОРОГ .....	360

Шевель Александр Евгеньевич, Козлов Павел Геннадьевич СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И СООРУЖЕНИЙ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ.....	367
<b>Секция № 9. Строительная механика .....</b>	<b>373</b>
<b>Руководитель секции: Федюк Роман Сергеевич д.т.н., доц., профессор Военного учебного центра при ДВФУ .....</b>	<b>373</b>
Бобриков Александр Игоревич, Примчук Анатолий Григорьевич АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБСАДНЫХ КОЛОНН НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН .....	373
Бирюков Александр Николаевич, Таутиев Ислам Магомедович ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ.....	376
Быстров Никита Сергеевич <sup>1</sup> , Овчинников Игорь Георгиевич <sup>2</sup> МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И РИСКА КАРСТОВОГО ПРОВАЛА ..	382
Никитин Максим Александрович, Овчинников Илья Игоревич АВАРИИ НАДЗЕМНЫХ ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ, АНАЛИЗ ИХ ПРИЧИН .....	391
Чэнь Чуан ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ НА СЛОЖНЫХ В ПЛАНЕ СООРУЖЕНИЯХ .....	405
<b>Секция № 10. Перспективные энерготехнологии .....</b>	<b>412</b>
<b>Руководитель секции: Минаев Александр Николаевич, д.т.н., профессор Отделения машиностроения, морской техники и транспорта Политехнического института (Школы) ДВФУ .....</b>	<b>412</b>
Ведюшенко Илья Витальевич, Зимакин Вячеслав Валерьевич, Шевцов Сергей Александрович, Минаев Александр Николаевич ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СУДОСТРОЕНИЯ В РОССИИ.....	412
Дмитриева Наталья Романовна, Китаев Максим Владимирович, Новосельцев Игорь Александрович ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОНОМНОСТИ ПЛАВУЧИХ ДОМОВ .....	416
Егунов Степан Дмитриевич РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ ПЕЛЬТЬЕ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO NANO ....	420

Казарин Виталий Андреевич МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В УСЛОВИЯХ НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ В ТЕПЛООБМЕННИКАХ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК, РАБОТАЮЩИХ НА МОРСКОЙ ВОДЕ	426
Кайтан Денис Викторович <sup>1</sup> , Минаев Александр Николаевич <sup>2</sup> РАЗРАБОТКА БЛОКА САМОДИАГНОСТИКИ СУДОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ..	431
Крылов Родион Русланович, Минаев Александр Николаевич ИССЛЕДОВАНИЕ В ПРОГРАММЕ COMSOL MULTIPHYSICS РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ СУДОВЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ .....	438
Лапина Наталья Викторовна ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОГО ПАССИВНОГО МАГНИТНОГО ПОДШИПНИКА.	442
Макавчик Илья Алексеевич ИСТОРИЯ И БУДУЩЕЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ.....	449
Чумаков Максим Сергеевич ВИБРАЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ВИНТО-РУЛЕВЫХ КОЛОНОК МОЩНОСТЬЮ ОТ 7.5 ДО 15 МВТ С ПОГРУЖНЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ .....	451
<b>Секция № 11. Экологическая безопасность строительства.....</b>	<b>457</b>
<b>Руководитель секции: Петухов Валерий Иванович, д.т.н., профессор Департамента природно-технических систем и техносферной безопасности Политехнического института (Школы) ДВФУ.....</b>	<b>457</b>
Амелин Павел Андреевич АНАЛИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ВНЕШНЕГО УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ .....	457
Бобриков Александр Игоревич, Примчук Анатолий Григорьевич ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ МЕТАНА ИЗ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ.....	462
Головатенко Екатерина Леонидовна ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИЙ РЕГИОНА ПО КАЧЕСТВУ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД.....	467
Дабаева М.А. <sup>1</sup> , Итигилов Г.Б. <sup>1</sup> , Сысуев В.М. <sup>1</sup> , Лхасаранов С.А. <sup>1</sup> , Хахинов В.В. <sup>2</sup> , Урханова Л.А. <sup>1,3</sup> ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕР-ПЕСЧАНЫХ КОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ЭКСТРУЗИОННО-ПРОКАТНО-ФОРМОВОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ .....	470
Козлов Павел Геннадьевич ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГЕОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ.....	476

Макавчик Илья Алексеевич КОМУ ПРИНАДЛЕЖАТ АРКТИЧЕСКИЕ БОГАТСТВА? .....	482
Матвеев Константин Сергеевич ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ЭКСТРУЗИОННЫМ СПОСОБОМ ПЕРЕРАБОТКИ.....	485
Столбоушкин Андрей Юрьевич <sup>1</sup> , Матвеев Алексей Анатольевич <sup>1</sup> , Спиридонова Ирина Владимировна <sup>1</sup> , Фомина Оксана Андреевна <sup>2</sup> ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭС В ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИМОРСКОГО КРАЯ.....	490
<b>Секция № 12. Вибродиагностика и виброналадка.....</b>	<b>498</b>
<b>Руководитель секции: Грибиниченко Матвей Валерьевич, к.т.н., доцент, директор Отделения машиностроения, морской техники и транспорта Политехнического института (Школы) ДВФУ.....</b>	<b>498</b>
Андрюхина Полина Александровна, Игнатъев Егор Алексеевич ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЛИЯНИЯ.....	498
Изотов Николай Владимирович, Васютина Анастасия Александровна, Лапин Юрий Алексеевич РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА.....	506
Лапин Юрий Алексеевич МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКОГО ВОЗМУЩАЮЩЕГО МОМЕНТА СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ ПРИ РАСЧЁТАХ РЕЗОНАНСНОЙ АМПЛИТУДЫ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ.....	512
Лойко Дмитрий Владимирович НЕОБХОДИМОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ СПЕКТРОВ ВИБРАЦИИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ.....	519
Морковин Андрей Витальевич, Ле Куй Вьет СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ЦИФРОВОЙ БАЛАНСИРОВКИ РОТОРНЫХ МЕХАНИЗМОВ ....	525
Смирнов Димитрий Валерьевич ВИБРАЦИИ ЛОПАСТНЫХ МАШИН, ВЫЗВАННЫЕ МЕХАНИЧЕСКИМИ ОСЛАБЛЕНИЯМИ .....	530
Федюк Роман Сергеевич <sup>1</sup> , Павликов Сергей Николаевич <sup>2</sup> , Копаева Екатерина Юрьевна <sup>3</sup> КАНАЛЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И МЕТОДЫ ИХ ЗАЩИТЫ .....	534



## **Секция № 1. Строительные конструкции, здания и сооружения**

**Руководитель секции: Федюк Роман Сергеевич, д.т.н., доц.,  
профессор Военного учебного центра при ДВФУ**

**Аюбов Н.А.<sup>1</sup>, Гатиев М.Ш.<sup>1</sup>, Ключев С.В.<sup>2</sup>, Федюк Р.С.<sup>3</sup>**

### **ДЕФОРМИРОВАНИЕ ТОНКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ**

<sup>1</sup>*Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова  
Российской академии наук, 364051, Россия, Чеченская Республика, г. Грозный,  
В. Алиева (Старопромысловское шоссе), 21 а*

<sup>2</sup>*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.  
Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46*

<sup>3</sup>*Дальневосточный федеральный университет*

Самый распространенный вид пластин - это так называемые *тонкие пластины*, у которых отношение толщины к наименьшему характерному размеру  $1/100 < h/b < 1/5$ .

При  $h/b > 1/5$  пластина относится к *толстым плитам*, которые должны рассчитываться уже как массивные тела.

Полная деформация бетона  $\varepsilon_{b,total}$  представляется в виде суммы мгновенной деформации и деформации ползучести. В соответствии с вязкоупругой реологической моделью для одноосного напряженного состояния связь между деформациями и напряжениями имеет вид:

$$\varepsilon_{b,total} = \varepsilon_x^{el} + \varepsilon_b^*, \quad (1)$$

где,  $\varepsilon_x^{el} = \frac{\sigma_b}{E_b}$  – упругие деформации,  $\varepsilon_b^*$  – деформация ползучести,  $E_b$  – модуль упругости бетона.

Для вывода разрешающего уравнения нами будут использованы следующие гипотезы:

1. *Гипотеза прямых нормалей.* Любой прямолинейный элемент, нормальный к срединной плоскости, остается прямолинейным и нормальным к срединной поверхности после деформирования пластинки, и длина его не изменяется. Эта гипотеза аналогична гипотезе плоских сечений в теории изгиба балок. Так как прямые углы не меняются, то соответствующие углы сдвига должны быть равны нулю

$$\gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0.$$

Из того, что длина элемента, параллельного оси z, не меняется, следует

$$\varepsilon_z = 0$$

2. *Гипотеза о недеформируемости срединной плоскости.* В срединной плоскости отсутствуют деформации растяжения, сжатия и сдвига. Отсюда следует, что перемещения точек нейтральной плоскости по осям  $x$  и  $y$  равны нулю.

$$u_0 = v_0 = 0.$$

3. *Гипотеза об ненадавливании слоев.* В соответствии с этой гипотезой напряжением  $\sigma_z$  можно пренебречь. Аналогичная гипотеза использовалась в теории изгиба балок. Данная гипотеза означает, что каждый слой плиты находится в условиях плоского напряженного состояния, и связь между деформациями бетона и напряжениями записывается в виде:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{bx} \\ \varepsilon_{by} \\ \gamma_{bxy} \end{pmatrix} = \frac{1}{E_b} \begin{bmatrix} 1 & -\nu & 0 \\ -\nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(1 + \nu) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_{bx} \\ \sigma_{by} \\ \tau_{bxy} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{bx}^* \\ \varepsilon_{by}^* \\ \gamma_{bxy}^* \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{bx}^*$ ,  $\varepsilon_{by}^*$ ,  $\gamma_{bxy}^*$  – деформации ползучести.

Рассматриваемый элемент железобетонной плиты представлен на рисунок 1.

Деформации бетона представляет собой сумму деформаций срединной поверхности и деформаций, вызванных изменением кривизны:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{bx} \\ \varepsilon_{by} \\ \gamma_{bxy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{pmatrix} - z \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Из условия совместной работы арматуры и бетона деформации арматуры записываются в виде:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{sx} \\ \varepsilon_{sy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \end{pmatrix} - \begin{bmatrix} z_{sx} & 0 \\ 0 & z_{sy} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \end{pmatrix} \end{pmatrix}; \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} \varepsilon'_{sx} \\ \varepsilon'_{sy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} z'_{sx} & 0 \\ 0 & z'_{sy} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \end{pmatrix} \end{pmatrix}$$

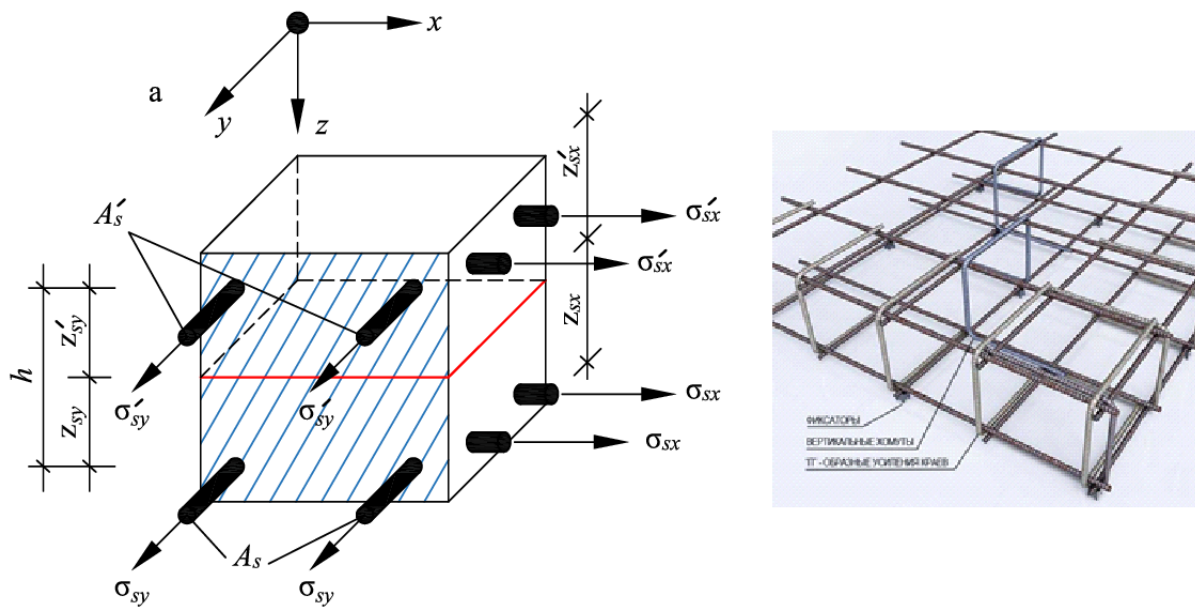


Рисунок 1 – Элемент железобетонной плиты

Напряжения в бетоне из (1) и (2) определяются следующим образом:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{bx} \\ \sigma_{by} \\ \tau_{bxy} \end{Bmatrix} = -\frac{zE_b}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(1-\nu)}{2} \end{bmatrix} \left( -\frac{1}{z} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ 2\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{Bmatrix} + \frac{1}{z} \begin{Bmatrix} \varepsilon_{x,b}^* \\ \varepsilon_{y,b}^* \\ \gamma_{xy,b}^* \end{Bmatrix} \right); \quad (5)$$

Напряжения в арматуре записываются в виде:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{sx} \\ \sigma_{sy} \end{Bmatrix} = E_s \left( \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} z_{sx} & 0 \\ 0 & z_{sy} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \end{Bmatrix} \right); \quad (4)$$

$$\begin{Bmatrix} \sigma'_{sx} \\ \sigma'_{sy} \end{Bmatrix} = E_s \left( \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} z'_{sx} & 0 \\ 0 & z'_{sy} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \end{Bmatrix} \right)$$

Для изгибающих моментов, воспринимаемых плитой, представим, как сумму моментов, воспринимаемых бетоном и моментов, воспринимаемых арматурой:

$$M_x = M_{bx} + M_{sx}; \quad M_y = M_{by} + M_{sy}. \quad (5)$$

Соответствующие моменты:

1. Изгибающие моменты, воспринимаемые бетоном

$$\begin{Bmatrix} M_{bx} \\ M_{by} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{bx} z dz \\ \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{by} z dz \end{Bmatrix} = -D_b \begin{pmatrix} 1 & \nu \\ \nu & 1 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} M_{bx}^* \\ M_{by}^* \end{Bmatrix}; \quad (6)$$

де  $D_b = \frac{E_b h^3}{12(1 - \nu^2)}$  – цилиндрическая жесткость бетона;

$$\begin{Bmatrix} M_{bx}^* \\ M_{by}^* \end{Bmatrix} = \frac{E_b}{1 - \nu^2} \begin{Bmatrix} \int_{-h/2}^{h/2} \left( [1 \quad \nu] \begin{Bmatrix} \varepsilon_{bx}^* \\ \varepsilon_{by}^* \end{Bmatrix} \right) z dz \\ \int_{-h/2}^{h/2} \left( [1 \quad \nu] \begin{Bmatrix} \varepsilon_{bx}^* \\ \varepsilon_{by}^* \end{Bmatrix} \right) z dz \end{Bmatrix}; \quad (7a)$$

2. Изгибающие моменты, воспринимаемые арматурой

$$\begin{Bmatrix} M_{sx} \\ M_{sy} \end{Bmatrix} = E_s h \begin{pmatrix} (\mu_{sx} z_{sx} - \mu'_{sx} z'_{sx}) & 0 \\ 0 & (\mu_{sy} z_{sy} - \mu'_{sy} z'_{sy}) \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} D_{sx} & 0 \\ 0 & D_{sy} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \end{Bmatrix} \quad (8)$$

где  $\mu_{sx}$ ,  $\mu'_{sx}$ ,  $\mu_{sy}$ ,  $\mu'_{sy}$  – коэффициенты армирования, представляющие отношение площади арматуры, приходящейся на 1 м длины плиты, к ее толщине;

$$\begin{Bmatrix} D_{sx} \\ D_{sy} \end{Bmatrix} = E_s h \begin{Bmatrix} (\mu_{sx} z_{sx}^2 + \mu'_{sx} (z'_{sx})^2) \\ (\mu_{sy} z_{sy}^2 + \mu'_{sy} (z'_{sy})^2) \end{Bmatrix}$$

В случае симметричного армирования, а именно:

$$\mu_{sx} = \mu'_{sx}, \quad \mu_{sy} = \mu'_{sy}, \quad z_{sx} = z'_{sx}, \quad z_{sy} = z'_{sy}$$

полные изгибающие моменты имеют вид:

$$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} D_1 & D^* \\ D^* & D_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} M_{bx}^* \\ M_{by}^* \end{Bmatrix} \quad (9)$$

здесь  $D_1 = D_b + D_{sx}$ ,  $D_2 = D_b + D_{sy}$ ,  $D^* = \nu D_b$ .

Что касается крутящего момента, то он полностью воспринимается бетоном:

$$H = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{bxy} z dz = -D_b(1 - \nu) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} - H_b^*, \quad (10)$$

где

$$H_b^* = \frac{E_b}{2(1 + \nu)} \int_{-h/2}^{h/2} \gamma_{bxy}^* z dz. \quad (11a)$$

Отметим, что в упругой постановке (отсутствие деформаций ползучести) соотношения (9) и (10) совпадают с выражениями для ортотропной пластинки.

Уравнение равновесия через изгибающие и крутящего момента имеет вид:

$$\left[ \frac{\partial^2}{\partial x^2} \quad \frac{\partial^2}{\partial y^2} \quad 2 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \right] \{M_x \quad M_y \quad H\}^T = -q(x, y), \quad (12)$$

где  $q(x, y)$  – внешняя поверхностная нагрузка.

Подставив (9) и (10) в (12), получим основное разрешающее неоднородное интегро-дифференциальное уравнение:

$$D_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2D_b \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_2 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = q - \left( \frac{\partial^2 M_{bx}^*}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 H_b^*}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_{by}^*}{\partial y^2} \right). \quad (13)$$

### Список литературы

1. Ключев С.В. Ползучесть и деформативность дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. №4. С. 85-87.
2. Александровский, С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменение температуры и влажности с учетом ползучести / С.В. Александровский. – М. Стройиздат, 1973. 432 с.
3. Ключев С.В. Основы конструктивной организации природных и искусственных материалов // В сборнике: Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии. Сборник студенческих докладов, посвященный 150-летию со дня рождения академика В.Г. Шухова в 3-х частях. 2003. С. 161-163.
4. Александровский С.В. Расчёт железобетонных конструкций на изменение температуры и влажности с учётом ползучести / С.В. Александровский. М.: НИИЖБ, 2004. - 712 с.
5. Ключев С.В., Ключев А.В. Оптимальное проектирование стержневых систем при силовых и температурных воздействиях с учетом безопасной устойчивости // Фундаментальные исследования. 2009. № 1. С. 30-31.

6. Клюев С., Клюев А.В. Оптимальное проектирование конструкций с учетом устойчивости равновесия // *Фундаментальные исследования*. 2008. № 9. С. 62.

7. Клюев С.В., Клюев А.В. Управление проектными параметрами в задачах оптимального проектирования // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2010. № 1. С. 15-19.

**Гатиев М.Ш.<sup>1</sup>, Аюбов Н.А.<sup>1</sup>, Клюев С.В.<sup>2</sup>, Федюк Р.С.<sup>3</sup>**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО**  
**СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ**  
**ТЕОРИЙ ПОЛЗУЧЕСТИ**

<sup>1</sup>*Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова Российской Академии Наук, 364051, Россия, Чеченская Республика, г. Грозный, В. Алиева (Старопромысловское шоссе), 21 а*

<sup>2</sup>*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46*

<sup>3</sup>*Дальневосточный федеральный университет*

Существующие теории ползучести для бетона, выдвинутые разными авторами в разное время можно разделить на 3 основные группы: теория старения, теория течения, теория упрочнения и линейная теория наследственности. В основе всех этих теорий лежат следующие гипотезы:

*1 гипотеза*

Хотя бетон в отличие от других материалов не однородный, он принимается изотропным.

*2 гипотеза*

Для постоянных напряжений, полная деформация бетона, состоящая из мгновенной деформации и составляющей деформации ползучести, линейно связана с вызвавшими ее напряжениями. Эта гипотеза справедлива для нагрузок, не превышающих  $(0,4-0,5)R_{bn}$  для сжатия, и  $0,9R_{bn}$  для растяжения.

*3 гипотеза*

Полная деформация ползучести при изменяющемся напряжении складывается из деформаций ползучести от соответствующих приращений напряжений (принцип суперпозиции).

В работе на основе первых трех названных выше теорий выполняется построение формул для расчета бетонных и железобетонных конструкций.

*1. Теория упрочнения*

Для данной теории связь между скоростью роста деформации ползучести и напряжением при одноосном напряженном состоянии устанавливается как:

$$\frac{\partial \varepsilon^*}{\partial t} = \gamma(C_\infty \sigma - \varepsilon^*), \quad (1)$$

где  $\gamma, C_\infty$  – реологические константы. Величина  $C_\infty$  является предельной мерой ползучести.

## 2. Теория старения

Большая часть исследований и решений практических задач осуществляется с использованием теории старения Дишингера Ф., Уитнея, и Буданова Н.А. Достоинством данной теории является ее простота. Теория основывается исключительно на результатах экспериментов, по которым графики деформаций ползучести бетона, нагруженного в разных возрастах, практически параллельны. В одном из вариантов теории старения связь между деформацией ползучести и напряжением записывается в явном виде:

$$\varepsilon^*(t) = \sigma C_\infty (1 - e^{-\gamma t}). \quad (2)$$

## 3. Теория течения

По теории течения скорость роста деформации ползучести вычисляется следующим образом:

$$\frac{\partial \varepsilon^*}{\partial t} = \sigma C_\infty \gamma e^{-\gamma t}. \quad (3)$$

Уравнения (1) – (3) применимы для бетона, модуль упругости которого во времени не меняется.

В линейной теории Арутюняна-Маслова зависимость между напряжением и деформацией представляется следующим образом:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E(t)} - \int_0^t \sigma(\tau) \frac{\partial}{\partial \tau} \left[ \frac{1}{E(\tau)} + C(t - \tau) \right] d\tau, \quad (4)$$

где  $C(t - \tau)$  – мера ползучести.

При  $E = const$  из уравнения (4) деформация ползучести определяется следующим образом:

$$\varepsilon^* = - \int_0^t \sigma(\tau) \frac{\partial}{\partial \tau} [C(t - \tau)] d\tau. \quad (5)$$

Если меру ползучести в (5) принять в виде  $C(t - \tau) = C_\infty (1 - e^{-\gamma(t-\tau)})$ , то дифференциальная форма закона ползучести примет вид (1).

Используя принцип суперпозиции, перейдем от одноосного напряженного состояния к плоскому. Рассмотрим этот переход на примере *теории упрочнения*. Считая, что коэффициент упругой поперечной деформации равен коэффициенту Пуассона для деформаций ползучести.

Представим плоское напряженное состояние как сумму двух одноосных напряженных состояний:

1.  $\sigma_x \neq 0, \sigma_y = 0.$

Деформации, вызванные первым состоянием, имеют вид:

$$\begin{cases} \varepsilon_{1x} \\ \varepsilon_{1y} \end{cases} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -\nu & -\nu \end{bmatrix} \begin{cases} \sigma_x \\ \varepsilon_{1x}^* \end{cases} \quad (6)$$
$$\frac{\partial \varepsilon_{1x}^*}{\partial t} = \gamma (C_\infty \sigma_x - \varepsilon_{1x}^*).$$

2.  $\sigma_y \neq 0, \sigma_x = 0.$

$$\begin{cases} \varepsilon_{2y} \\ \varepsilon_{2x} \end{cases} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -\nu & -\nu \end{bmatrix} \begin{cases} \sigma_y \\ \varepsilon_{2y}^* \end{cases} \quad (7)$$

$$\frac{\partial \varepsilon_{2y}^*}{\partial t} = \gamma (C_\infty \sigma_y - \varepsilon_{2y}^*).$$

Складывая деформации, вызванные двумя состояниями, получим:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \varepsilon_{1x} + \varepsilon_{2x}; & \begin{cases} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \end{cases} &= \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\nu \\ -\nu & 1 \end{bmatrix} \begin{cases} \sigma_x \\ \sigma_y \end{cases} + \begin{bmatrix} 1 & -\nu \\ -\nu & 1 \end{bmatrix} \begin{cases} \varepsilon_{1x}^* \\ \varepsilon_{2y}^* \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

Равенства (8) можно переписать в виде:

$$\begin{cases} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \end{cases} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\nu \\ -\nu & 1 \end{bmatrix} \begin{cases} \sigma_x \\ \sigma_y \end{cases} + \begin{cases} \varepsilon_x^* \\ \varepsilon_y^* \end{cases} \quad (9)$$

где  $\varepsilon_x^* = \varepsilon_{1x}^* - \nu \varepsilon_{2y}^*$ ,  $\varepsilon_y^* = \varepsilon_{2y}^* - \nu \varepsilon_{1x}^*$ .

Для скоростей роста деформаций ползучести можно записать:

$$\begin{cases} \frac{\partial \varepsilon_x^*}{\partial t} \\ \frac{\partial \varepsilon_y^*}{\partial t} \end{cases} = \gamma C_\infty \left( \begin{bmatrix} 1 & -\nu \\ -\nu & 1 \end{bmatrix} \begin{cases} \sigma_x \\ \sigma_y \end{cases} + \frac{1}{C_\infty} \begin{cases} \varepsilon_x^* \\ \varepsilon_y^* \end{cases} \right) \quad (10)$$

Для представления скорости сдвиговой деформации рассмотрим при  $t \rightarrow \infty$  уравнение:

$$\frac{\partial \varepsilon^*}{\partial t} = \gamma (C_\infty \sigma - \varepsilon^*),$$

Скорость  $\frac{\partial \varepsilon^*}{\partial t}$  деформации ползучести в конце процесса ползучести обращается в нуль, откуда определяется максимальная деформация ползучести:

$$\varepsilon_\infty^* = C_\infty \sigma. \quad (11)$$

Полная деформация при  $t \rightarrow \infty$  запишется в виде:

$$\varepsilon = \sigma \left( \frac{1}{E} + C_\infty \right) = \frac{\sigma}{E} (1 + C_\infty E) = \frac{\sigma}{E} (1 + \varphi_\infty) = \frac{\sigma}{E_\tau}, \quad (12)$$

где  $E_\tau = E / (1 + \varphi_\infty)$  – длительный модуль упругости,  $\varphi_\infty$  – коэффициент ползучести.

Зависимость (12) используется для учета ползучести в нормах проектирования железобетонных конструкций. Длительный модуль сдвига введем по аналогии с длительным модулем упругости:

$$G_\tau = \frac{G}{1 + \varphi_\infty} = \frac{E}{2(1 + \nu)(1 + \varphi_\infty)}. \quad (13)$$

Полная сдвиговая деформация в конце процесса ползучести примет вид:

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G_\tau} = \frac{2(1 + \nu)}{E} \tau_{xy} (1 + \varphi_\infty) = \frac{2(1 + \nu)}{E} \tau_{xy} + 2(1 + \nu) C_\infty \tau_{xy}. \quad (14)$$

Из (14) деформация ползучести при  $t \rightarrow \infty$  запишется в виде:

$$\gamma_{xy, \infty}^* = 2(1 + \nu) C_\infty \tau_{xy}. \quad (15)$$

Скорость роста сдвиговой деформации ползучести при  $t \rightarrow \infty$  будет равна нулю, если закон ползучести записать в виде:

$$\frac{\partial \gamma_{xy}^*}{\partial t} = \gamma [2(1 + \nu) C_\infty \tau_{xy} - \gamma_{xy}^*]. \quad (16)$$



Для теории старения в случае плоского напряженного состояния закон деформирования примет вид:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_x^* \\ \varepsilon_y^* \\ \gamma_{xy}^* \end{pmatrix} = C_\infty (1 - e^{-\gamma t}) \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(1 + \nu) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{pmatrix} \quad (17)$$

При использовании теории течения уравнения ползучести запишутся в виде:

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial \varepsilon_x^*}{\partial t} \\ \frac{\partial \varepsilon_y^*}{\partial t} \\ \frac{\partial \gamma_{xy}^*}{\partial t} \end{pmatrix} = C_\infty \gamma e^{-\gamma t} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(1 + \nu) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{pmatrix} \quad (18)$$

### Список литературы

1. Клюев С.В. Ползучесть и деформативность дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. №4. С. 85-87.
2. Александровский, С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменение температуры и влажности с учетом ползучести / С.В. Александровский. – М. Стройиздат, 1973. 432 с.
3. Клюев С.В. Основы конструктивной организации природных и искусственных материалов // В сборнике: Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии. Сборник студенческих докладов, посвященный 150-летию со дня рождения академика В.Г. Шухова в 3-х частях. 2003. С. 161-163.
4. Александровский С.В. Расчёт железобетонных конструкций на изменение температуры и влажности с учётом ползучести / С.В. Александровский. М.: НИИЖБ, 2004. 712 с.
5. Клюев С.В., Клюев А.В. Оптимальное проектирование стержневых систем при силовых и температурных воздействиях с учетом безопасной устойчивости // Фундаментальные исследования. 2009. № 1. С. 30-31.
6. Клюев С., Клюев А.В. Оптимальное проектирование конструкций с учетом устойчивости равновесия // Фундаментальные исследования. 2008. № 9. С. 62.
7. Клюев С.В., Клюев А.В. Управление проектными параметрами в задачах оптимального проектирования // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2010. № 1. С. 15-19.

**Королев Александр Сергеевич**  
**УПРУГИЕ СВОЙСТВА БЕТОНА ПРИ СЖАТИИ И РАСТЯЖЕНИИ:**  
**УЧЕТ ИХ РАЗНОРОДНОСТИ И ПРИРОСТА В ПРОЕКТИРОВАНИИ**  
**АРМИРОВАННЫХ ПРОЛЕТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

*Южно-Уральский государственный университет, кафедра Строительные  
конструкции и сооружения, г. Челябинск, пр. Ленина, 76*

**Аннотация.** Деформативность бетона наравне с прочностью является определяющей характеристикой в расчете и проектировании армированных бетонных конструкций. На практике при одинаковой прочности деформативные свойства бетона в зависимости от особенностей состава бетонной смеси могут варьироваться в значительном диапазоне, что может сказываться на фактическом прогибе пролетных конструкций. Значительным фактором является и нелинейное изменение деформативности бетона от степени его нагружения, что является основой нелинейного расчета деформации конструкций. Основной характеристикой деформативных свойств бетона в настоящее время является мгновенный модуль упругости. Вместе с тем, модуль упругости/деформации бетона в производстве не нормирован, а введение нормирования требует разработки методов оперативной оценки модуля упругости, и оценки эффективности контроля данного показателя, т.е. его значимости в конечных показателях деформаций и коэффициента армирования бетонных конструкций. Попытка применения значительно более простого и оперативного метода оценки модуля упругости бетона при трехточечном изгибе поставила ряд вопросов о разнородности деформирования бетона при сжатии и растяжении.

**Ключевые слова:** модуль упругости, бетон, деформативность, модуль упругости при сжатии, модуль упругости при растяжении, пролетные конструкции

### **Введение**

Со времени разработки первых правил проектирования бетонных конструкций и по настоящее время базовым постулатом в оценке и учете упругих свойств бетона в расчете по второй группе предельных состояний является равнозначность упругих свойств бетона при сжатии и растяжении [1-5]. Под равнозначностью понимается:

- упруго-пластический характер деформирования бетона под нагрузкой;
- равнозначное деформирование при одинаковых напряжениях;
- трехлинейность нелинейности деформирования бетона под нагрузкой.

Основной характеристикой упругих свойств является модуль упругости или модуль Юнга, определяемый при сжатии с учетом только мгновенных упругих деформаций при нагружении, т.е. мгновенный модуль упругости. Модуль упругости, несомненно, это основополагающая характеристика деформативных свойств любого материала, однако практически ни для одного строительного материала не осуществляется оперативный контроль качества

этого показателя ни в рамках выходного, ни в рамках входного контроля. Связано это, в первую очередь с громоздкостью и трудоемкостью стандартного метода испытания, заключающейся в необходимости установки большого количества датчиков, длительной стадийной центровки образца и других. С учетом равнозначности упругих свойств при сжатии и растяжении, метод оценки упругости при трехточечном изгибе и фиксации единственной деформации – прогиба представляется гораздо более простым и не менее точным.

В связи с этим, была поставлена цель исследования в оценке сочетаемости данных оценки упругих свойств бетона методами сжатия и растяжения с определением нелинейности деформативности при нагружении и эффективности повышения модуля упругости при сжатии в снижении прогибов изгибаемых бетонных элементов.

Задачи исследования были направлены как на эмпирические исследования упругих свойств, так и апробацию данных эксперимента в расчетах:

- 1) провести исследование деформативности бетона на стандартных образцах-балках постоянной прочности и с различными упругими свойствами под нагрузкой сжатия и растяжения при изгибе;
- 2) исследовать деформативность бетонных балок при изгибе, армированных стальной и композитной арматурой;
- 3) провести моделирование и расчет прогибов полностью аналогичных балок с полностью аналогичными условиями нагружения;
- 4) выполнить оценку эффективности повышения модуля упругости бетона в работе изгибаемых армированных бетонных элементов.

С целью учета особенностей структуры бетона при деформировании были проведены исследования как тяжелых, так и легких бетонов различных составов, полученных на основе ранее проведенных работ по моделированию деформативных свойств бетонов.

### **Методы и материалы**

Для определения модуля упругости и прочности при сжатии бетонов различных классов применялись стандартные методы ГОСТ 24452-80, ГОСТ 22690-2015.

Для испытания бетонных балок на определение модуля упругости при изгибе нет утвержденной методики, в качестве основы для проведения испытаний использовалась методика из ГОСТ 310.4-81\* для балок из цемента размерами 5 x 5 x 15 см. Испытание проводилось ступенями по 1,5 кН с выдержкой 4-5 минут, нагружение производилось до полного разрушения балок. Образец устанавливают на опорные грани специального приспособления для испытания в прессе таким образом, чтобы он оказался в горизонтальном положении, маркировка образцов должна быть обращена к испытателю. Средняя скорость нарастания нагрузки принималась  $50 \pm 10$  Н/с.

Форма, размеры и взаимное расположение нагрузочного элемента и опор приведены, фотография испытания на рис. 1.

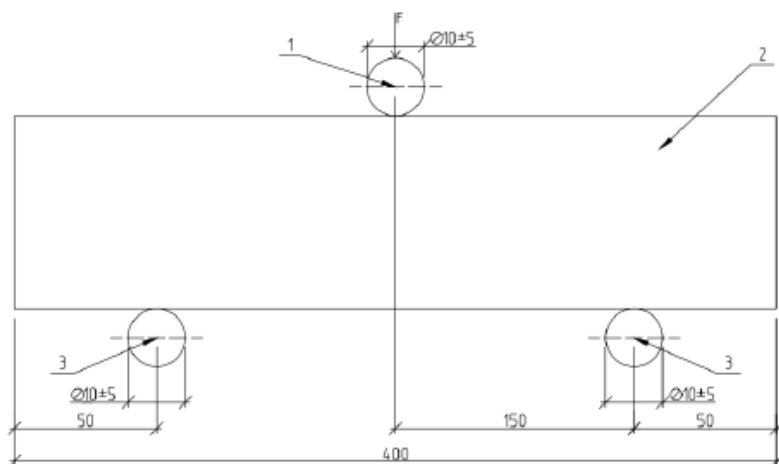


Рисунок 1. Схема испытания балки на изгиб 1 – Нагрузочный элемент; 2 – образец-балка; 3 – опора.

Для проведения испытаний по исследованию эффективности повышения упругих свойств бетона были изготовлены балки размерами  $b \times h \times l$  равными 8 см  $\times$  14 см  $\times$  140 см. Схема испытания балок показана, фото реального эксперимента рис. 2.

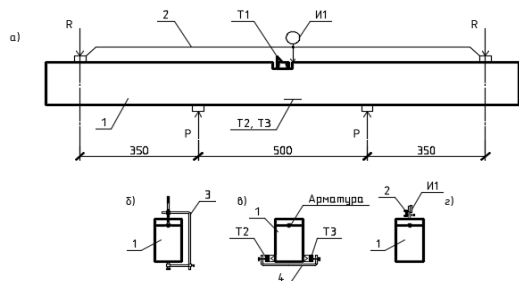


Рисунок 2. Схема испытания образцов-балок. а) расположение сил и приборов; б) крепление тензометра  $T1$ ; в) крепление тензометров  $T2$ ,  $T3$ ; г) крепление индикатора измерения прогибов; 1 – балка; 2 – траверса для измерения прогибов; 3, 4 – струбины для крепления тензометров  $T2$ ,  $T3$ . Фото экспериментальной установки

Используемые приборы: тензометр  $T1$  для измерения прогибов арматурного стержня, индикатор часового типа  $И1$  для измерения прогибов всей балки, тензометры  $T2$  и  $T3$  для измерения деформаций сжатой зоны бетона, для определения ширины раскрытия трещин используется микроскоп, а также линейка для определения высоты сжатой зоны.

Для изготовления образцов использовались бетонные смеси заводского изготовления ООО «ПК «СКМ» с регулируемым на основе ранее проведенных работ модулем упругости следующих классов:

- 1) тяжелый бетон В25 на песке с модулем крупности  $M_{кр} = 2,0$  и щебне фракции 5-20, с нормальным модулем упругости  $E=30000$  МПа;
- 2) тяжелый бетон В25 на песке с модулем крупности  $M_{кр} = 2,5$  и щебне фракции 10-20 с повышенным модулем упругости  $E=33000$  Мпа;
- 3) легкий бетон В15 D1600 на основе керамзита 10-20 мм и кварцевого песка,  $E=15000$  МПа;
- 4) легкий бетон В7,5 D1000 на основе керамзита 10-20 мм и перлитового песка,  $E=5000$  МПа.

Армированные образцы получали путем армирования одним стержнем растягиваемой зоны стальной арматурой А500с диаметр 10 мм по ГОСТ 5781-82 и композитной арматурой диаметр 8 мм АСК-8-1000/35 ГОСТ 31938-2012.

### Результаты и обсуждение

#### Исследование деформативности бетона на стандартных образцах-балках с различными упругими свойствами под нагрузкой сжатия и растяжения при изгибе

На рис. 3 для примера приведены усредненные данные деформирования образцов-балок 400x100x100 мм состава №1 при сжатии и изгибе. Пластические деформации являются краткосрочными и сняты по результатам замеров после выдержки в течение 5 мин на каждой ступени нагружения.

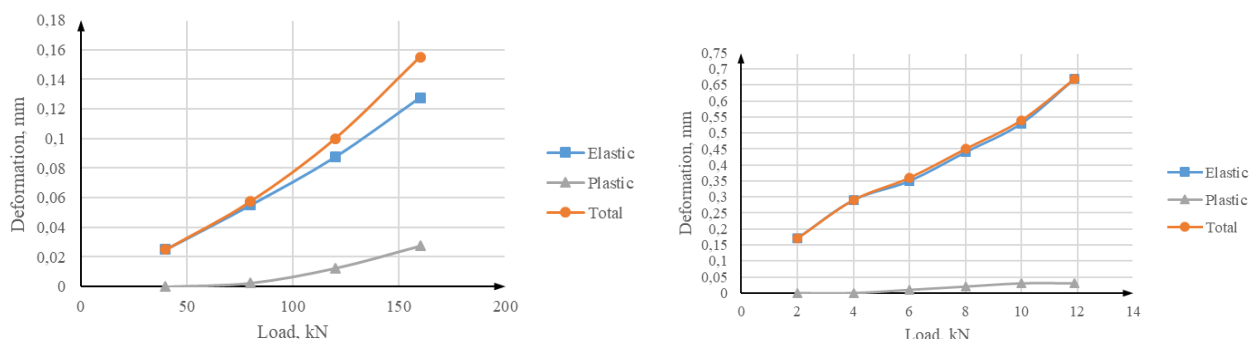


Рисунок 3. Кривые деформации при сжатии (слева) и изгибе (справа) образцов состава №1

Анализ зависимостей позволяет выявить ряд особенностей деформирования при сжатии и растяжении для различных видов бетона

- 1) при сжатии пластические деформации при выдержке начинают развиваться уже после достижения 20% от разрушающей нагрузки, при этом с повышением нагрузки доля пластических деформаций растет и при определенном мгновенном модуле упругости модуль деформации с повышением нагрузки падает в арифметической прогрессии;

- 2) при изгибе пластические деформации минимальны и не развиваются вплоть до разрушения бетона;

3) при сжатии бетонов на пористом заполнителе доля пластических деформаций значительно ниже в сравнении с тяжелыми бетонами.

Все это свидетельствует о различии в механизмах деформирования и разрушения при сжатии и растяжении и решающем значении контактной зоны между цементным камнем и заполнителем в характере деформирования при сжатии.

При сжатии процесс деформирования практически начиная с 20% от разрушающей нагрузки – это процесс развивающегося микротрещинообразования с перераспределением и релаксацией напряжений по зоне контакта между цементным камнем и заполнителем и, как следствие – отложенным вплоть до разрушающей нагрузки макротрещинообразованием.

При изгибе процесс микро- и последующего макротрещинообразования развивается очень быстро непосредственно перед разрушением, а до этого вся структура работает упруго.

По результатам испытаний можно сделать вывод о том, что модуль упругости при растяжении на порядок меньше модуля упругости при сжатии, и это относится как к бетонам, так и к цементному камню. Следовательно, различие в характере деформирования при сжатии и растяжении определяется в первую очередь свойствами структуры цементного камня.

### Исследование деформативности бетонных балок при изгибе, армированных стальной и композитной арматурой

По результатам оценки прогибов и предела трещинообразования армированных балок при нагружении были построены зависимости напряжения от прогиба, представленные на рис. 4.

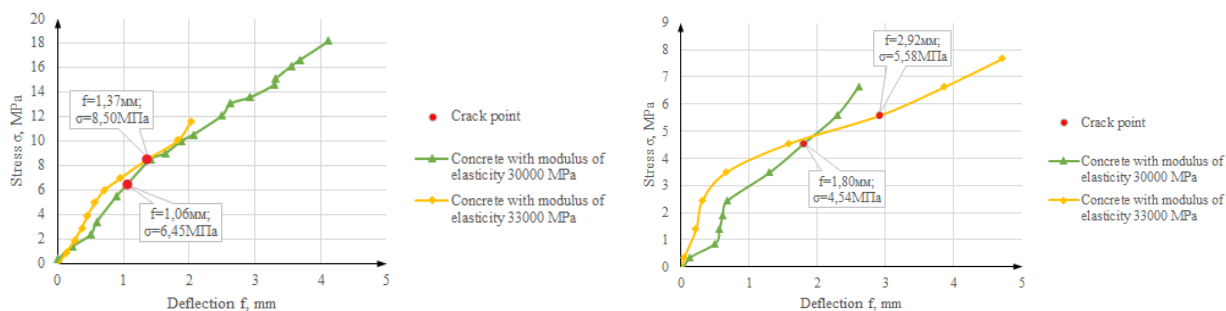


Рисунок 4. График зависимости напряжения от прогиба балок для составов 1 и 2 на стальной (1) и стеклопластиковой арматуре (2)

Важной особенностью является то, что для равнопрочных бетонов повышение модуля упругости приводит к пропорциональному и не очень значительному снижению прогиба, и к непропорциональному увеличению предела трещинообразования. При повышении модуля упругости на 10%, прирост предела трещинообразования составил до 30%. В результате предел трещинообразования балки из бетона с повышенным модулем на низко модульной стеклопластиковой арматуре приблизился к пределу трещинообразования балки из рядового бетона на стальной арматуре. Предел

трещинообразования балок из легкого бетона также снижается соответственно снижению модуля упругости при растяжении, а не прочности.

На рис. 5 приведены зависимости напряжения в балках от напряжения в арматуре.

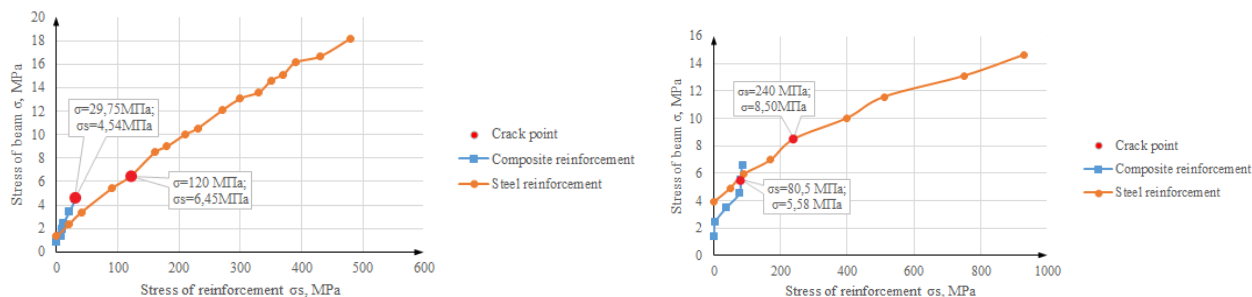


Рисунок 5. График взаимосвязи напряжений в арматуре для составов 1 и 2 на стальной (1) и стеклопластиковой арматуре (2)

Данные напряжения в арматуре показывают, что повышение модуля упругости тяжелого бетона позволяет повысить уровень включения арматуры. В момент трещинообразования соотношение напряжения в стальной арматуре и в бетоне для рядового тяжелого бетона составляет 18,6, а в бетоне с повышенным модулем 28,2, в стеклопластиковой арматуре для рядового бетона составляет 6,5, для бетона с повышенным модулем 14,4. Включение арматуры в работу в 1,5...2 раза выше при применении бетона с повышенными упругими свойствами, при чем на низко модульной стеклопластиковой арматуре эффект растет.

Для легких бетонов тенденция сохраняется.

В расчетном комплексе «Ли́ра-САПР» был проведен нелинейный расчет прогибов полностью подобных балок с применением трехлинейной диаграммы деформирования, закладывающей тождественность деформирования при сжатии и растяжении. Расчет прогибов проводился при нагрузках, соответствующих пределу трещинообразования для каждого из вариантов. Расчетные данные прогиба в несколько раз пессимистичнее факта, что говорит о том, что переложение трехлинейной кривой деформирования при сжатии на характер растяжения приводит к ошибке. Использование двухлинейной схемы более соответствует характеру деформирования бетона при растяжении, тогда вся зона деформирования находилась бы в упругой зоне и расчетные прогибы оказались бы со значительно меньшими значениями.

### Заключение

В результате проведенной аналитической и экспериментальной работы выявлено, что все виды бетонов при растяжении характеризуются выраженным упругим характером деформирования практически до разрушения. При сжатии деформирование бетонов имеет классический упруго-пластический характер деформирования, начиная с 20% разрушающей нагрузки, доля пластических деформаций бетонов на легком заполнителе значительно ниже, чем у тяжелых

бетонов. Следовательно, основным фактором пластических деформаций при нагружении бетона является пористая зона контакта цементного камня с заполнителем, которая в бетонах с легким заполнителем является значительно более плотной. При растяжении пористая зона контакта не является резервом для пластических деформаций и характер деформирования становится выражено упругим.

Результаты испытаний деформаций при трехточечном изгибе показали, что модуль упругости при растяжении бетонов на порядок ниже, чем при сжатии, также и цементного камня, что свидетельствует о том, что структура цементного камня при сжатии за счет сближения частиц структуры и межслоевого трения оказывает большее сопротивление деформированию, чем при растяжении.

В расчете пролетных конструкций важной особенностью является то, что при нелинейном расчете деформирования трехлинейная схема расчета, опирающаяся на тезис о тождественности деформативных свойств бетона при сжатии и растяжении, приводит к завышению показателей прогиба и перерасходу арматуры, в то время как при растяжении деформирование имеет выраженный упругий характер и расчет точнее проводить по двухлинейной схеме.

Экспериментально подтверждено, что повышение модуля упругости бетона при сохранении прочности наиболее значительно влияет не на прогиб, а на предел трещинообразования армированной конструкции. Повышение модуля упругости на 10% приводит к повышению предела трещинообразования на 30% за счет того, что бетон имея более высокую упругость обеспечивает увеличение включения арматуры и повышение в ней напряжения при нагружении. Это закладывает эффективность мероприятий по нормированию модуля упругости бетона и оперативному контролю модуля упругости товарных бетонов.

### **Список литературы**

1. Vakhshouri, B. Modulus of Elasticity of Concrete in Design Codes and Empirical Models: Analytical Study. Practice Periodical on Structural Design and Construction. 2018. 23(4). DOI:10.1061/(asce)sc.1943-5576.0000382.
2. Yoshitake, I., Rajabipour, F., Mimura, Y., Scanlon, A. A prediction method of Tensile young's modulus of concrete at early age. Advances in Civil Engineering. 2012. 2012. DOI:10.1155/2012/391214.
3. Hunka, P., Kolisko, J., Vokac, M., Rehacek, S. Test and technological influences on modulus of elasticity of concrete - Recapitulation. Procedia Engineering. 2013. 65. DOI:10.1016/j.proeng.2013.09.041.
4. Yildirim, H., Sengul, O. Modulus of elasticity of substandard and normal concretes. Construction and Building Materials. 2011. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2010.10.009.
5. Sanahuja, J., Dormieux, L., Chanvillard, G. Modelling elasticity of a hydrating cement paste. Cement and Concrete Research. 2007. DOI:10.1016/j.cemconres.2007.07.003.14.



**Кудрявцев Сергей Анатольевич, Вальцева Татьяна Юрьевна, Петерс Анастасия Александровна, Чуб Полина Сергеевна, Шестаков Илья Викторович**

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСНОВАНИЯ НА ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В ЮЖНЫХ РАЙОНАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА**

*ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения»; кафедра «Мосты, тоннели и подземные сооружения», 680021, г.Хабаровск, ул. Серышева, дом 47*

**Аннотация:** Для обеспечения долговечности и безаварийной эксплуатации зданий и сооружений целесообразно учитывать влияние негативных факторов на всех этапах жизненного цикла зданий и сооружений, исходя из наиболее неблагоприятного сочетания негативных факторов, в связи с этим, необходимо выполнение лабораторных и полевых исследований и последующего численного моделирования процессов промерзания и оттаивания.

**Ключевые слова:** промерзающий грунт, пучение, напряженно-деформированное состояние, численное моделирование

**Введение**

В рамках развития Дальневосточного федерального округа и южных районов Дальнего Востока, большое значение имеет строительство, связанное с развитием территорий, реновацией городов ДФО, развитием транспортной и энергетической инфраструктуры. Соответственно, в ходе изысканий для проектирования, строительства и эксплуатации возникает необходимость в учете факторов, которые оказывают существенное влияние на качество и долговечность возводимых зданий и сооружений. В свою очередь территория южных районов Дальнего Востока является сложной в отношении инженерно-геологических условий, в связи с чем учет всех возможных опасных геологических процессов позволяет обеспечить длительную безаварийную эксплуатацию вновь возводимых объектов. Помимо проведения геологических и геодезических изысканий, предшествующих строительству и позволяющих оценить наличие опасных геологических процессов, необходимо применение численных методов моделирования для возможности прогнозирования и учета влияния данных процессов на строящиеся объекты при возможном ухудшении инженерно-геологических условий.

**1. Инженерно-геологические условия южных районов ДФО.**

Инженерно-геологические условия районов Дальнего Востока в зоне сезоннопромерзающих грунтов, характеризуется условиями, где основная хозяйственная деятельность и застройка осуществляются в пределах равнин, с широко развитой речной сетью, холмах и склонах холмов, низких хребтов и их склонах, а также на побережье, при этом используется существующий деятельный слой грунта, распространенный в данной местности [1,2,3].

В таблице 1 приведены данные по распространению грунтов в населенных пунктах южных районов Дальнего Востока, имеющих значение при строительстве [3,4].

Таблица 1

**Распространение грунта по ГОСТ 25100-2020 «Грунты, Классификация».**

Населенный пункт	Наименование грунтов, % территории ДВ						Итого
	Щебнистый и дресвяный грунты с суглинистым и супесчаным заполнителем	Суглинок и супесь щебенистые и дресвяные	Суглинок и супесь с щебнем и дресвой	Гравийно-галечниковые грунты с супесчаным и суглинистым заполнителем	Глина, суглинок, супесь гравелистые и галечниковые	Глина, суглинок, супесь с гравием и галькой	
Владивосток	40	15	10	-	5	-	70
Уссурийск	-	-	-	5	15	-	20
Арсеньев	-	-	-	15	30	20	65
Находка	35	10	10	-	5	-	50
Большой Камень	15	20	10	-	5	-	60
Дальнегорск	50	20	10	5	-	-	85
Хабаровск	10	10	-	-	5	-	25
Комсомольск-на-Амуре	-	-	-	15	25	-	40
Биробиджан	-	15	-	-	25	-	40
Благовещенск	-	-	-	5	5	10	20
Южно-Сахалинск	10	15	-	15	15	-	55

Строительство в населенных пунктах южной части Дальнего Востока осуществляется с учетом рельефа на равнинной части территории города, а также на склонах холмов и сопок, из которых сложены центральные улицы, на значительной части территорий, расположенных на равнинах и низменностях, в населенных пунктах преобладают аллювиальные, озерно-аллювиальные и озерно-болотные голоценовые отложения. В таблицах 2,3 представлены физико-механические характеристики грунтов, распространенных в равнинной и холмистой частях города [3,4].

Таблица 2

**Физико-механические характеристик грунтов на равнинной территории южных районов ДФО**

Вид грунта		Показатели характеристик грунта (aQ4; laQ3; alQ2; lQ1):						
		W, %	Ip, %	IL, %	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	e	C, кПа	$\phi$ , град
Глина	твердая	23	20	0,09	2,00	0,68	81	21
	тугопластичная	27	19	0,33	1,94	0,77	45	17
	мягкопластичная	36	21	0,61	1,86	0,97	24	15
Сугинок	полутвердый	22	13	0,11	2,02	0,64	60	23
	тугопластичный	25	13	0,38	1,98	0,71	40	20
	мягкопластичный	28	13	0,60	1,95	0,77	24	12
	текучепластичный	32	10	0,95	1,90	0,86	11	15
Супесь	пластичная	25	7	0,06	1,97	0,69	27	30

Таблица 3

**Физико-механические характеристик грунтов на холмистой территории южных районов ДФО**

Вид грунта (dQ)		Показатели характеристик грунта						
		W %	Ip	IL	$\rho \square 3/A < 3$	e	C, кПа	$\phi^\circ$
Глина	твердая	23	20	<0	2,01	0,69	84	25
Суглинок	твердый	20	13	<0	2,02	0,61	69	27
	тугопл	24	12	0,35	2,01	0,66	43	22
Супесь	пластич.	22	6	0,16	2,05	0,61	33	32

Исходя из физико-механических характеристик грунта, а также гидрогеологических характеристик необходимо осуществлять оценку и принимать меры по предотвращению опасных геологических процессов. В частности, для условий южных районов ДФО представлен перечень опасных геологических процессов [3,4].

Таблица 4

**Оценка состояния геологической среды площадок строительства на территории муниципального образования г. Хабаровска и Хабаровского муниципального района**

Литологический состав грунтов (интервал глубин)	Подземные воды	Геологические процессы
От 0–3 до 15 м. Техногенные отложения (tQ4): намывные грунты; отвалы и насыпи грунтов, золоотвалы, свалки бытовых и строительных отходов	Техногенный водоносный горизонт в интервале глубин 0,5– 10 м	Техногенный литогенез Речная эрозия и затопление Овражная и

Литологический состав грунтов (интервал глубин)	Подземные воды	Геологические процессы
От 0–3 до 5–35 м. Аллювиально-озерные отложения: aQ4; laQ3; alQ2; lQ1): глины, суглинки, от полутвердых до текучепластичных, супеси пластичные пески пылеватые, мелкие, галечник и гравий водонасыщенные; горизонтально залегающие	Верховодка в глинистых грунтах на глубине до 5–15 м Постоянный водоносный горизонт в песках на глубине 6– 10 м	струйчатая эрозия Заболачивание: Подтопление Оползни на склонах террас и оврагов, в искусственных откосах насыпей Морозное пучение грунта Суффозия
От 5–35 до 60 м. Древние аллювиально-пролювиальные отложения (N2-Q1): глины, суглинки с гравием и галькой, водонасыщенные пески, галька, гравий	Постоянный водоносный горизонт на глубине более 20 м	

Поскольку большую часть территории застройки южных районов ДФО занимает аккумулятивный рельеф, при котором характерен равнинный рельеф, понижающийся к пойме больших и малых рек, большое влияние на гидрогеологическую обстановку влияет уровень грунтовых вод, в том числе в зависимости от уровня естественных водоемов [3,4,5,6].

Водный режим речной системы южных районов Дальнего Востока находится в прямой зависимости от количества осадков в различные сезоны. Для речной сети южных районов ДФО характерно незначительное весеннее половодье, значительные летне-осеннее паводки и малая зимняя межень, при этом максимальный уровень рек фиксируется в июле-сентябре, в период максимального уровня осадков, минимальный уровень наблюдается в феврале-марте. Для рек южных районов Дальнего Востока характерны периодические, раз в 5-10 лет значительные паводки, при этом наблюдается превышение уровня воды над меженью на 4-6,5 м [3,4].

Графики изменения уровня воды в речной сети южных районов Хабаровского края ЕАО и Приморского края реки Амур у г. Хабаровск за период 100-летнего наблюдения представлены на рис. 1 [3,4,5].

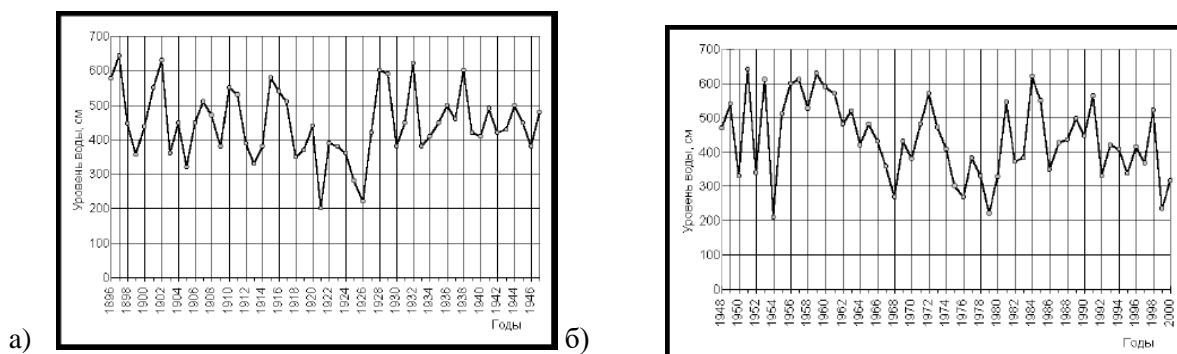


Рисунок 1. Изменение суммарного уровня речной сети южных районов ДФО за периоды: а) 1896-1946, б) 1948-2000.

Подземные воды. В 2015 г. в южных районах ДФО распространение подземных вод имело следующий вид:

1. На глубине 0-2 м –58% территории;
2. На глубине 2-5 м –32% территории;
3. На глубине 5-10 м –10% территории.

При этом следует выделить ряд водоносных слоев на территории южных районов ДФО:

1. Водоносный горизонт современных аллювиальных отложений, расположенный в долинах рек и ручьев. Данный слой расположен в пойме и вдоль береговой линии крупных рек и водоемов, в низменностях. Водовмещающие породы – супесь, песок, гравий, галька. Слой расположен на глубине от 0,3 м от дневной поверхности, мощность слоя - 10-15 м.

2. Водоносный горизонт полицен-нижнечетвертичных отложений, водовмещающие породы – песок, гравий, галька. Слой расположен под глинистыми и аллювиально-озерными отложениями, на глубине 1-2 м от дневной поверхности, толщина слоя 10-30 м.

3. Водоносный горизонт палеоген-неогеновые отложения, расположен в местах повышения рельефа и равнинах. Водовмещающие породы – пески, галечники глины и пласты бурого угля. Слой расположен на глубине 5 м от дневной поверхности грунта. В местах выхода данного горизонта на поверхность происходит массовая подпитка горизонта атмосферными осадками. Зафиксировано негативное влияние данного водоносного горизонта на подземные конструкции и сети в местах его распространения.

4. Водоносный горизонт трещино- и пластово-трещинных вод палеозойских и мезозойских пород расположен по склонам холмов и береговых обрывов. Слой располагается на глубине 0,5-12 м от дневной поверхности. Отмечено подтопление данным водоносным горизонтом подземных частей зданий и сооружений, расположенных на возвышенностях в Центральной и Краснофлотской части г. Хабаровска.

5. Техногенный водоносный горизонт на глубине 0,1 – 7 м от дневной поверхности грунта [2,3,4].

В связи с особенностями гидрогеологических условий и вследствие частых паводковых явлений на реках на территории южных районов ДФО и нередко ситуации, при которых предзимнее понижение уровня подземных вод (УВП) в предзимний период не успевает снизиться до минимальных значений, в связи, с чем нередко наблюдается «перехлест» фронтом промерзания грунтовых вод, находящихся выше, чем должны быть в данный период года (рис. 2) [1,2,3,5].

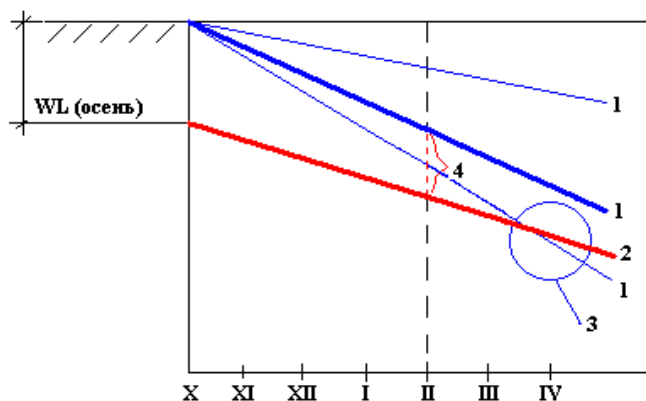


Рисунок 2. Графики промерзания и уровня подземных вод в зимний период:  
 1- возможные тренды в зависимости от скорости промерзания грунта;  
 2 – тренд УПВ; 3 – “захлест” фронтом промерзания положения УПВ;  
 4-расстояние от фронта промерзания до УПВ.

2. Оценка влияния изменения влажности на характеристики основания.

Большая влажность грунта негативно влияет на физико-механические характеристики грунта, значительно снижая его показатели. На рис. 3 приведены физико-механические характеристики грунтов, распространенных на строительных площадках южных районов Дальнего Востока и из физико-механические характеристики в зависимости от влажности [1,3,6,7,8].

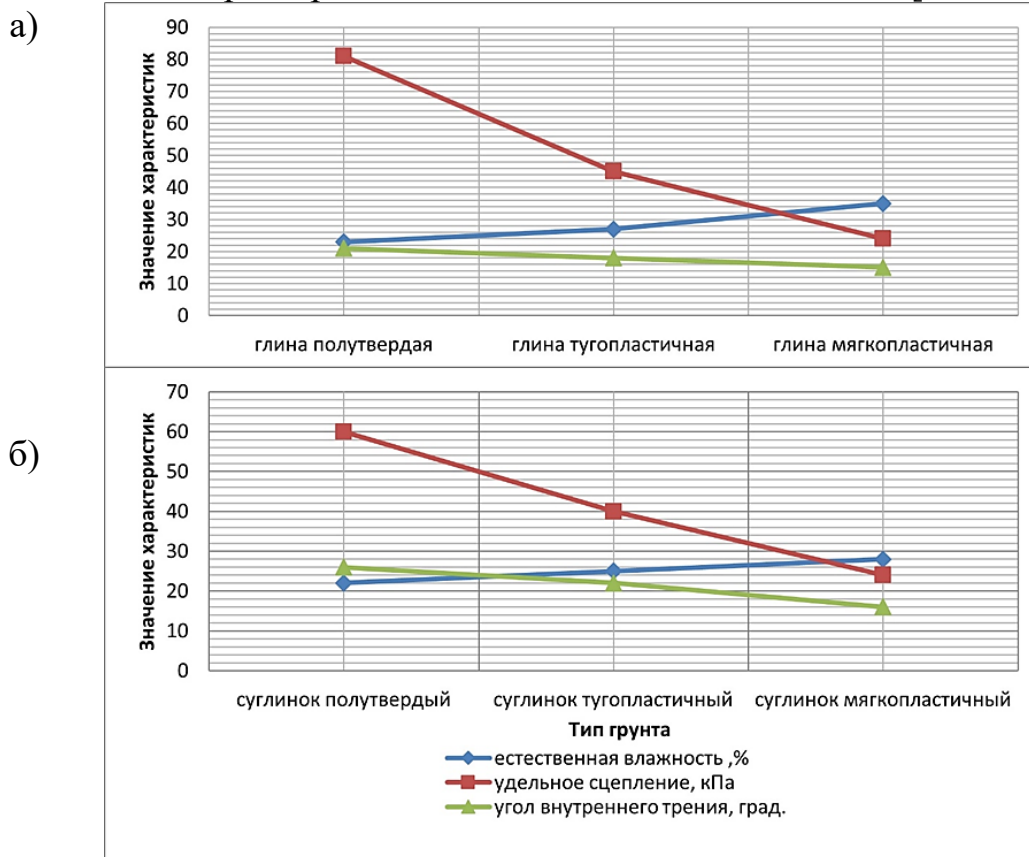


Рисунок 3. Физико-механические характеристики: а) глинистых грунтов при изменении естественной влажности 23-35% б) суглинков при изменении естественной влажности 22-28%.

В рамках изучения влияния снижения характеристик грунта на модели фундамента воздействия внешних нагрузок выполнены лабораторные исследования с изменением влажности грунта [7,8]. В качестве модели фундамента использовались имитации свайного фундамента, распространенного при строительстве в регионе [9].

Для выполнения исследований был изготовлен стенд размерами 1,2x0,6x0,9 м (рис. 4), заполненный грунтом (суглинком), с начальной влажностью 26 %, в дальнейшем при проведении опытов влажность грунта увеличивалась до 31 %, плотность грунта в стенде задана максимально близкой к естественной. Грунт для исследований был взят со строительного участка, расположенного в южной части Хабаровского края, в зоне распространения аллювиальные, озерно-аллювиальные и озерно-болотные голоценовые отложения (таблица 5). Для размещения модели фундамента в грунте пробуривались отверстия. Модель свайного фундамента заглублена в грунт на глубину 65% от мощности слоя грунта.

Вертикальные и горизонтальные перемещения модели фундамента фиксировались с помощью индикаторов часового типа [7,8].

Таблица 5

**Физико-механические характеристик грунтов южных районов  
Хабаровского края**

Вид грунта		Показатели характеристик грунта						
		(aQ4; laQ3; alQ2; lQ1):						
		W %	Ip %	IL %	$\rho$ г/см <sup>3</sup>	e	C, КПа	$\phi$ град
Сугинок	полутвердый	22	13	0,11	2,02	0,64	60	23
	тугопластичный	25	13	0,38	1,98	0,71	40	20
	мягкопластичный	28	13	0,6	1,95	0,77	24	12
	текучепластичный	32	10	0,95	1,9	0,86	11	15

Схема устройства стенда приведена на рис. 4.

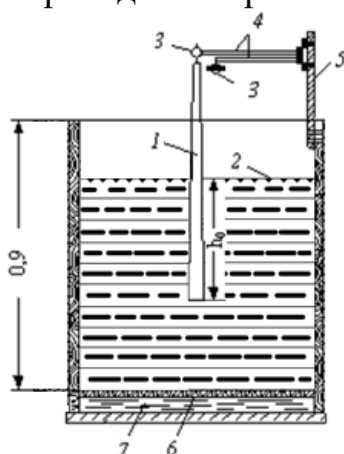


Рисунок 4. Схема устройства стенда. 1 - модель фундамента; 2 – грунт (суглинок); 3 – индикаторы часового типа; 4 – элементы оттяжек; 5- стойка для крепления; 6 – наружные стенки стенда; 8 – теплоизоляция стенки стенда; 6 – доски с отверстиями; 7 – ванна с водой.

В днище стенда установлена ванна, в процессе опытов заполняемая водой, подъем воды осуществляется трубчатой системой, расположенными на площади ванны. Уровень воды, установленный в ванне, постоянный; максимальная высота уровня по нижнему обрезу грунта, в процессе проведения опытов осуществлялось измерение величины перемещения модели фундамента. Шаг изменения влажности составлял 1 д.е., изменение влажности проводилось один раз в сутки [8].

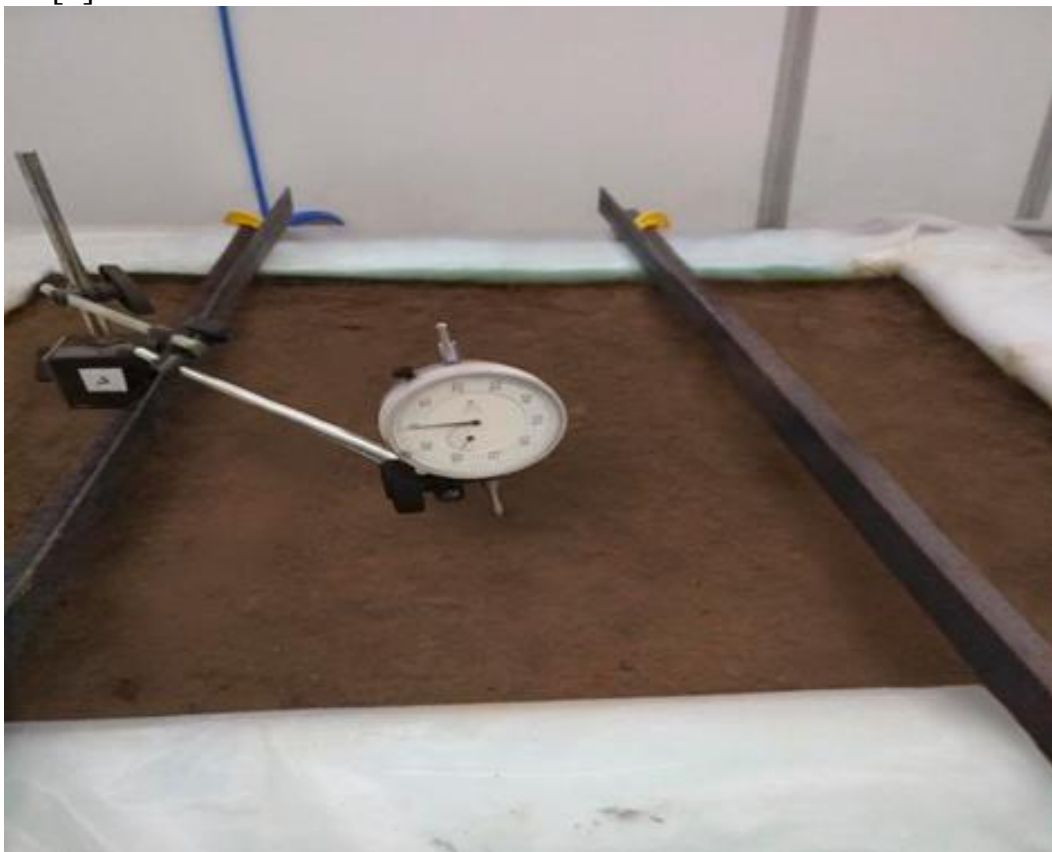


Рисунок 5. Устройство модели фундамента в грунте.

При выполнении исследований влажность ( $W$ ) и удельный вес грунта ( $\gamma$ ) изменяли в пределах следующих значений: 26 – 21 д.е., и 2,20 – 1,95 г/см<sup>2</sup> соответственно.

Вертикальные перемещения модели фундамента увеличиваются с увеличением влажности, при достижении максимальной влажности грунта, наблюдается монотонный рост деформаций. При этом достижения максимальной величины перемещения в течение одного измерения, что обусловлено малой величиной загрузки [8]. Направление сдвига фундамента было ориентировано в сторону размещения датчиков и оттяжек, сыгравших роль связей для модели фундамента [1,7,8].



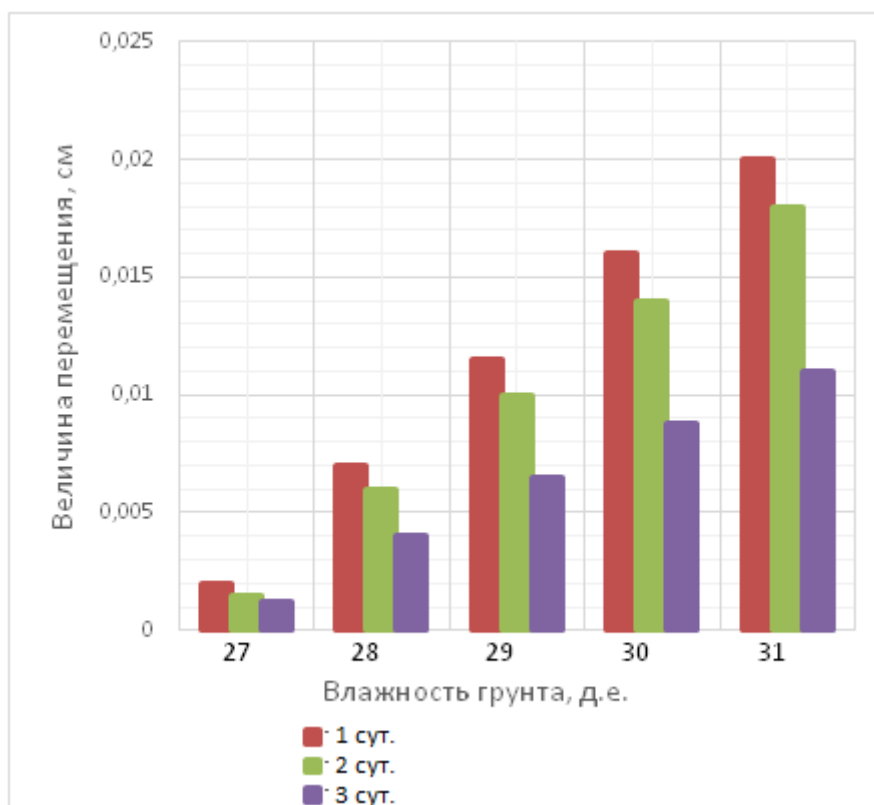


Рисунок 6. Результирующий график вертикальных перемещений модели фундамента при увеличении значения влажности грунта.

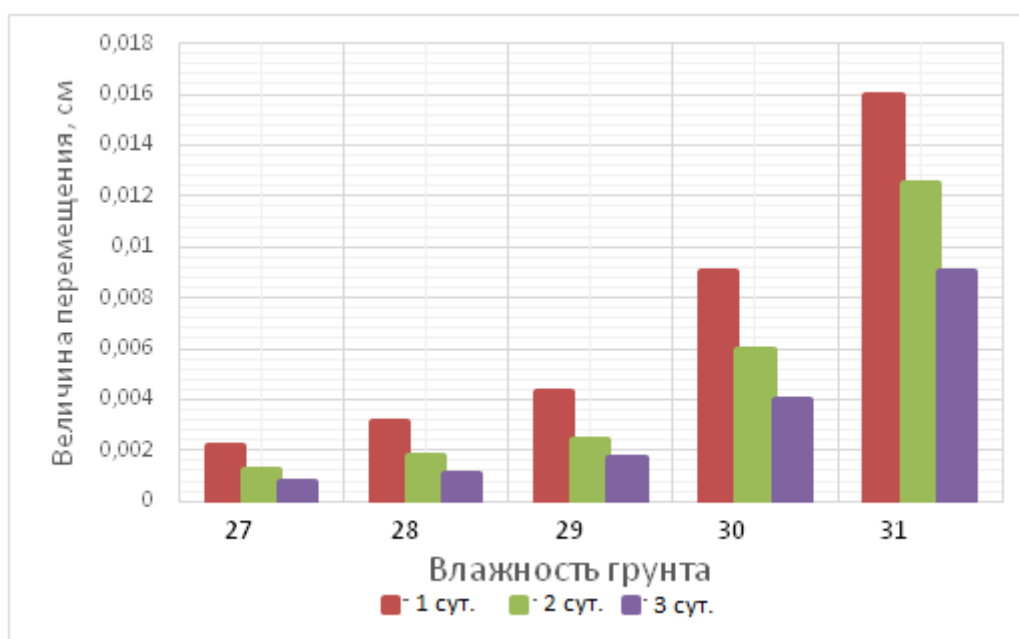


Рисунок 7. Результирующий график горизонтальных перемещений модели фундамента при увеличении значения влажности грунта.

Рост горизонтальных деформаций развивался с увеличением влажности грунта по экспоненциальной зависимости при росте вертикальной осадки [1,7,8,].

3. Геотехническое моделирование воздействия обводненного сезоннопромерзающего грунта основания на фундамент здания.

В связи с развитием технологий численного моделирование при проектировании оснований и фундаментов зданий и сооружений в рамках исследования были выполнены расчеты методом конечных элементов.

Рассматриваемый объект – здание клуба 1958 года постройки, состоящий из трех этажей, имеющий подвальное помещение с бомбоубежищем, фундамент ленточный бутовый, шириной 1050 мм.

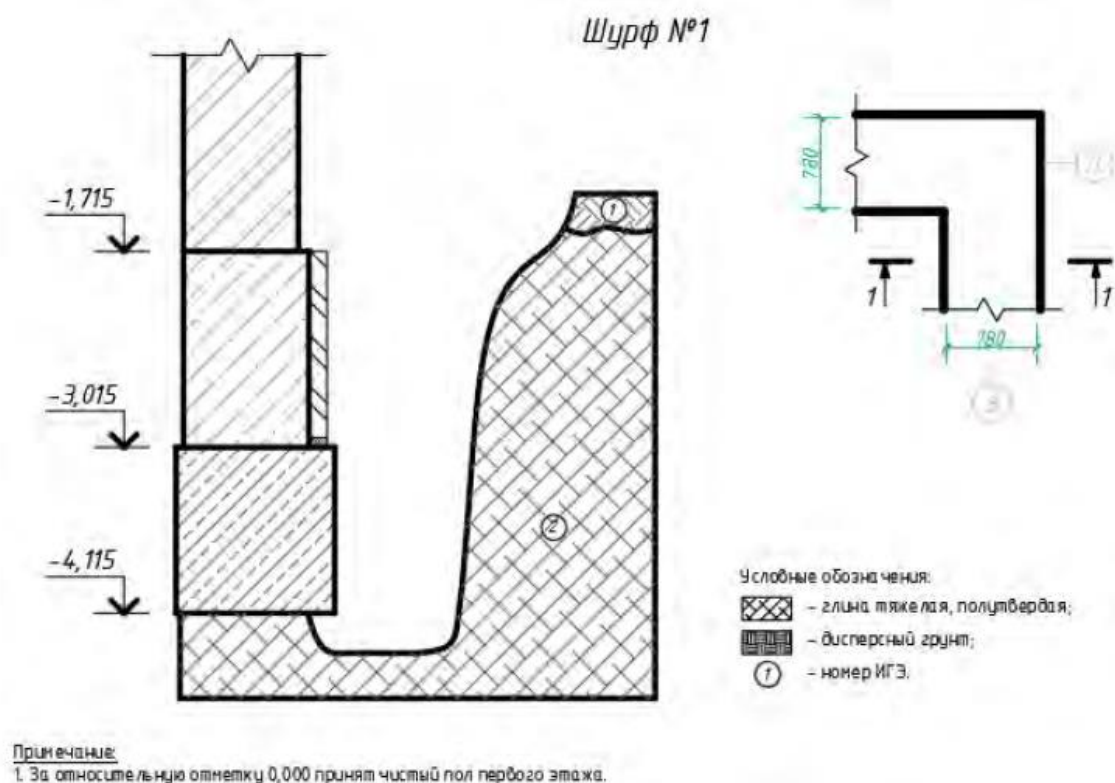


Рисунок 8. Схема шурфа

В таблице 6 приведены сведения об инженерно-геологических элементах.

Таблица 6

**Сведения об инженерно-геологических элементах**

№ ИГЭ	Наименование	Вид, структура	Мощность, м
Шурф № 1			
1	Дисперсный грунт	Слой дисперсного грунта, состоящий из неорганического и органического веществ и обладающий плодородием	до 0,15
2	Глина тяжелая, полутвердая	Мелкозернистая, пластичная	более 1, 0

Моделирование термодинамических процессов обусловлено необходимостью получения качественной и количественной картины промерзания-оттаивания в сооружении.

Характеристика содержания незамерзшей воды грунта, как функция температуры в мерзлых грунтах определяется в программном модуле «Termoground».

На основании анализа существующих зависимостей коэффициента содержания незамерзшей воды в глинистых грунтах, приведенных в таблице 7, были подобраны аппроксимирующие функции. Эти аппроксимирующие функции описываются общим уравнением следующего вида

$$K_w = \frac{a + b \cdot T}{1 + c \cdot T + d \cdot T^2} \quad (1)$$

где  $T$  – температура грунта;  $a, b, c, d$  – эмпирические коэффициенты, значения которых приведены в таблице 8.

Таблица 7

### Значение коэффициента $K_w$

Наименование грунта	Число пластичности, $I_p$	Влажность на границе раскатывания, $W_p$	Температура мерзлого грунта в градусах							
			-0.3	-0.5	-1	-2	-4	-6	-8	-10
Супесь	2-7	10-18	0.6	0.5	0.4	0.35	0.30	0.28	0.26	0.25
Суглинок	8-13	19-23	0.7	0.65	0.6	0.50	0.45	0.43	0.41	0.40
Суглинок тяжелый	14-17	24-27	-	0.75	0.65	0.55	0.50	0.48	0.46	0.45
Глина	>17	>27	-	0.95	0.95	0.65	0.60	0.58	0.56	0.55

Таблица 8

### Значение коэффициента $a, b, c, d$

Наименование грунта	Число пластичности, $I_p$	$a$	$b$	$c$	$d$
Супесь	2-7	1.9664329	-5.1234621	-15.943694	0.54780534
Суглинок	8-13	0.7862784	-0.29632052	-0.84511413	-0.001111114
Суглинок тяжелый	14-17	1.0845112	-0.96312635	-2.1640101	0.011453901
Глина	>17	1.2088655	-0.29148553	-0.814133	-0.017624055

На основании анализа существующих зависимостей приращения влажности от скорости промерзания в различных грунтах были подобраны соответствующие аппроксимирующие функции, используемые в программном модуле «Termoground» [10,11,12]. Средние значения аппроксимирующих функций зависимости приращения влажности  $\Delta w_1$  (д.е.) от скорости промерзания  $V$  (м/время) на границе фронта промерзания для различных грунтов описываются общим уравнением следующего вида:

$$\Delta W_{wf} = b \cdot e^{c \cdot V_f} \quad (2)$$

где  $V_f$  – скорость промерзания грунта,  $b, c$  – эмпирические коэффициенты. Значения коэффициентов  $b, c$  приведены в таблице 9.

Таблица 9

**Значение коэффициента  $b, c$**

Наименование грунта	Скорость, $V_f$	$b$	$c$
Суглинок	м/сутки	0.1581	-13.642
	м/декада	0.1581	-1.3642
	м/месяц,	0.1581	-0.4485
Глина	м/сутки	0.0961	-22.816
	м/декада	0.0961	-2.2816
	м/месяц,	0.0961	-0.7501
Песок средней крупности	м/сутки	0.0336	-17.744
	м/декада	0.0336	-1.7744
	м/месяц,	0.0336	-0.5918
Песок мелкий и пылеватый	м/сутки	0.0626	-22137
	м/декада	0.0626	-2.2137
	м/месяц,	0.0626	-0.7278

В рассматриваемом примере промерзание грунта рассчитывалось по месяцам в годовом цикле.

Анализ результатов геотехнического моделирования теплофизического состояния конструкции фундамента.

На основании представленного шурфа (рис. 8) составлена расчетная схема конструкции (рис. 9) и расчет промерзания грунта.

Ввиду наличия высокого уровня грунтовых вод промерзание грунта достигает подошвы фундамента. В связи с этим высокая вероятность деформаций фундамента в связи с пучением грунтов, поскольку в основании находятся глинистые переувлажненные грунты [10,11,12,13].

Анализ результатов геотехнического моделирования напряженно-деформированного состояния конструкции фундамента.

На основании представленного шурфа на рисунке 8 составлена расчетная схема конструкции (рис. 10а). Деформации фундамента под воздействием сил пучения достигают 12 см. (рис 10б).

На основании представленного шурфа (рис. 8) составлена расчетная схема конструкции (рис. 9) и расчет промерзания грунта.

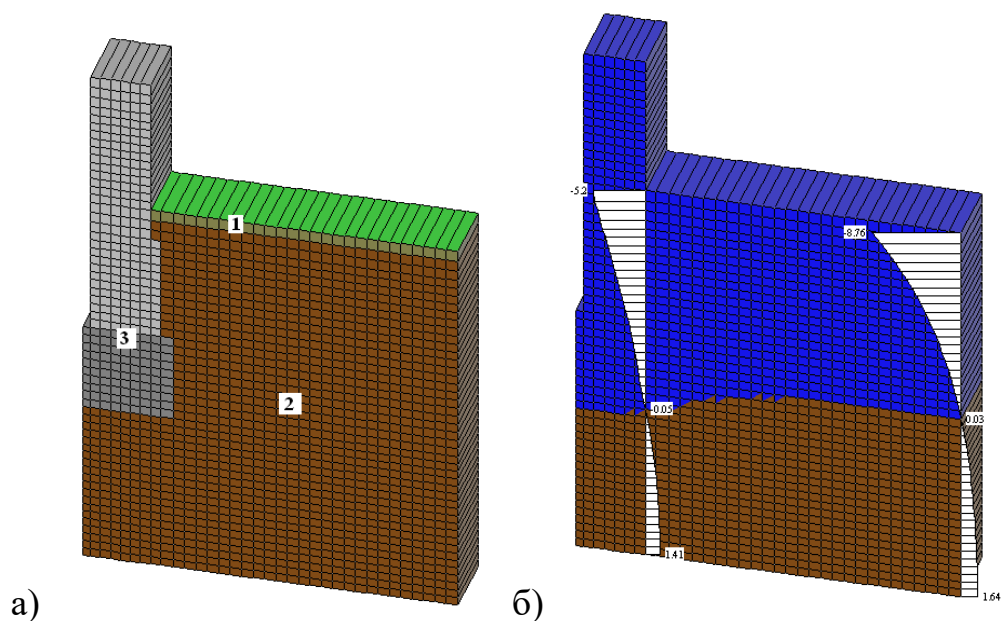


Рисунок 9. Расчетная схема: а) конструкция: 1 – дисперсный грунт; 2 – глина тяжелая полутвердая; 3 – фундамент здания; б) Промерзание грунта.

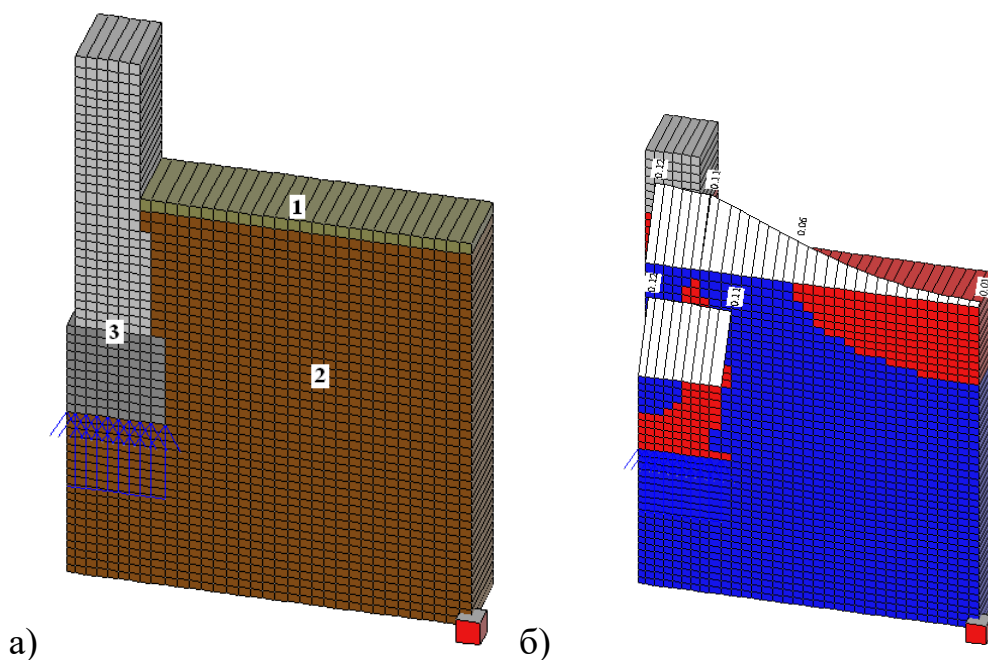


Рисунок 10. а) Расчетная схема конструкции: 1 – дисперсный грунт; 2 – глина тяжелая полутвердая; 3 – фундамент здания; б) Деформации в различных частях конструкции с зонами упругих и пластических деформаций: синий цвет – упругие деформации; красный цвет – пластические деформации.

### Заключение

Помимо выполнения физических и численных расчетов по фактическим характеристикам целесообразно выполнение расчетов с численным моделированием и с учетом негативного развития выявленных факторов на участках строительства и реконструкции.

В рамках выполнения изысканий на площадках строительства целесообразно осуществлять паспортизацию данных участков для возможности выполнения прогнозов, с учетом возникновения или развития негативных факторов.

Для повышения качества изысканий и выявления факторов сокращающий жизненный цикл зданий и сооружений возможно применения мероприятий по мониторингу участков в пределах застройки.

### Список литературы

1. СП 24.13330.2021. Свайные фундаменты. – М.; Российский институт стандартизации 2022. – 78 с.
2. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. – М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2016. - 186 с.
3. Подгорная, Т.И. Оценка природных условий территорий для градостроительства: учеб. пособие. Хабаровск, 2007. 135 с.
4. Инженерная геология СССР. В 8-ми томах. Т 4. Дальний Восток. Под ред. Е.П. Чаповского. М. 1977, 502 с.
5. СП 131.13330.2020. "СНиП 23-01-99\* Строительная климатология". - М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2021. – 160 с.
6. Кудрявцев С.А. Влияние миграционной влаги на процесс морозного пучения сезонно промерзающих грунтов. Реконструкция городов и геотехническое строительство. Юбилейное издание, посвященное 65-летию профессора В.М.Улицкого. Санкт-Петербург. 2003-2004. - С. 233-240.
7. ГОСТ 25100 – 2020. Грунты. Классификация. – М.; Стандартинформ, 2020. – 38 с.
8. ГОСТ 30416 – 2020. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения. – М.; Российский институт стандартизации, 2021. – 15 с.
9. Кудрявцев С.А., Шестаков И.В., Петерс А. А., Численное моделирование при реконструкции и ремонте линейных сооружений на буронабивных свайных фундаментах в сезоннопромерзающих грунтах Дальнего Востока, Вестник ТОГУ. 2016. № 2(41). С. 65-74.
10. Kudriavtsev S., Berestianyi I., Goncharova E., Valtseva T., Mihailin R. Motorway structures reinforced with geosynthetic materials in polar regions of Russia. Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference. Ser. "Proceedings of the 24th International Ocean and Polar Engineering Conference, ISOPE Busan" 2014. С. 1141-1143.
11. Кудрявцев С.А., Берестяный Ю.Б., Вальцева Т.Ю. Усиление пути для пропуска тяжеловесных поездов. Путь и путевое хозяйство. 2008. № 1. С. 27-29.
12. Kudryavtsev S., Borisova A. The research of the freezing and thawing process of the foundations with the use of season and cold-producing devices. MATEC Web of Conferences. 2018. С. 03040.
13. Kudryavtsev S.A., Kazharsky A.V., Goncharova E.D., Kotenko Z.I.,

Grigoriev D.O. Embankment on permafrost eastern polygon of Baikal-Amur mainline. Proceedings of the International Scientific Conference Transportation Geotechnics and Geoecology (TGG-2017). Сер. "Procedia Engineering" 2017. С. 774-782.

**Люй Сяокай**  
**ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕЙСМОСТОЙКИХ ЗДАНИЙ**  
**РОССИИ И КИТАЯ**

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет СПбГАСУ, Кафедра металлических и деревянных конструкций, 2-я Красноармейская ул., д. 4, г. Санкт-Петербург, Россия, 190005, Научный руководитель: Савин Сергей Николаевич*

**Аннотация.** Нормы и правила, касающиеся сейсмического проектирования сооружений, в значительной степени отражают практический инженерный опыт и уровень научных исследований в области сейсмостойкости в данной стране. Передовые концепции сейсмического проектирования могут эффективно смягчить сейсмический ущерб и снизить стоимость проектирования. Прежде всего, необходимо правильно понять недостатки Китая и России в сейсмическом проектировании, а затем в процессе развития исключить эти недостатки, изучая на примере третьих стран передовые теории обеспечения сейсмомбезопасности, с тем, чтобы на основе наиболее передовых и эффективных решений сделать нормы проектирования зданий и сооружений в сейсмоактивных районах более совершенными.

В данной статье проводится анализ и сравнение действующих норм сейсмического проектирования зданий в Китае и России на макроуровне с точки зрения уровня и целей сейсмозащиты, методов проектирования, регулярности строительных конструкций и выбора строительных материалов, а также обобщаются сходства и различия между нормами сейсмического проектирования двух стран с целью создания рекомендаций для сейсмического проектирования будущих инженерных сооружений.

**Ключевые слова:** строительные конструкции; сейсмические нормы и правила; сейсмическое проектирование; коэффициенты сдвига; спектры реакции; сейсмические коды.

Начиная с XXI века и по настоящее время почти все страны с разной степенью периодичности испытывают сейсмическую активность, которая наносит значительный ущерб их экономическому состоянию и личной безопасности жителей. Именно поэтому нарастание сейсмической активности и связанный с ней ущерб вызывают все более широкую озабоченность общественности. В настоящее время слишком многие катастрофические разрушения вызваны сейсмическими воздействиями, поэтому исследование механизма сейсмических воздействий для минимизации связанных с ними экономических потерь является актуальной проблемой, на которой должны

сосредоточиться инженеры-геофизики и проектировщики. Сейсмические нормы должны строго соблюдаться на всех стадиях жизненного цикла зданий и сооружений.

### **Уровни и задачи сейсмозащиты**

Цель сейсмозащиты - максимально возможное предотвращение разрушения зданий во время, и после землетрясений с помощью специальных мероприятий для защиты жизни и имущества людей. В связи со случайным характером проявления сейсмических явлений в течение срока службы здания и различных уровнях сейсмического воздействия на конструкцию, для сейсмозащиты должны использоваться различные средства и методы. В Китае принята "трехуровневая" система сейсмозащиты, которая заключается в следующем [4]:

- первый уровень - когда основное сооружение подвергается многократным землетрясениям (или малым землетрясениям) интенсивностью ниже интенсивности сейсмозащиты в данном регионе. При этом здание не повреждается и может продолжать использоваться без ремонта.

- второй уровень - при воздействии землетрясения, эквивалентного интенсивности сейсмической защиты (или среднего землетрясения), возможно повреждение конструкции, но сооружение может продолжать использоваться после общего ремонта. В этом случае допускается переход конструкции в неупругую фазу эксплуатации, но возникающие повреждения конструкции не являются критическими [5].

- третий уровень - при редком землетрясении, превышающем интенсивность сейсмической защиты (или известном как сильное землетрясение), когда конструкция не разрушается полностью, а сохраняет свои эксплуатационные качества без угрозы жизни человека. В это время конструкция имеет большую неупругую деформацию, которая должна контролироваться в пределах установленного Китайскими нормами диапазона величин. Китайские "три стандарта" можно кратко сформулировать так: "При малых землетрясениях нет повреждений, при средних землетрясениях есть возможность ремонта, а при больших землетрясениях нет разрушений".

Расположенная в северо-восточной части Евразии, Россия подвержена частым землетрясениям, поэтому в ней также установлены жесткие сейсмические стандарты. Российские сейсмические стандарты в основном включают два аспекта: сейсмическое проектирование и сейсмоусиление зданий с недостаточной фактической сейсмостойкостью.

При проектировании зданий должны учитываться действующие нормы сейсмического районирования, грунтовые условия, а также конструктивная система здания и свойства материалов несущих и ограждающих конструкций.

Сейсмическое проектирование зданий по российским нормам должно отвечать следующим требованиям:

- 1) Конструкция здания должна обладать достаточной прочностью и жесткостью, чтобы противостоять силе землетрясения.



2) Конструкция здания должна обладать энергопоглощающими свойствами, чтобы иметь возможность рассеивать энергию и снижать интенсивность сейсмической нагрузки.

3) Конструкция здания должна быть устойчивой и способной сохранять свою целостность во время землетрясения, снижая вероятность обрушения.

4) Конструкция здания должна быть хорошо стабилизирована и способна сохранять равновесие во время землетрясения, снижая вероятность опрокидывания.

Согласно российским сейсмическим нормам, сейсмоусиление должно выполняться для эксплуатируемых зданий, имеющих, по той или иной причине, дефицит сейсмостойкости. Основными методами сейсмоусиления являются следующие [1]:

1) увеличение сечения элементов и их соединений за счет присоединения к ним новых элементов;

2) введение дополнительных элементов (связей, ребер, диафрагм), уменьшающих расчетные длины несущих элементов конструкций и повышающих их устойчивость;

3) разгрузка конструкций за счет снятия части тяжелого оборудования или создание разгружающих консолей;

4) изменение схемы передачи нагрузки с помощью дополнительных распределительных устройств, в том числе автоматических, при управлении работой конструкции;

5) изменение закрепления концов стержней, например, шарнирного на жесткое, превращение однопролетных систем в многопролетные и т. д.;

6) устройство дублирующих элементов;

7) введение затяжек, шпренгелей, тяжей с созданием предварительного напряжения в конструкциях;

8) применение распорных устройств, снижающих расчетное усилие в сечениях элементов, а также подкосов, оттяжек, расчалок;

9) включение в совместную работу соприкасающихся элементов, например, плит с балками или фермами.

### **Методы сейсмического проектирования**

В Китае существуют различные методы сейсмического расчета для разных местностей или различий между севером и югом: метод расчета на основе несущей способности, метод расчета на основе структурной пластичности, метод расчета на основе потерь и энергии, метод расчета на основе характеристик/перемещений.

Основными элементами современного сейсмического проектирования, разработанного в рамках современной сейсмической теории, являются:

Рациональный выбор сейсмических воздействий для определения уровня прочности конструкции. Как правило, статистически значимое пиковое ускорение грунта используется в качестве маркерного значения для сейсмической активности региона (средней сейсмичности), а затем различные коэффициенты, например,  $R$  (коэффициент снижения сейсмической силы)

используются для получения различных ускорений движения грунта для расчета прочности конструкции. Эффективные сейсмические меры разрабатываются таким образом, чтобы конструкция обладала пластичностью, соответствующей  $R$ , используемой при проектировании.

Сейсмические меры для обеспечения пластичности конструкции. После разумного выбора уровня текучести и требований к пластичности конструкции необходимо принять меры, чтобы гарантировать, что конструкция действительно обладает требуемой пластичностью и может достичь цели сейсмического укрепления при средних и сильных землетрясениях. Сейсмические меры для системы включают следующие требования [4].

Прочная колонна и слабая балка - искусственно увеличивая сопротивление изгибу колонны относительно балки, таким образом, что в железобетонном каркасе при сильном землетрясении, пластический шарнир на конце балки появляется раньше, а пластическое вращение больше при достижении максимального нелинейного смещения. Пластический шарнир в конце колонны появляется с опозданием, а при достижении максимального нелинейного смещения вращение шарнира невелико, или даже пластический шарнир вообще не появляется.

Сильный сдвиг и слабый изгиб - повреждения сдвига в основном не обладают пластичностью, как только часть повреждений сдвига произойдет, эта часть будет полностью выведена из сейсмостойкости конструкции, для колонны конец повреждения сдвига также может привести к структуре местного или общего разрушения. Поэтому можно искусственно увеличить совместные значения сдвига концов колонн, концов балок и узлов, чтобы конструкция могла попеременно неупруго деформироваться при сильном землетрясении, и ни в одном из ее элементов не возникало сдвиговых повреждений.

Сейсмические конструктивные меры - Сейсмические конструктивные меры принимаются для того, чтобы детали, образующие пластичные шарниры, обладали достаточной способностью к пластической деформации и рассеиванию энергии, и в то же время обеспечивали целостность конструкции.

А в России для обеспечения сейсмостойкости зданий и сооружений методы исследования делятся на статический расчет, динамический расчет, расчет методом конечных элементов и метод прямых испытаний в лабораторных и натуральных условиях [3].

Статический метод основан на применении статических сил и моментов для расчета нагрузок от землетрясения. Он предполагает, что землетрясение действует на здание как статическая нагрузка, и позволяет определить силы и моменты, возникающие в конструкции.

Динамический подход основан на моделировании динамического поведения зданий во время землетрясений. При этом учитываются динамические характеристики землетрясений и реакция здания на эти нагрузки. Расчеты выполняются с использованием уравнений движения и методов численного интегрирования.

Метод конечных элементов - один из наиболее точных и часто используемых методов сейсмического анализа. Он основан на декомпозиции конструкции на множество мелких элементов и решении уравнений равновесия для каждого элемента. Этот метод позволяет учесть сложные геометрические и физико-механические характеристики материала конструкции.

Методология экспериментального анализа заключается в проведении физических испытаний моделей или реальных зданий для определения их поведения при сейсмических нагрузках. Это позволяет проверить и подтвердить результаты, полученные с помощью других аналитических и вычислительных методов.

Все эти методы имеют свои преимущества и ограничения. Выбор конкретного метода зависит от множества факторов, включая тип и размер здания, доступные ресурсы и требования к точности расчетов.

Не менее жесткие требования предъявляются и к материалам строительных конструкций, которые используются при возведении сейсмостойких объектов.

Материалы и конструкции, используемые в сейсмостойких зданиях, должны быть достаточно прочными и устойчивыми, чтобы выдерживать сейсмические нагрузки. Они должны быть способны противостоять деформации и повреждениям, чтобы обеспечить безопасность жильцов и защиту здания. Сейсмические нагрузки могут вызывать динамические деформации зданий. Поэтому материалы и конструкции должны быть достаточно гибкими и деформируемыми, чтобы поглощать энергию сейсмических колебаний и предотвращать разрушение. Материалы и конструкции должны быть способны поглощать и рассеивать энергию сейсмических колебаний, чтобы минимизировать их воздействие на здание, что может быть достигнуто с помощью специальных систем демпфирования, таких как амортизаторы или демпфирующие материалы. Материалы и конструкции должны быть огнестойкими и коррозионностойкими, чтобы обеспечить долговечность и безопасность здания. Они должны быть защищены от высоких температур и влажности, которые могут ослабить их прочность и устойчивость, и должны соответствовать сейсмическим нормам и стандартам, установленным строительной отраслью, которые включают требования к минимальной прочности, устойчивости и другим характеристикам, обеспечивающим сейсмостойкость здания [2].

Линейно-спектральный метод сейсмического анализа сооружений в настоящее время является основным в России и за рубежом. В некотором смысле это компромисс между статическими и динамическими методами. Как и в методе статического спектрального расчета, определяется сейсмическая инерционная нагрузка (сила), приложенная к центру тяжести массы  $m_i$ , и затем конструкция проектируется с учетом силы, которая будет приложена к конструкции в статическом режиме. При определении нагрузки учитывается динамическое поведение конструкции. Для этого движение системы разлагается по формам колебаний, выражается как сумма определенных движений (форм колебаний) [1].

$$y_i(t) = \sum_{j=1}^r \frac{m_{ij}}{x_{ij}(t)} = \sum_{j=1}^r y_{ij}(t) \quad (1)$$

Здесь  $y_i(t)$  - перемещение массы  $m_i$ , зависящее от времени  $t$ ;

$x_{ij}$  - коэффициент разложения движения по форме колебаний; ( $i$ -я компонента  $j$ -ого собственного вектора системы);

$o_j(t)$  - функция, определяющая изменение во времени движения по  $j$ -й форме колебаний.

$y_{ij}(t)$  - перемещение массы  $m_i$  в  $j$ -й форме колебаний.

$r$  - число степеней свободы системы.

Если мы считаем, что вся система движется по одной и той же форме колебаний, то все точки движутся синхронно, и форма колебаний не меняется со временем.

### **Выбор строительных материалов**

Учитывая выбор строительных материалов, Китай больше выступает за энергосбережение и защиту окружающей среды, точно так же, как предложил Генеральный секретарь Си Цзиньпин: “Зеленая вода и зеленые горы — это золотые горы и серебряные горы”. Расскажите о развитии Китая, мы предпочитаем, чтобы мы могли принести пользу будущим поколениям, а не слепо строить и строить. Выбор строительных материалов в Китае, как правило, зависит от следующих требований [5]:

**Прочность и устойчивость** - Прочность и стабильность строительных материалов являются их самыми основными эксплуатационными требованиями. Для несущих конструкций, таких как колонны и балки, необходимо выбирать материалы с достаточной прочностью, чтобы обеспечить структурную безопасность здания.

**Долговечность** - Строительные материалы должны быть способны противостоять длительному воздействию окружающей среды и эксплуатационным нагрузкам. Например, материалы для наружных стен должны быть водонепроницаемыми, устойчивыми к атмосферным воздействиям и коррозии, чтобы обеспечить долгосрочную эксплуатацию зданий [6].

**Изоляция и звукоизоляция** - Изоляция и звукоизоляция строительных материалов необходимы для обеспечения комфортной среды обитания. Звукоизоляционные материалы могут уменьшить передачу шума, а изоляционные материалы могут уменьшить теплопроводность.

**Охрана окружающей среды** - В современную эпоху, когда основное внимание уделяется устойчивому развитию, важно выбирать экологически чистые строительные материалы. Экологически чистые материалы должны сводить к минимуму загрязнение окружающей среды, снижать потребление энергии и быть пригодными для вторичной переработки.

**Первоначальная стоимость** - Первоначальная стоимость материалов является важным фактором, который следует учитывать при выборе строительных материалов. Иногда стоимость высокоэффективных материалов выше, в то время как недорогие материалы могут иметь определенные

эксплуатационные дефекты. Поэтому при выборе материалов необходимо всесторонне учитывать баланс между производительностью и стоимостью.

**Затраты на техническое обслуживание** - В дополнение к первоначальным затратам необходимо также учитывать затраты на техническое обслуживание материалов. Некоторые материалы могут требовать регулярного технического обслуживания и ремонта, в то время как другие могут использоваться в течение длительного времени без дополнительных затрат на техническое обслуживание. Поэтому при выборе материалов необходимо всесторонне учитывать затраты на их техническое обслуживание.

**Затраты на энергопотребление** - Некоторые материалы обладают хорошими теплоизоляционными свойствами, что может снизить энергопотребление зданий. Хотя первоначальная стоимость этих материалов может быть выше, экономия средств может быть достигнута за счет снижения энергопотребления при длительной эксплуатации.

**Потребление ресурсов** - Производство строительных материалов потребляет много энергии и ресурсов. Выбор материалов, которые могут снизить потребление ресурсов, например, использование переработанных материалов, может помочь снизить нагрузку на окружающую среду.

**Выбросы загрязняющих веществ** - В процессе производства некоторых строительных материалов образуются загрязняющие вещества, такие как углекислый газ и оксиды азота. Выбор низкоуглеродистых материалов может уменьшить загрязнение атмосферной среды.

**Переработка отходов** - После истечения срока службы строительных материалов образуется много отходов. Выбор материалов, пригодных для вторичной переработки или простых в обращении, может снизить воздействие отходов на окружающую среду.

Таким образом, основные моменты при выборе строительных материалов включают в себя эксплуатационные характеристики, стоимость и воздействие материалов на окружающую среду. При выборе строительных материалов необходимо всесторонне учитывать эти факторы, чтобы обеспечить качество, безопасность и эксплуатационную пригодность здания. Только делая разумный выбор, мы можем создавать высококачественные и экологически чистые здания.

Как мы все знаем, Россия охватывает Азию и Европу, и Россия богата ресурсами, нефтью и природным газом. Россия является одним из крупнейших производителей нефти и газа в мире, а ее запасы энергоресурсов являются одними из самых значительных в мире. Ресурсы России богаты и разнообразны, что также является важной поддержкой экономического развития России, и в зданиях также действуют строгие стандарты энергосбережения [3].

1) Требования к высокой прочности: Российские нормативы по строительным конструкциям предъявляют относительно высокие требования к прочности строительных материалов и конструкций, при этом необходимо учитывать такие факторы, как экстремальные климатические условия и землетрясения.

2) Тщательное детальное проектирование: Российские спецификации строительных конструкций предъявляют высокие требования к детальному проектированию зданий, и необходимо всесторонне учитывать функциональность, срок службы и эстетику здания.

3) Экологическая осведомленность: В российских нормативных актах по строительным конструкциям уделяется внимание охране окружающей среды, и существуют подробные правила по энергосбережению, сохранению тепла, вентиляции и другим системам жизнеобеспечения зданий.

Сравнивая идеи проектирования зданий в России и Китае, можно отметить, что одноэтапное проектирование в Китае не позволяет достичь цели трехуровневой защиты, одноэтапное проектирование сдерживает применение новых технологий, одноэтапное проектирование не способствует продолжению углубленного изучения структуры здания. Расчеты упруго пластических деформаций недостаточно, чтобы гарантировать "отсутствие разрушений при сильных землетрясениях". Российский метод спектрального анализа стоит перенять в Китае, а китайская трехуровневая защита имеет значительные преимущества и является передовой в международном масштабе, и ее следует использовать в России. Очевидно, что цель - "отсутствие разрушений при сильных землетрясениях" является обязательной. При этом неважно, совершенны ли технические средства или нет, и на сколько разработаны методы проектирования. Это не влияет на цель обеспечения безопасности жизни людей при редких землетрясениях, которую должна выполнять конструкция здания. Во-вторых, цель "ремонтопригодность при средних землетрясениях" экономически наиболее эффективна и обеспечивает безопасность строительной конструкции. И, наконец, требование "отсутствие ущерба от небольших землетрясений" является основным требованием к строительным конструкциям, которое гарантирует, что строительные конструкции, в основном, находятся в упругом состоянии при многократных землетрясениях, что позволяет избежать в максимально возможной степени экономических потерь. Напряженное состояние конструкции имеет четкую градацию на трех уровнях защиты, что способствует реализации метода проектирования [6].

### **Заключение**

Сейсмическое проектирование каждой страны основано на базовых требованиях, уровне экономического развития и существующих традициях в области расчета и проектирования поэтому мы не можем однозначно оценить преимущества той или иной нормативной системы обеспечения сейсмобезопасности. В данной работе дается краткое представление о китайских и российских кодексах с точки зрения целей сейсмозащиты и методов сейсмического проектирования. Поэтому можно надеяться, что проведенный анализ послужит целям дальнейшего совершенствования данного направления исследований и повышению надежности и точности оценок сейсмобезопасности в обеих странах.

## Список литературы

1. СП 14.13330.2018 Проектирование в сейсмических районах. Москва. Стандартинформ. 2018
2. Савин, С.Н. Сейсмобезопасность зданий и территорий : учебное пособие / С. Н. Савин, И.Л. Данилов. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 240 с. — ISBN 978-5-8114-1880-0. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/212150> (дата обращения: 24.01.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. А.М. Шаторная, В.А. Тарасов, А.В. Барабаш, О.В. Жувак, В.А. Рыбако, Российские и зарубежные нормы сейсмического проектирования зданий и сооружений // Alfabuild. 4(6). 2018. С. 92-114
4. 《建筑与市政工程抗震通用规范[附条文说明]》 GB 55002-2021
5. 吴霞, 李云; 谈中日现行建筑抗震设计规范异同, 文章编号: 1009-6825(2013)30-0024-02
6. 杜晓丹, 中日建筑结构抗震设计规范中关于底部剪力法的比较研究, 石家庄铁道大学工程硕士学位论文

## Попова Марина Владиславовна, Тужилова Мария Валерьевна АВАРИЙНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЯ ШКОЛЫ

*Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, кафедра «Строительные конструкции», г. Владимир, ул. Горького, 87, 600000*

**Аннотация:** Объект исследования – общеобразовательная школа на 1100 мест в г. Москве. По результатам расчета не зафиксированы разрушения конструкций здания, усилия в элементах не превышают эксплуатационных, что обеспечивает их прочность. Перемещения, полученные в результате аварийного воздействия, не превышают предельно допустимые в 1/30 пролета, что позволяет сделать вывод о работе железобетонных конструкций в зоне пластических деформаций без потери целостности и значительном перераспределении усилий. Устойчивость здания при аварийном воздействии обеспечивается. Эксплуатационного армирования достаточно для противодействия аварийной ситуации без разрушения конструкций.

**Ключевые слова:** прогрессирующее обрушение, аварийное воздействие, разрушение конструкций.

## Введение

Вопрос сохранения конструкций зданий и сооружений при аварийном воздействии возникает всё чаще. Связан он, прежде всего, с повышением уровня безопасности населения. Безопасность населения встает под угрозу из-за обрушения и выхода из строя конструкций зданий или сооружений в результате

чрезвычайных ситуаций. Характер чрезвычайных ситуаций достаточно разный и непредсказуемый. Наибольшие разрушения конструкций вызывают аварии антропогенного характера [1].

В связи с последними событиями проблема безопасности жизни населения возрастает. В случае чрезвычайной ситуации в зданиях и сооружениях необходимо предотвратить человеческие потери, поэтому обеспечение конструктивной безопасности зданий и сооружений при аварийных воздействиях актуально на данный момент.

Аварийное воздействие – ситуация, соответствующая исключительным условиям работы сооружения [2], которые могут привести к существенным социальным, экологическим и экономическим потерям. В данной статье рассмотрены ситуации с исключением из работы вертикальных несущих элементов.

Расчет проводится для здания школы, находящейся по адресу: Российская Федерация, г. Москва, городское поселение Щербинка.

Конструктивные решения (рис. 1): элементы из стали С245, опора из профильной трубы. Колонны и пилоны выполнены из бетона В30 F75 с шагом от 3,20 м до 7,40 м различного сечения. Армирование колонн – отдельными стержнями, с рабочей продольной арматурой класса А500С, поперечной и соединительной класса А240. Плиты перекрытия выполнены из бетона В30 F75 толщиной 220 мм пролетом от 3,20 м до 7,40 м. Армирование плит – отдельными стержнями, с рабочей продольной арматурой класса А500С, поперечной и соединительной класса А240. Фундаменты – монолитная железобетонная плита толщиной 500 мм из бетона В30 W8 F150 на естественном основании [3].

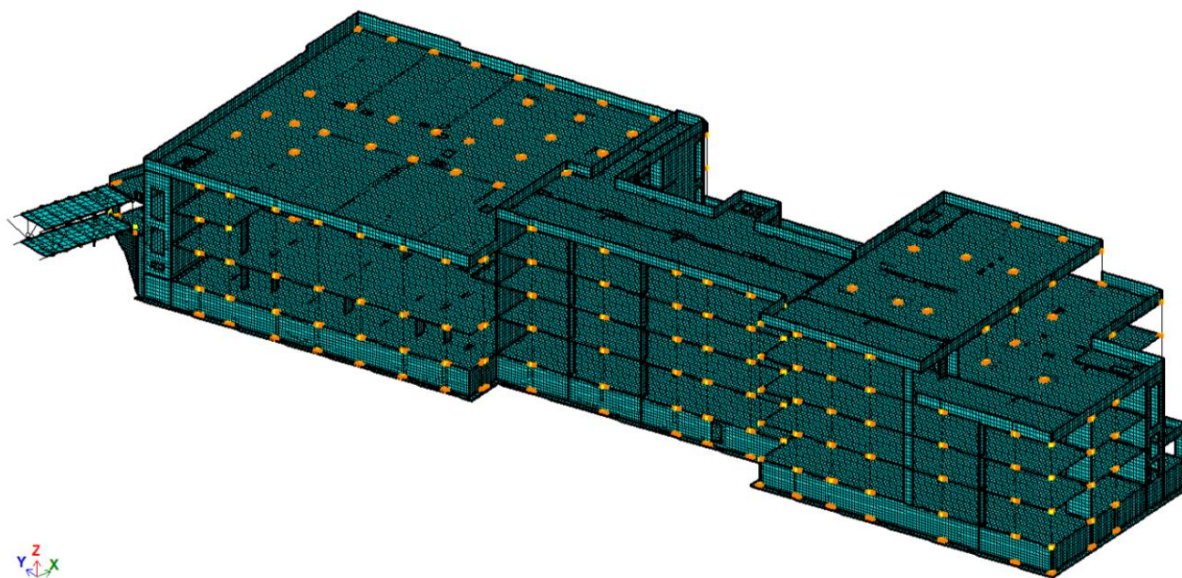


Рисунок 1. Общий вид конструкций здания школы



При расчете конструкций требуется учитывать аварийную ситуацию, соответствующую исключительным условиям работы сооружения, которые могут привести к существенным потерям [4].

В качестве расчетных случаев приняты (рис. 2):

- колонна подвала в осях 5/Д со стороны коридора спортивного зала;
- колонна подвала в осях 20.1/Д.

В качестве аварийного воздействия рассматриваются локальные разрушения несущих вертикальных элементов (отказ одного элемента). В результате этого воздействия, при особом сочетании нагрузок, локальное разрушение вертикальных элементов не должно вызвать истощение несущей способности остальных элементов каркаса.

Согласно требованиям расчета на аварийные воздействия, учитываются длительные части нормативных нагрузок, учет прочности материалов принимается по пределу прочности для арматуры и бетона.

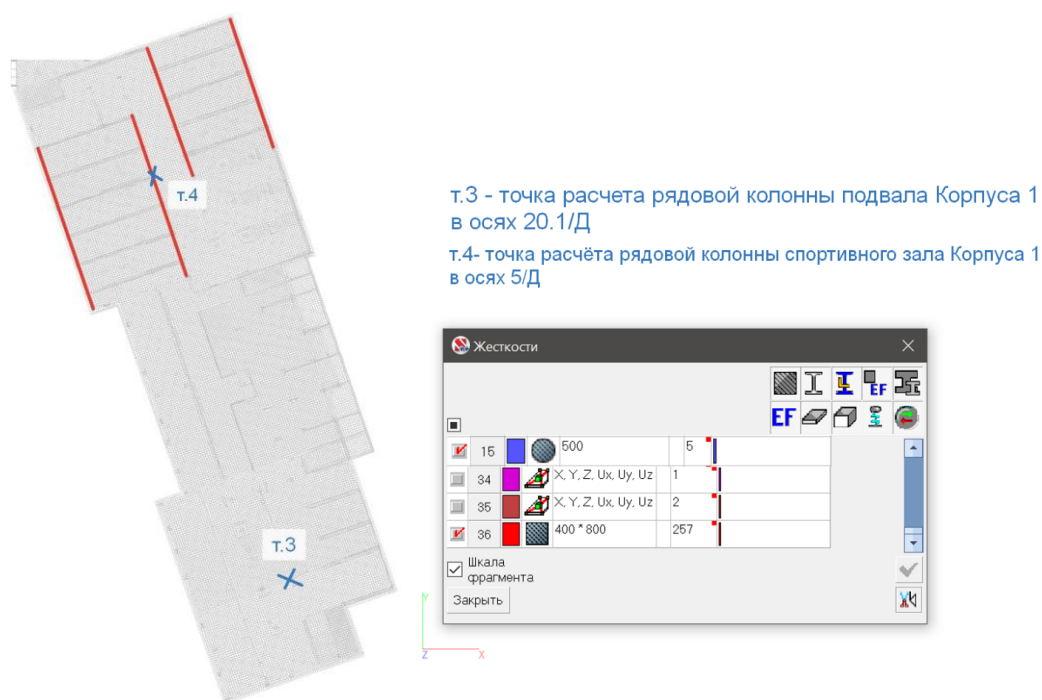


Рисунок 2. Схема расчетных участков и распределительных балок

Расчет участка т. 3.

Для обеспечения сопротивления конструкций прогрессирующему обрушению от аварийного воздействия на рядовую колонну [5] требуется выполнить следующие условия (рис. 3-8):

- прочность соседних вертикальных колонн должна обеспечиваться с учетом возросшей грузовой площади и соответственно усилий;
- прочность перекрытий должна обеспечиваться без учета требований по трещиностойкости, величина прогибов не регламентируется.

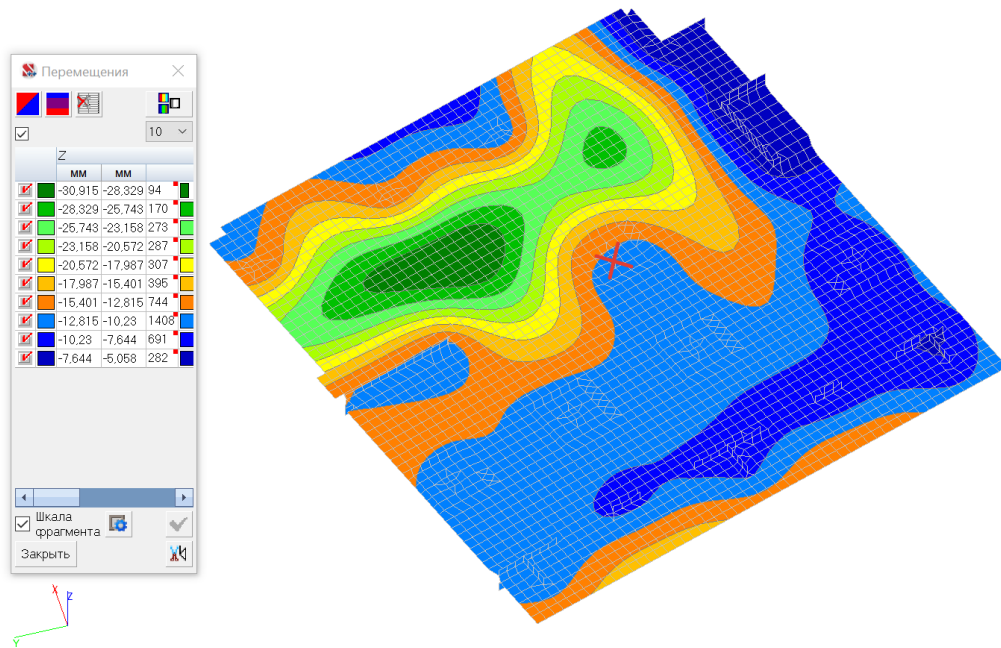


Рисунок 3. Вертикальные перемещения до аварийного воздействия

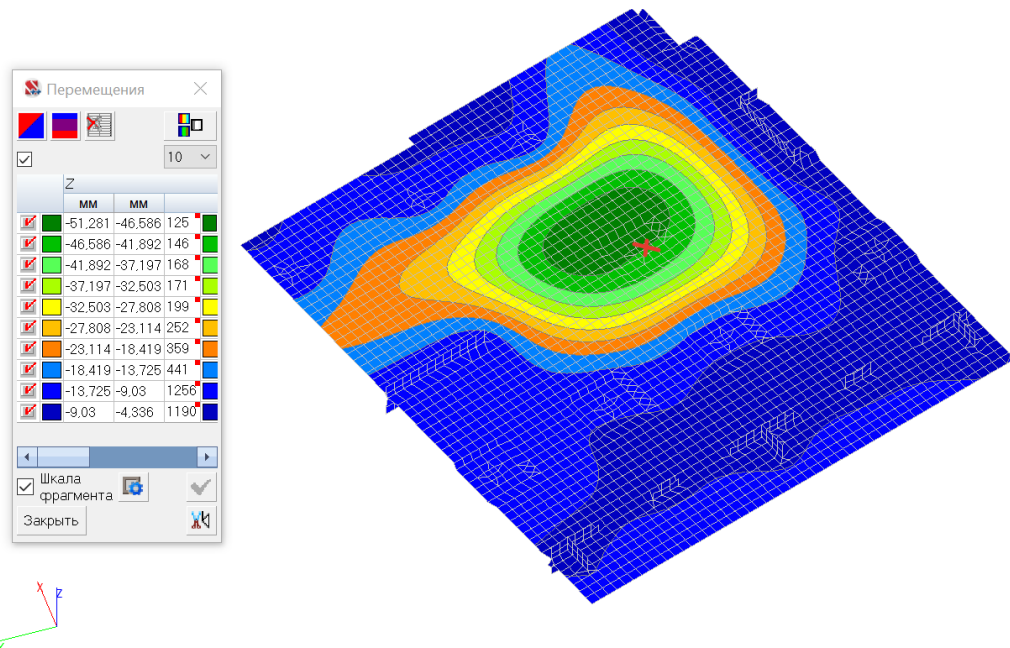


Рисунок 4. Вертикальные перемещения после аварийного воздействия

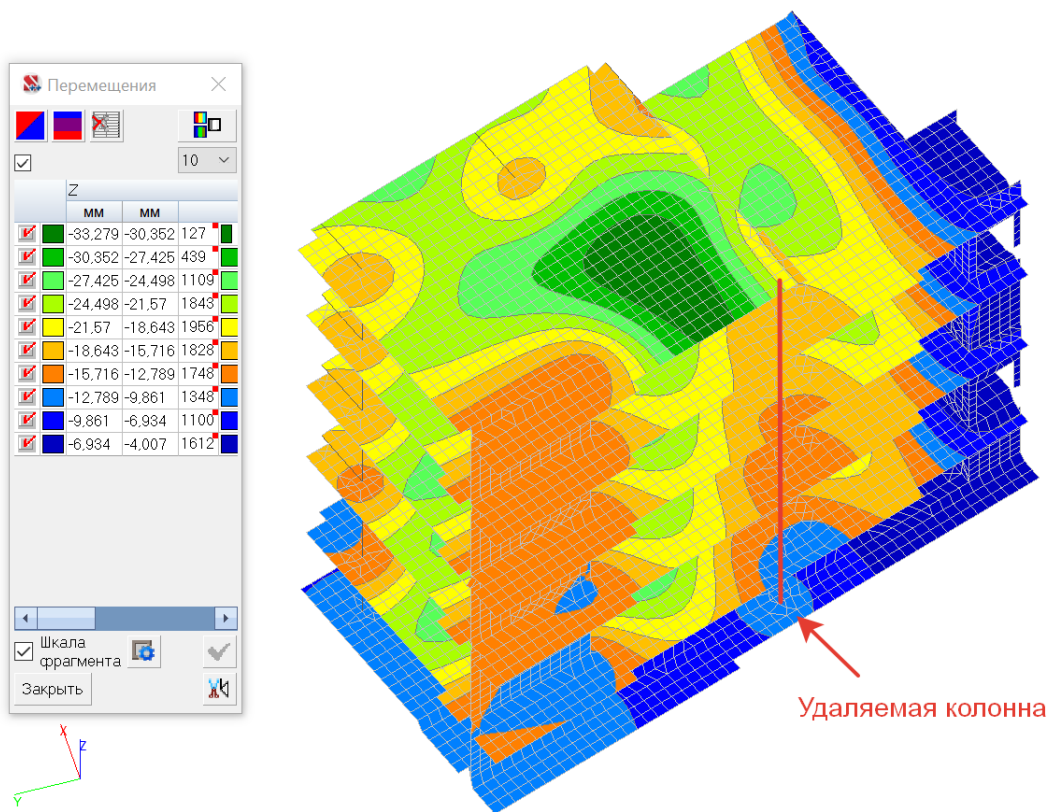


Рисунок 5. Вертикальные перемещения полной схемы до аварийного воздействия

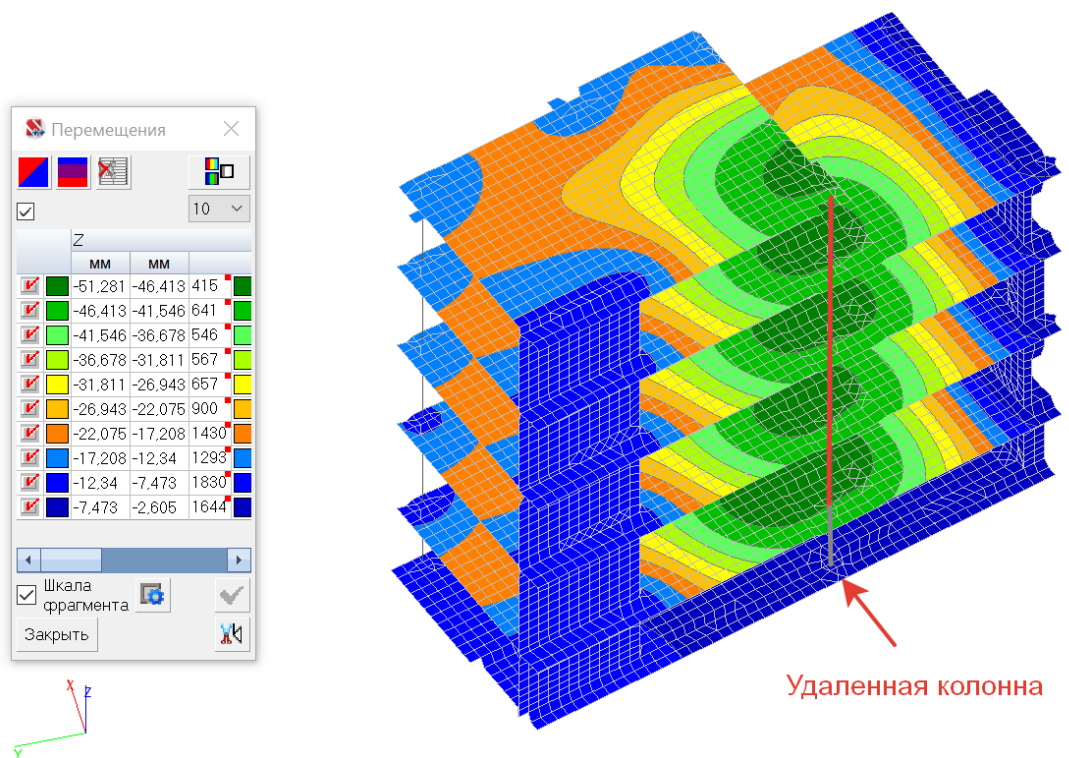


Рисунок 6. Вертикальные перемещения полной схемы после аварийного воздействия

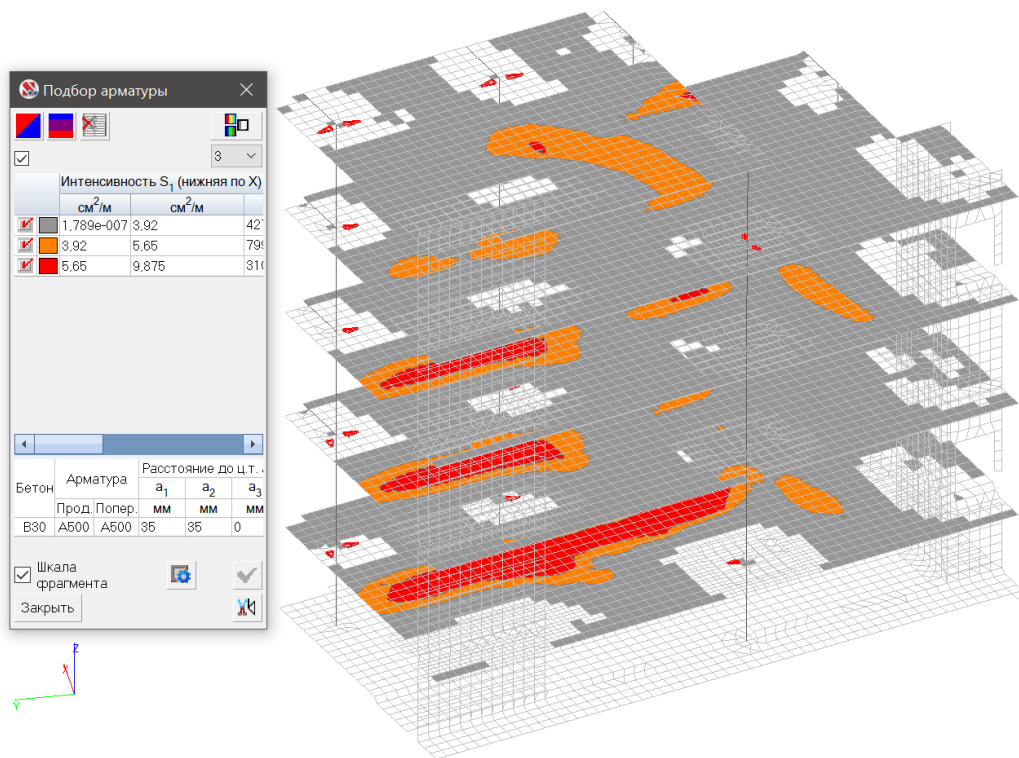


Рисунок 7. Процент армирования в горизонтальных элементах (плитах) до аварийного воздействия

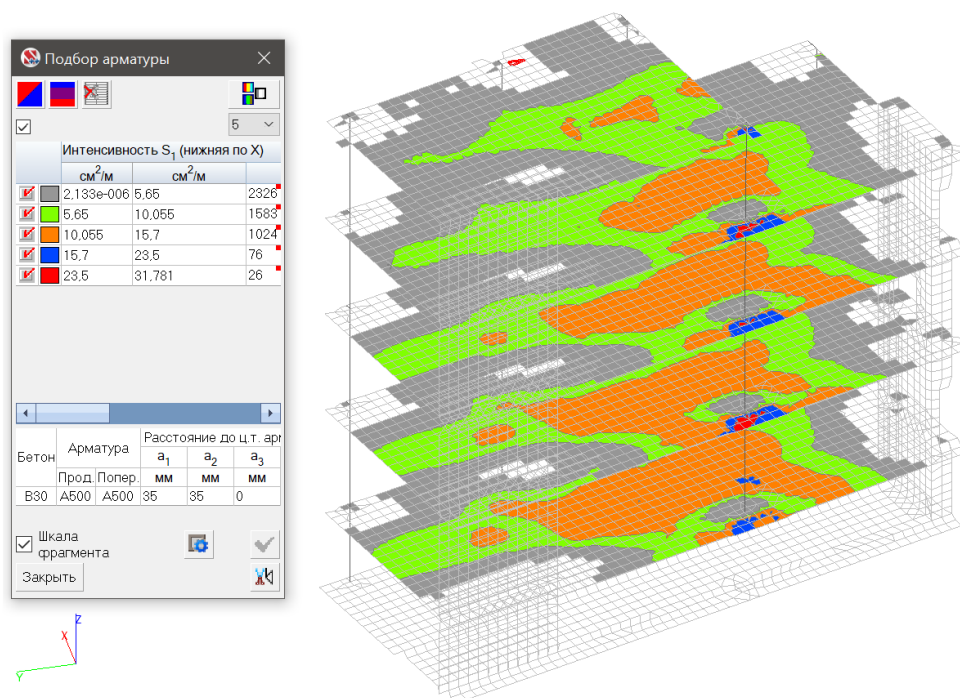


Рисунок 8. Процент армирования в горизонтальных элементах (плитах) после аварийного воздействия

#### Расчет участка т. 4.

Для обеспечения сопротивления конструкций прогрессирующему обрушению от аварийного воздействия на рядовую колонну [6] требуется выполнить следующие условия (рис. 9-14):

- прочность соседних вертикальных колонн должна обеспечиваться с учетом возросшей грузовой площади и соответственно усилий;
- прочность перекрытий должна обеспечиваться без учета требований по трещиностойкости, величина прогибов не регламентируется.

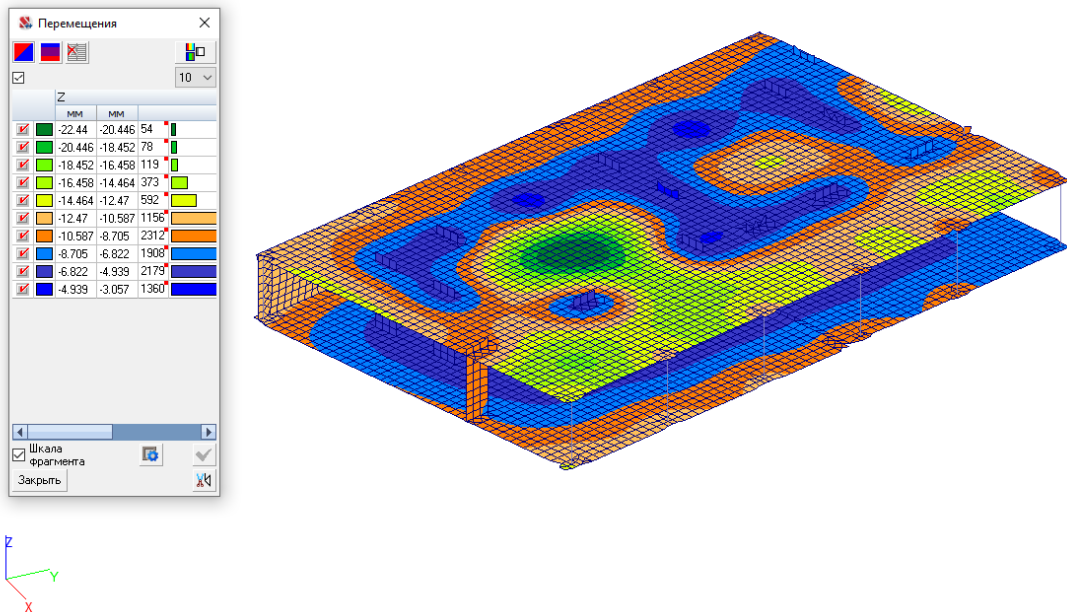


Рисунок 9. Вертикальные перемещения до аварийного воздействия

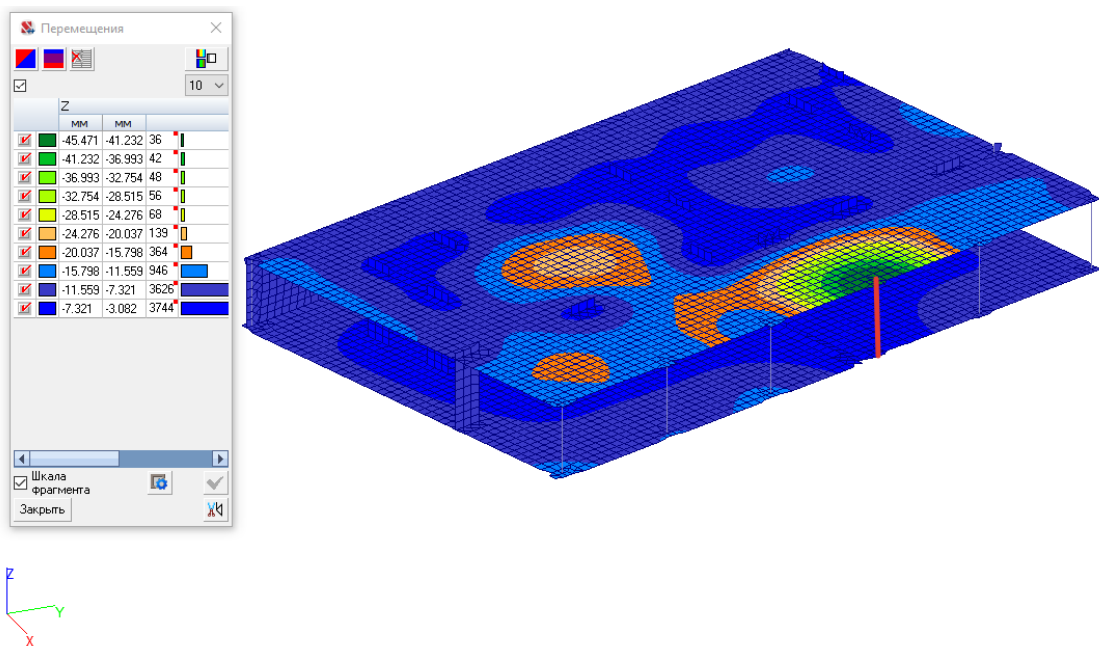


Рисунок 10. Вертикальные перемещения после аварийного воздействия

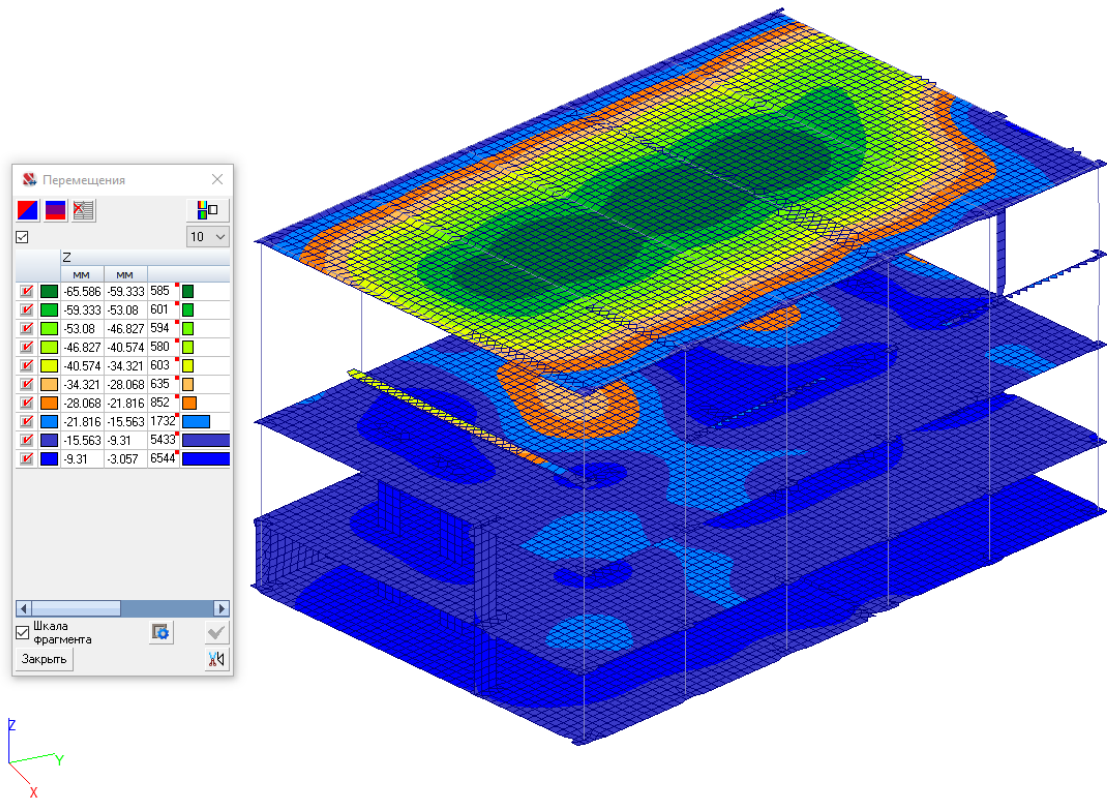


Рисунок 11. Вертикальные перемещения полной схемы до аварийного воздействия

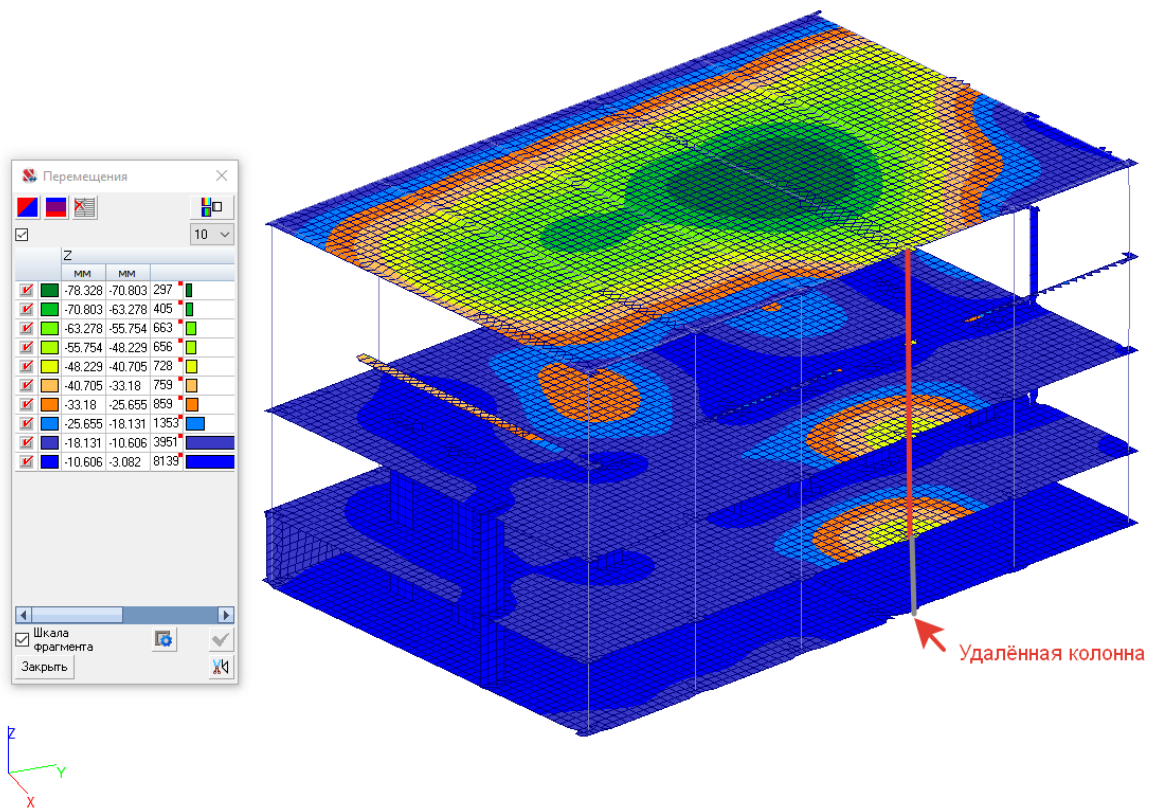


Рисунок 12. Вертикальные перемещения полной схемы после аварийного воздействия

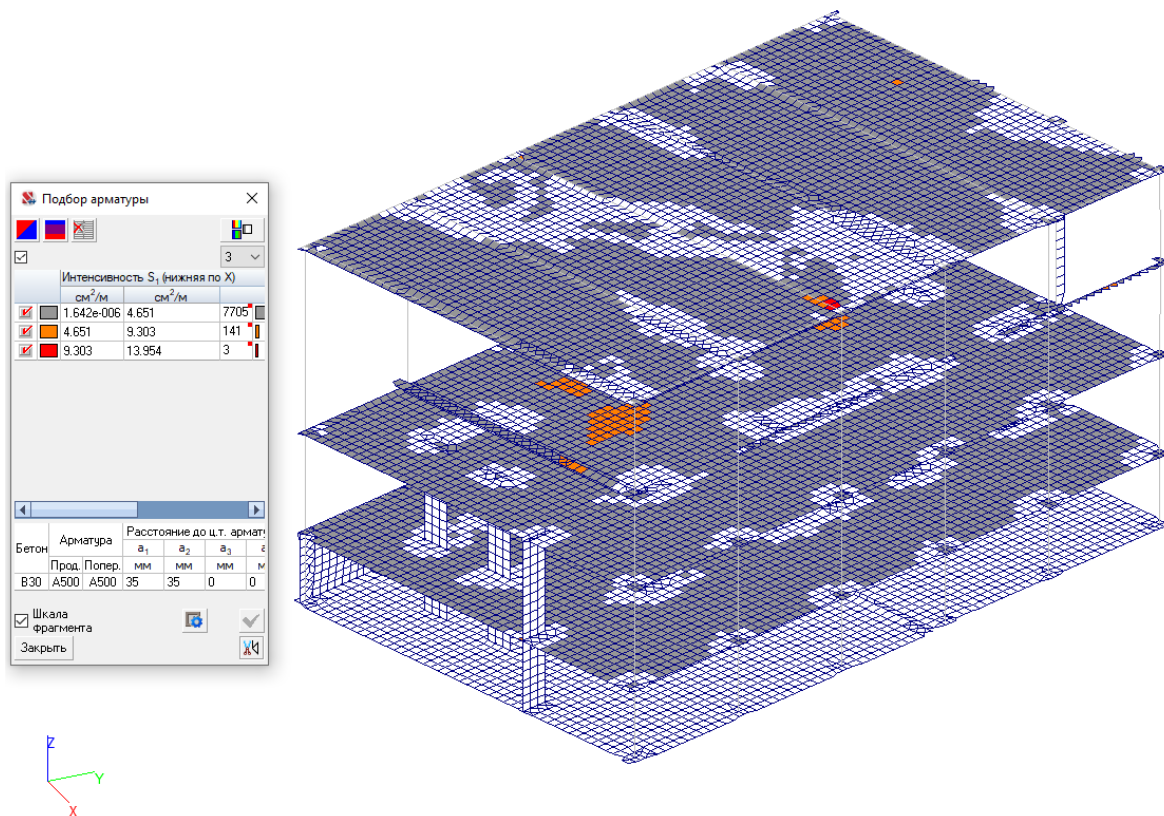


Рисунок 13. Процент армирования в горизонтальных элементах (плитах) до аварийного воздействия

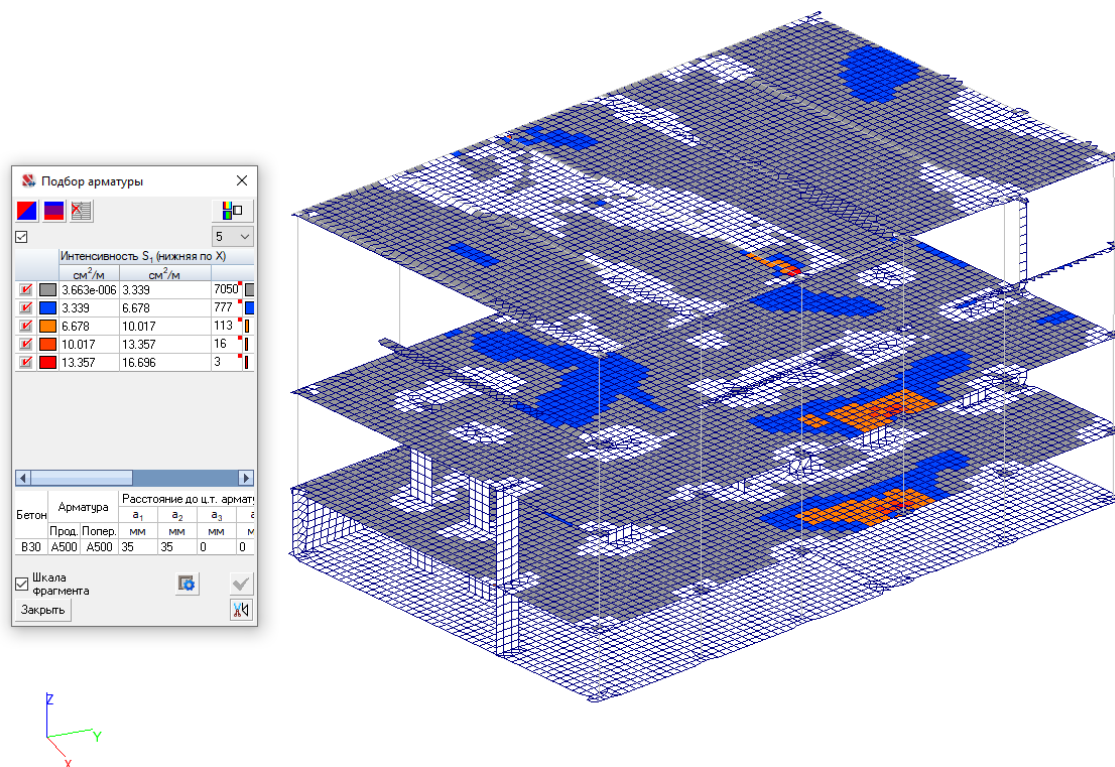


Рисунок 14. Процент армирования в горизонтальных элементах (плитах) после аварийного воздействия

## **Заключение**

1. По результатам расчета колонн зальных конструкций:

- не зафиксированы разрушения конструкций и перекрытий, согласно полученным результатам усилия перераспределяются на продольные балки с увеличением прогибов;

- эксплуатационного армирования достаточно для противодействия аварийной ситуации без разрушения конструкции.

2. По результатам расчета рядовой колонны:

- усилия в вертикальных несущих элементах от аварийного воздействия в результате перераспределения не превышают эксплуатационных, что обеспечивает их прочность и локализацию аварийной ситуации;

- усилия в перекрытиях от аварийного воздействия превышают эксплуатационные, что приводит к образованию зон пластических деформаций или преобразования участка обрушения в висячую систему, при этом исключается дальнейшее обрушение перекрытий по высоте здания;

- перемещения, полученные в результате аварийного воздействия, не превышают  $1/30$  пролета (для расчетного случая  $12,68 \text{ м}/30=422 \text{ мм}$ , п. 5.4 СП 385.1325800.2018) и составляют 51 мм, что позволяет сделать вывод о работе железобетонных конструкций в зоне пластических деформаций без потери целостности и значительном перераспределении усилий.

3. Устойчивость здания при аварийном воздействии обеспечивается, размеры сечений балок, пилонов, колонн и перекрытий обеспечивает их устойчивость к аварийным воздействиям.

## **Список литературы**

1. ГОСТ 27751-2017. Надежность строительных конструкций и оснований. – М.: Стандартинформ, 2019. – 19 с.

2. СП 385.1325800.2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2018. – 33 с.

3. Тужилова, М.В. Проект школы на 550 мест в Г. Красноуфимск Свердловской области / М.В. Тужилова, А.В. Лукина // Дни науки студентов ИАСЭ - 2023 : материалы научно-практической конференции, Владимир, 20 марта – 07 2023 года. – Владимир: Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, 2023. – С. 141-149. – EDN QNUIQX.

4. Ксенофонтова, Т.К. Выбор вариантов локального разрушения колонн здания при его расчете на прогрессирующее обрушение / Т.К. Ксенофонтова, Е. А. Ветеркова // Аспирант. – 2019. – № 5(47). – С. 48-52. – EDN JWKZBG.

5. Симаковская, А. Е. Особенности расчета и проектирования пространственного железобетонного каркаса с учетом прогрессирующего обрушения / А.Е. Симаковская // Избранные доклады 69-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 20



апреля 2023 года. – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 57-60. – EDN DYLYPD.

6. Гвоздев, С.В. Прогрессирующее обрушение: особенности проектирования / С.В. Гвоздев, А.А. Бакулина // Новые технологии в учебном процессе и производстве : Материалы XVII Международной научно-технической конференции, Рязань, 17–19 апреля 2019 года / Под редакцией А.А. Платонова, А.А. Бакулиной. – Рязань: Общество с ограниченной ответственностью "Рязаньпроект", 2019. – С. 226-228. – EDN XSLEHB.

**Садыков Ренат Ахатович, Сабитов Линар Салихзанович, Мухаметзянова Аида Камилевна**  
**УСТАНОВИВШИЙСЯ НЕЛИНЕЙНЫЙ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС В МНОГОСЛОЙНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

*Казанский государственный энергетический университет, кафедра Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, 51, 420066*

**Аннотация.** Для различных канонических форм (плоскость, цилиндр, шар и др.) предлагается обобщенная математическая модель (ММ) нелинейного стационарного процесса молекулярного переноса тепла (или влаги) через многослойные ограждающие конструкции (МОК) с учетом инфильтрации или эксфильтрации паровоздушной (газовой) смеси и наличия разнообразных внутренних или поверхностных стоков (влагосодержания) или источников теплоты (ИТ). Приводится математическая формализация поставленной одномерной краевой задачи (КЗ) переноса и ее общее решение, на основе которого при заданных различных условиях однозначности строятся и анализируются решения многообразных конкретных физических процессов с постоянными или переменными теплофизическими характеристиками и ИТ.

**Ключевые слова:** тепломассоперенос; ограждающая конструкция; фильтрация; конденсация; воздухопроницание.

**Введение**

Процессы тепло- и массопереноса, фильтрации парогазовых смесей и жидкостей через капилляры твердых МОК весьма сложны и тесно взаимосвязаны. Кроме того, в зависимости от периода года эти процессы сопровождаются такими физическими явлениями, как испарительное охлаждение или конденсационный нагрев. Осуществление же плотного наружного слоя МОК помещений возможно не во всех случаях, т. к. такое конструктивное решение может ухудшить влажностное состояние ограждения из-за трудностей воздухопроницаемости в ОК, а, следовательно, и ее просушки в летний период года [1-5].

Современные энергосберегающие МОК (под которыми в широком смысле могут подразумеваться так же тепловые или инженерные сети, емкости и резервуары для подогрева, охлаждения или хранения каких-либо жидкостей или газов и т. п.) в основном состоят из капиллярно-пористых твердых материалов, которые находят все большее применение не только в строительстве, но и многих других отраслях промышленности (высокотемпературные теплообменники; тепловые, электрические и инженерные сети; турбинные лопатки; ракетные сопла; обшивка высокоскоростных летающих аппаратов; обмуровка тепло- и электрогенерирующих установок; системы ядерных реакторов с внутренним охлаждением и т. д.), где различные элементы оборудования подвержены достаточно высоким термическим напряжениям, возникающим в результате больших температурных напряжений (градиентов температуры)  $\nabla t$  [6-9].

#### Материалы и методы

Перенос тепловой энергии в ОК происходит через твердый скелет материала, жидкую и парообразную влагу, которые содержатся в капиллярно-пористых телах. Уравнение стационарного нелинейного переноса с учетом фильтрации (газа, парогазовой смеси, жидкости) и наличия внутренних объемных стоков (влаги) или ИТ при общепринятых допущениях [1-5] в одномерном случае применительно к каноническим формам в соответствующих системах координат в общем случае может быть записано в виде обыкновенного дифференциального неоднородного уравнения (ОДНУ) второго порядка:

$$[\lambda(t)t']' + \frac{\Gamma}{r} [\lambda(t)t']' + \text{sgn}[G]G(t)c_p(t)t' + \text{sgn}[I]I(t) = 0, \quad (1)$$

где  $t(r)$  – температура;  $r$  – текущая координата  $r \in [0, h]$ ,  $h$  – толщина МОК;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности ОК (возможно с учетом её объемной пористости  $\Pi$ );  $\Gamma$  – постоянная формы ( $\Gamma = \overline{0, 2}$ , соответственно, «0» – неограниченная пластина, «1» – цилиндр или квадратный брусок, «2» – шар или куб);  $c_p$  – изобарная теплоемкость паровоздушной смеси;  $G$  – плотность потока паровоздушной смеси, здесь «+» означает процесс эксфильтрации, «-» – инфильтрации паровоздушной смеси;  $I(t)$  – мощность внутреннего ИТ (+) или стока (-); «'» (верхний штрих) – дифференцирование по  $r$ ;  $\text{sgn}[\cdot]$  – (сигнум) функция «знак».

Если  $I = \text{const}$ , то в рассматриваемой области термических сопротивлений действует непрерывно равномерно распределенный положительный или отрицательный ИТ. Если  $I(t) \neq \text{const}$ , то в этой области действуют местные, сосредоточенные или распределенные положительные или отрицательные ИТ.

При обобщенном физическом описании процессов охлаждения МОК (возможно и испарительного) или нагрева (возможно и конденсационного) аналогично уравнению (1) могут быть составлены тепловые балансы как для области  $r \in [-\infty, 0]$ , так и для области  $r \in [h, +\infty]$ , которые приводят к новым дифференциальным уравнениям (ДУ) набегающего к ОК и отходящего от ОК потока газа (или жидкости) с соответствующими для новых закрытых интервалов  $r$  граничными условиями (ГУ). В этом случае к ОДНУ (1) добавляются в зависимости от условий КЗ еще один или два ДУ второго порядка

и соответственно два или четыре ГУ. Таким образом, обобщенная ММ даже только для стационарного теплопереноса в МОК должна содержать в себе три ДУ второго порядка и шесть ГУ для нахождения соответствующих констант интегрирования. В этом случае температурное поле  $t(r)$  в МОК выражается через температуры окружающего воздуха (газа, жидкости, теплоносителя или хладагента) по обе ее стороны. В более упрощенном варианте эти граничные ДУ для МОК заменяются ГУ третьего рода с возможным учетом на границе поверхностей МОК поверхностных стоков или ИТ [6-9, 13, 14].

В свою очередь, уравнение (1) с ГУ третьего рода может быть заменено более простыми ГУ первого рода при условии ввода постоянных фиктивных (эквивалентных) пограничных слоев. Анализ конвективного теплообмена показывает, что в этом случае ГУ третьего рода фактически отображаются в ГУ первого рода. Тогда при интегрировании уравнения (1) и наличии в ГУ двух изотермических поверхностей можно использовать преобразование Кирхгофа [7,9,14], которое через новую вспомогательную переменную  $\theta$  и средний коэффициент теплопроводности  $\lambda_c$  приводит ОДНУ (1) к формализации следующей КЗ:

$$\begin{cases} \theta'' + \frac{\Gamma}{r} \theta' + \operatorname{sgn}[G] \frac{G(\theta)c_p(\theta)}{\lambda_c} \theta' + \operatorname{sgn}[I] \frac{I(\theta)}{\lambda_c} = 0, & (2) \\ \theta(0) = \theta_1 = t_1, & (3) \\ \theta(h) = \theta_2 = t_2, & (4) \\ \lambda_c \theta' = \lambda(t)t', & (5) \end{cases}$$

где  $\lambda_c = (1/\Delta t) \int_{t_1}^{t_2} \lambda(\xi) d\xi$ ,  $\Delta t = t_2 - t_1$ ,  $t_2 > t_1$ ,  $t_1$  и  $t_2$  – температуры противоположных поверхностей МОК. Направление потока тепла относительно  $r \geq 0$  определяется ГУ КЗ.

Формализованную КЗ (2)–(4) можно переписать в критериальном виде через критерии Пекле (Pe) и Померанцева (Po) и безразмерных масштабах температуры (T) и термического сопротивления ( $\bar{R}$ ), что особенно удобно, т. к. позволяет перевести МОК в однослойную.

В этом случае, опуская промежуточные преобразования, КЗ (2)–(4) можно записать в виде:

$$\begin{cases} T''' + \frac{\Gamma}{\bar{R}} T' + \operatorname{sgn}[Pe] Pe(T) T' + \operatorname{sgn}[Po] Po(T) = 0, & (6) \\ T(0) = 0, & (7) \\ T(1) = 1, & (8) \end{cases}$$

где  $T = (\theta - \theta_1)/(\theta_2 - \theta_1) \in [0,1]$  – безразмерная температура,  $\bar{R} = R/R_0 \in [0,1]$  – безразмерное термическое сопротивление, здесь  $R = r/\lambda$  – текущее термическое сопротивление,  $R_0$  – общее термическое сопротивление (суммарное, приведенное, требуемое или многослойной стенки), которое

выбирается в зависимости от принятых ГУ;  $Pe = G(T)c_p(T)R_0$  (в строительной теплофизике выражение  $Gc_pR_0$  называют относительным коэффициентом фильтрационного теплообмена [3], характеризующим отношение тепловой емкости потока воздуха  $Gc_p$  к коэффициенту теплопередачи ограждения  $K = 1/R_0$ ). Если учесть объемную пористость МОК, то  $Pe = [G(T)c_p(T)R_0]/[1 - \Pi]$ ;  $Po = [I(T)h^2]/[\lambda_c \Delta T]$ , в этой постановке КЗ  $\Delta T$  в критерии Померанцева можно опустить,

т. к. максимальный перепад температур равен единице; «'» (верхний штрих) – дифференцирование по  $\bar{R}$ .

Если известны пределы изменения  $Pe$  и  $Po$ , то знак сигнатуры в ОДНУ (6) в принципе можно опустить, если рассматривать эти критерии только в закрытом интервале  $[0,1]$ . Тогда критерии Пекле и Померанцева запишутся в виде:  $\overline{Pe} = [Pe - \inf(Pe)]/[\sup(Pe) - \inf(Pe)]$ ,  $\overline{Po} = [Po - \inf(Po)]/[\sup(Po) - \inf(Po)] \in [0,1]$ . В этом случае все зависимые и независимые переменные и параметры поставленной КЗ безразмерны и лежат в четырехмерном нормированном единичном пространстве  $(T, \bar{R}, \overline{Pe}, \overline{Po})$ . Тогда КЗ (6)–(8) переписывается в виде:

$$\begin{cases} T'' + \frac{\Gamma}{\bar{R}} T' + \overline{Pe}(T) T' + \overline{Po}(T) = 0, & (9) \\ T(0) = 0, & (10) \\ T(1) = 1. & (11) \end{cases}$$

Таким образом, приведенные преобразования значительно упрощают математическую формализацию КЗ, устраняют физические размерности и знаки, решают вопросы масштабного перехода. Единственно, несколько усложняется физическая интерпретация КЗ, особенно когда в вышеуказанном пространстве строится графическое решение КЗ, где фактически как бы «теряются» направленность потока ( $G$ ) и знак ИТ ( $I$ ) из-за отсутствия отрицательных значений параметров задачи в закрытом интервале  $[0,1]$ , но это усложнение легко устраняется при обратном переходе к первоначальным параметрам поставленной КЗ.

Рассмотрим в качестве примеров несколько упрощенных частных случаев решения поставленной краевой задачи, часть из которых сводится к известным решениям, изложенным, в частности, в [1-9].

I. При  $\Gamma=1$ ,  $\lambda(t)$ ,  $Pe = \text{const}$ ,  $Po = \text{const}$  и искусственно опущенного знака сигнатуры (т.к.  $Pe$  и  $Po \notin [0,1]$ ), КЗ (6)–(8) можно записать в форме:

$$\begin{cases} T'' + Pe T' + Po = 0, & (12) \\ T(0) = 0, & (13) \\ T(1) = 1, & (14) \end{cases}$$

где при  $Pe < 0$  происходит инфильтрация в МОК, при  $Pe > 0$  – эксфильтрация, при  $Pe = 0$  – фильтрация воздуха отсутствует или инфильтрация

и эксфильтрация компенсируют друг друга; при  $Ro < 0$  действует отрицательный ИТ, при  $Ro > 0$  – положительный ИТ, при  $Ro = 0$  – стоков и источников тепла нет, либо они компенсируют друг друга.

Аналитическое решение КЗ (12)–(14) получено в виде:

$$T(\bar{R}) = \frac{\exp(-Pe \bar{R}) - 1}{\exp(-Pe) - 1} \left(1 + \frac{Po}{Pe}\right) - \frac{Po}{Pe} \bar{R}, \quad (15)$$

которое уже охватывает все комбинации вышеперечисленных частных случаев параметров переноса ( $Pe$ ,  $Po$ ) при заданных условиях однозначности.

Таким образом, в зависимости от знака и величины  $Pe$  или  $Po$ , имеем различные ММ, отражающие соответствующие им физические процессы или явления. При условии же ввода в уравнение (12)  $\bar{Pe}$  и  $\bar{Po} \in [0,1]$  обобщенная физическая интерпретация поставленной КЗ и полученное в этом масштабе решение несколько усложняется ввиду отсутствия в ММ и ее решении отрицательных значений  $\bar{Pe}$  и  $\bar{Po}$ . Кроме того, необходимо отметить, что частное решение (15), несмотря на видимую простоту, получено все же при функциональной зависимости коэффициента теплопроводности от температуры  $\lambda[t(r)]$ . Поэтому, если  $\lambda(t) \neq \text{const}$ , то для получения профиля  $t(r)$  необходимо полученное решение  $T(\bar{R})$  первоначально перевести в  $\theta(r)$ , а далее обратным переходом через преобразование Кирхгофа (5) найти уже поле температур  $t(r)$  в исходных обозначениях поставленной КЗ. Алгоритм такого перехода рассмотрен на нижеследующем примере.

II. При  $\Gamma = 2$ ,  $\lambda(t) = \lambda_0(1 + \beta t)$  ( $\lambda_0$  – известный коэффициент теплопроводности при контрольной температуре  $t_0$ ,  $\beta$  – температурный коэффициент теплопроводности),  $Pe = 0$  и  $Po = 0$  получим промежуточное известное решение КЗ (2)–(4) в виде:

$$\theta(r) = t_1 + (t_2 - t_1) \frac{\ln(r/r_1)}{\ln(r_2/r_1)}. \quad (16)$$

Исходная же зависимая переменная  $t(r)$  находится при помощи полуопределенного интегрирования (5) и для случая линейной зависимости  $\lambda(t)$  получим квадратное уравнение вида

$$\beta t^2/2 + t = t_1 + \beta t_1^2/2 - \lambda_c(t_1 - \theta)/\lambda_0, \quad (17)$$

где

$$\lambda_c = \lambda_0[1 + \beta(t_1 + t_2)/2], \quad (18)$$

решая которое относительно  $t$  (корень из физических соображений берется с положительным знаком радикала) с учетом (16) и (18), получим

$$t = \frac{1}{\beta} \left\{ (1 + \beta t_1) \sqrt{1 - \left[ 1 - \frac{(1 + \beta t_2)^2}{(1 + \beta t_1)^2} \right] \frac{\ln(r/r_1)}{\ln(r_2/r_1)} - 1} \right\}. \quad (19)$$

Сравнение случаев постоянного и переменного коэффициентов теплопроводности показывает, что непостоянство коэффициента теплопроводности при  $\beta > 0$  повышает, а при  $\beta < 0$  понижает теплообмен. Тогда формула для расчета прироста относительного изменения потока тепла из-за непостоянства коэффициента теплопроводности будет

$$\Delta q = [q(\beta) - q]/q \text{ (для } \beta > 0 \text{) или } \Delta q = [q - q(\beta)]/q(\beta) \text{ (для } \beta < 0 \text{)}. \quad (20)$$

В связи с тем, что термические напряжения сильно (особенно для высокотемпературных процессов) зависят от  $\nabla t$ , то из (20) следует, что переменная теплопроводность может существенно влиять не только на распределение температур и теплообмен, но также и на величину и распределение термических напряжений, что подтверждается многочисленными практическими примерами из области авиа- и машиностроения, строительной индустрии и промышленной энергетики.

III. При  $\Gamma = 2$ , линейной зависимости  $\lambda(t)$ ,  $Pe = 0$  и  $Po = \text{const}$  общее решение ДУ (2) путем промежуточной замены переменной  $U = \theta + Ir^2/4\lambda_c$  можно свести к решению ДУ для ранее рассмотренного случая II (когда  $Po = 0$ ). Тогда общее решение уравнения (2) при  $Po = \text{const}$  с учетом указанной замены запишется в виде

$$\theta(r) = c_1 \ln r - Ir^2/4\lambda_c + c_2, \quad (21)$$

а после определения  $c_1$  и  $c_2$  из краевых условий (3), (4), решение  $\theta(r)$  будет

$$\theta(r) = [t_2 - t_1 + I(r_2^2 - r_1^2)/4\lambda_c] \frac{\ln(r/r_1)}{\ln(r_2/r_1)} - I(r_2^2 - r_1^2)/4\lambda_c + t_1, \quad (22)$$

Для более упрощенного изложения алгоритма перехода к исходным переменным поставленной КЗ примем  $t_1 = t_2 = 0$ . Тогда уравнение (22) примет вид

$$\theta(r) = [I(r_2^2 - r_1^2)/4\lambda_c] \frac{\ln(r/r_1)}{\ln(r_2/r_1)} - I(r_2^2 - r_1^2)/4\lambda_c, \quad (23)$$

а квадратное уравнение относительно  $t$  будет

$$\beta\lambda_0 t^2/2 + \lambda_0 t - \lambda_c \theta = 0, \quad (24)$$

из решения которого следует:

$$t = 1/\beta (\sqrt{1 + 2\beta\gamma} - 1), \quad (25)$$

где

$$\gamma = 1/4\lambda_0 \left[ (r_2^2 - r_1^2) \frac{\ln(r/r_1)}{\ln(r_2/r_1)} - (r^2 - r_1^2) \right]. \quad (26)$$

При  $\beta = 0$  следует, что  $t = \gamma$ , а при  $\beta > 0$  следует  $\beta \leq 1/2 \max \gamma$ .

Из анализа полученных решений КЗ аналогично примеру II выводится оценка температурного профиля в зависимости от  $\lambda(t)$  как при  $\beta > 0$ , так и при  $\beta < 0$ .

IV. При  $\Gamma=1$ ,  $\lambda = \text{const}$ ,  $Po = \text{const}$  и  $Pe = 0$  решением КЗ (6)–(8) будет

$$T = \bar{R}[1 + Po(1 - \bar{R})/2], \quad (27)$$

а при совпадении потока тепла с положительным направлением оси  $r$  будет

$$T = (1 - \bar{R})(1 + Po\bar{R}/2). \quad (28)$$

В табл.1. представлены значения относительной температуры  $T(\bar{R})$ , подсчитанные по уравнению (28) для  $-6 \leq Po \leq 6$ .

Таблица 1

**Значения относительной температуры  $T(\bar{R})$**

$\bar{R} \backslash Po$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
6	1,17	1,28	1,33	1,32	1,25	1,12	0,93	0,68	0,37	0
4	1,08	1,12	1,12	1,08	1	0,88	0,72	0,52	0,28	0
3	1,035	1,04	1,015	0,96	0,875	0,76	0,615	0,44	0,235	0
2	0,99	0,96	0,91	0,84	0,75	0,64	0,51	0,36	0,19	0
1	0,945	0,88	0,805	0,72	0,625	0,52	0,405	0,28	0,145	0
0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
1	0,855	0,72	0,595	0,48	0,375	0,28	0,195	0,12	0,055	0
2	0,81	0,64	0,49	0,36	0,25	0,16	0,09	0,04	0,01	0
3	0,765	0,56	0,385	0,24	0,125	0,04	0,015	0,04	0,035	0
4	0,72	0,48	0,28	0,12	0	0,08	0,12	0,12	0,08	0
6	0,63	0,32	0,07	0,12	0,25	0,32	0,33	0,28	0,17	0

На рис. 1 представлены графические зависимости  $T(\bar{R})$  при разных числах  $Po$ .

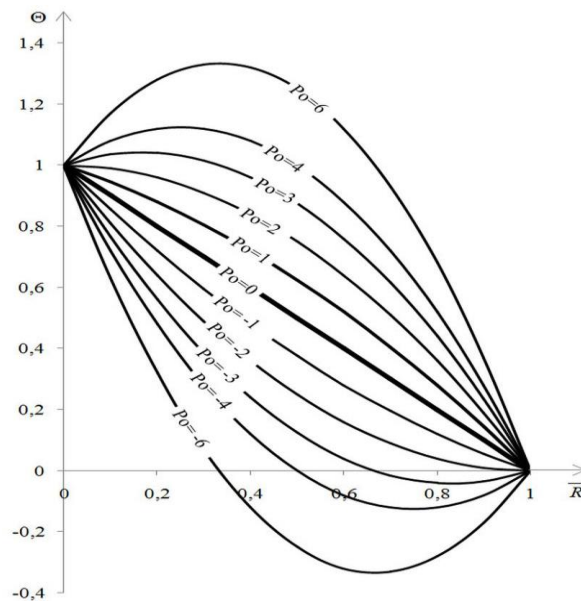


Рисунок 1. Изменение безразмерной температуры по толщине стеки при  $-6 \leq Po \leq 6$ .

При  $Po > 0$  «+» ИТ, при  $Po < 0$  «-» ИТ,  $Po = 0$  стационарная теплопроводность без ИТ

Численные расчеты относительной температуры  $T(\bar{R})$  для различных значений  $Po$  показали, что в зависимости от значения  $Po$  температура стенки может быть заметно больше максимальной температуры поверхности стенки при  $Po \geq 3$  и меньше минимальной температуры поверхности при  $Po \leq -3$ .

Таким образом, чем выше влагосодержание МОК (сток тепла МОК), тем глубже сдвигается фронт конденсации влаги внутрь МОК (зимний период года) и тем шире зона конденсации. Аналогично находятся смещение фронта испарения и сужение зоны конденсации в обратном направлении, т. е. к наружной поверхности МОК, когда происходит просушка ограждения (уменьшение влагосодержания и, соответственно, стока тепла в летний период года). Точное расположение фронта и зоны конденсации (испарения) можно найти из условий существования экстремума функции  $T(\bar{R})$ . Скорость смещения фронта и зоны конденсации (испарения) в том или ином направлении зависит от  $\nabla t$ , влагосодержания и энергии (формы) связи влаги с материалом ОК. Плотность теплового потока находится из уравнения  $q = -dT/dR$  и в первоначальных обозначениях при совпадении потока тепла с положительным направлением оси  $r$  примет вид:

$$q = \lambda_c(t_1 - t_2)/h - I(h/2 - r). \quad (29)$$



Из (29) следует, что  $q$  может быть со знаком «+» при совпадении с положительным направлением оси абсцисс  $r$  (когда  $t_1 > t_2$ ), и со знаком «-» при направлении в сторону уменьшения  $r$  (когда  $t_1 < t_2$ ).

При значениях  $Ro=0$  имеем линейный закон изменения  $t(R)$ :

$$t = t_B - (t_B - t_H)R/R_0. \quad (30)$$

Плотность теплового потока будет

$$q = (t_B - t_H)/R_0 + IR_0/2 - IR. \quad (31)$$

Плотность теплового потока, входящего через внутреннюю термическую границу (с учетом сопротивления тепловосприятию  $R_B$ ), определим, подставив в уравнение (31)  $R=0$ . Получим:

$$q_{вх} = (t_B - t_H)/R_0 + IR_0/2. \quad (32)$$

Плотность теплового потока, выходящего через наружную термическую границу, получим при  $R = R_0$ :

$$q_{вых} = (t_B - t_H)/R_0 - IR_0/2. \quad (33)$$

Разность  $(q_{вх} - q_{вых})$  даст плотность теплового потока, необходимого на нагревание и испарение влаги в летний период года, содержащейся в МОК:

$$q_{вх} - q_{вых} = IR_0. \quad (34)$$

При наличии фильтрации воздуха в МОК аналитическое решение КЗ представлено уравнением (15).

В этом случае безразмерная температура зависит от независимой переменной  $\bar{R}$  и двух параметров переноса:  $Pe$  и  $Ro$ . Графические зависимости  $T(\bar{R})$  при различных значениях  $Pe$  и  $Ro$  представлены на рис. 2.

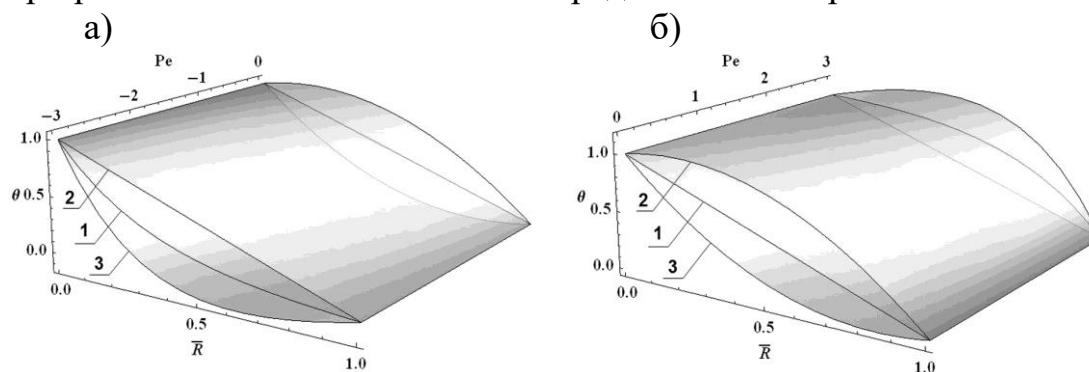


Рисунок 2. Изменение безразмерной температуры по толщине стенки при различных физических процессах в ОК

- а) 1 – инфильтрация ( $-3 \leq Pe \leq 0,01$ ;  $Ro=0$ ); 2 – инфильтрация ( $-3 \leq Pe \leq 0,01$ ) и источник теплоты ( $Ro=3$ ); 3 – инфильтрация ( $-3 \leq Pe \leq 0,01$ ) и сток теплоты ( $Ro= -3$ ). б) 1 – эксфильтрация ( $0,01 \leq Pe \leq 3$ ;  $Ro=0$ ); 2 – эксфильтрация ( $0,01 \leq Pe \leq 3$ ) и источник теплоты ( $Ro=3$ ); 3 – эксфильтрация ( $0,01 \leq Pe \leq 3$ ) и сток теплоты ( $Ro= -3$ ).

Из рис. 2 видно, что при определенном сочетании двух противоположных процессов (инфильтрация и источник теплоты или эксфильтрация и сток теплоты), они могут уравнивать друг друга. В этом случае  $T$  меняется приближенно по линейному закону. Например, при  $Pe=-3$  и  $Ro=3$  (рис. 2а), или  $Pe=3$  и  $Ro=-3$  (рис. 2б). Такая ситуация наблюдается в случаях, когда критерии  $Ro$  и  $Pe$  близки по модулю и противоположны по знаку, а решение (15) принимает вид (30).

Обобщенная постановка КЗ (9)–(11) позволяет рассмотреть множество других вариаций параметров  $\Gamma$ ,  $\lambda(t)$ ,  $Pe(T)$ ,  $Ro(T)$  с учетом направленности потоков газов (или капельной жидкости) и знака ИТ, но алгоритм решения будет аналогичен вышерассмотренным.

Исходное же ОДНУ (1) при переменных параметрах переноса [ $\lambda(t)$ ,  $Pe(t)$ ,  $Ro(t)$ ] и ГУ различного рода (возможно смешанных и нелинейных), учитывающих и поверхностные источники (стоки) тепла, в наиболее общем случае решается численными или приближенными методами решения ОДНУ, а при определенных условиях указанных параметров переноса оно может быть сведено к решению известных ДУ Бесселя, Лежандра или к решению линейного неоднородного ДУ  $n$ -го порядка (в нашем случае – второго) с переменными коэффициентами вида

$$\sum_{i=0}^n a_{n-i}(r) t^{(i)}(r) = f(r), \quad (35)$$

где  $a_i(r)$  – переменные коэффициенты неоднородного ДУ  $n$ -порядка;  $(i)$  – верхний индекс при  $t$  означает номер производной,  $t^{(0)} = t$ ;  $a_0 = 1$ .

Общее решение ДУ (35) ищется в виде

$$t(r) = t_{oo}(r) + t_{чн}(r), \quad (36)$$

где  $t_{oo}(r)$ ,  $t_{чн}(r)$  – соответственно общее решение однородного ДУ ( $f(r) = 0$ ) и какое-либо частное решение неоднородного ДУ.

Если на некотором интервале известна линейно независимая фундаментальная система решений  $t_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) соответствующего однородного ДУ (35), то общее решение неоднородного ДУ может быть найдено методом вариации произвольных постоянных. В этом случае решение уравнения (35) ищем в виде [10]:

$$t(r) = \sum_{i=1}^n c_i(r) t_i(r), \quad (37)$$

где  $c_i(r)$  – неизвестные функции находятся из системы  $n$  уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n c'_i(r)t_i(r) = 0, \\ \sum_{i=1}^n c'_i(r)t'_i(r) = 0, \\ \sum_{i=1}^n c'_i(r)t_i^{(n-1)}(r) = f(r). \end{cases} \quad (38)$$

Разрешая систему (38) относительно  $c'_i(r)$ , получим

$$c'_i = Y_i(r), \quad (39)$$

откуда

$$c_i(r) = \int Y_i(r) dr + \bar{c}_i, \quad (40)$$

где  $\bar{c}_i$  – произвольные постоянные интегрирования, определяемые из ГУ КЗ.

Далее, подставляя полученные значения  $c_i(r)$  в (37), получим общее решение неоднородного ДУ (35). Например, для уравнения второго порядка система (38) примет вид:

$$\begin{cases} c'_1 t_1 + c'_2 t_2 = 0, \\ c'_1 t'_1 + c'_2 t'_2 = f(r), \end{cases} \quad (41)$$

решая ее относительно  $c'_1$  и  $c'_2$ , найдем:

$$\begin{cases} c_1(r) = - \int \frac{t_2 f(r)}{W[t_1, t_2]} dr, \\ c_2(r) = \int \frac{t_1 f(r)}{W[t_1, t_2]} dr + \bar{c}_2, \end{cases} \quad (42)$$

где  $W(r) = W[t_1, t_2] = \begin{vmatrix} t_1(r) & t_2(r) \\ t'_1(r) & t'_2(r) \end{vmatrix}$  – Вронскиан для функций  $t_i(r)$ .

На рис. 3 представлены некоторые характерные профили распределения  $t(R)$  в ОК в зависимости от параметров переноса  $[\lambda(t), Pe(t), Po(t)]$  и их знаков.

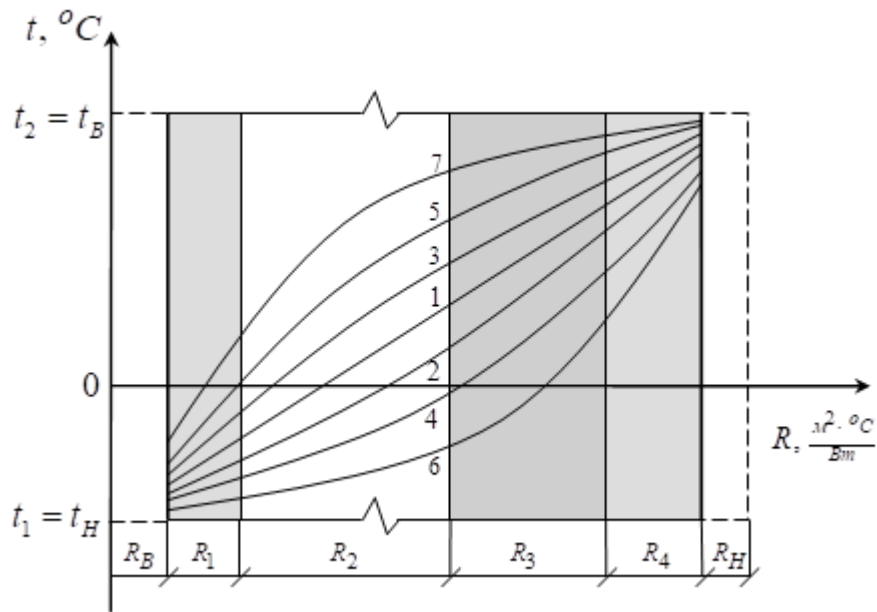


Рисунок 3. Характерные частные графические зависимости распределения  $t(R)$  в МОК:

(1) – без учета фильтрации воздуха, ИТ и  $\lambda = \text{const}$ ; (2) – с учетом инфильтрации воздуха; (3) – с учетом эксфильтрации воздуха; (4) – с учетом инфильтрации воздуха и стока теплоты (наличия влаги в ОК); (5) – с учетом эксфильтрации воздуха и ИТ; (6) – кривая (4), но с учетом линейной зависимости  $\lambda(t)$  при  $\beta < 0$ ; (7) – кривая (5), но с учетом линейной зависимости  $\lambda(t)$  при  $\beta > 0$ .

Для линейных неоднородных ДУ с постоянными коэффициентами и с правой частью вида:

$$f(r) = e^{\alpha R} [P_e(r) \cos \beta r + Q_m(r) \sin \beta r], \quad (43)$$

где  $P_e(r)$  и  $Q_m(r)$  – соответственно полиномы степени  $e$  и  $m$  с неопределенными коэффициентами, частное решение неоднородного уравнения (2) можно найти проще – методом неопределенных множителей (метод подбора). В этом случае:

$$t_{\text{чн}}(r) = r^s e^{\alpha R} [\tilde{P}_k(r) \cos \beta r + \tilde{Q}_k(r) \sin \beta r], \quad (44)$$

где  $k = \max(m, e)$ ;  $\tilde{P}_k(r)$  и  $\tilde{Q}_k(r)$  – полиномы от  $r$   $k$ -ой степени общего вида с неопределенными коэффициентами;  $s$  – кратность корня  $\gamma = a \pm i\beta$  характеристического однородного уравнения (если  $\gamma = a \pm i\beta$  не является корнем характеристического уравнения, то  $s=0$ ).

Таким образом, в зависимости от влагосодержания, структуры капиллярно-пористых материалов, теплофизических характеристик МОК и др. факторов, функция  $f(r)$  может быть подобрана как частный случай выражения (43). Частные

решения для различных видов  $f(r)$  уравнения (35) при  $a_i = \text{const}, i = \overline{1, n}$  представлены в табл. 2.

При нахождении частных решений неоднородного ДУ (35) иногда удобно пользоваться принципом суперпозиции, т.е. если  $t_j(r)$  есть решение неоднородного ДУ (35) при  $f(r) = f_j(r), j = \overline{1, p}$ , то функция  $t(r) = \sum_{j=1}^p t_j(r)$  является решением (35) при  $f(r) = \sum_{j=1}^p f_j(r)$ .

Таблица 2

**Частные решения для различных видов правых частей ДУ (35)**

	$f(r)$	Корни характеристического уравнения	Виды частных решений
I	$P_m(r)$	1. Число 0 не является корнем характеристического уравнения	$\tilde{P}_m(r)$
		2. Число 0 – корень характеристического уравнения кратности $s$	$r^s \tilde{P}_m(r)$
II	$P_m(r)e^{\alpha r}$	1. Число $\alpha$ не является корнем характеристического уравнения	$\tilde{P}_m(r)e^{\alpha r}$
		2. Число $\alpha$ – корень характеристического уравнения кратности $s$	$r^s \tilde{P}_m(r)e^{\alpha r}$
III	$P_e(r) \cos \beta r + Q_m(r) \sin \beta r$	1. Числа $\pm i\beta$ не являются корнями характеристического уравнения	$\tilde{P}_k(r) \cos \beta r + \tilde{Q}_k(r) \sin \beta r$
		2. Числа $\pm i\beta$ являются корнями характеристического уравнения кратности $s$	$r^s (\tilde{P}_k(r) \cos \beta r + \tilde{Q}_k(r) \sin \beta r)$
* I-III - являются частными случаями уравнения (38).			

Перейдем от общих решений к конкретным. В качестве примера рассмотрим случай, когда в МОК действует равномерно распределенный «+» положительный или «-» отрицательный источник теплоты. Результаты сравнения полученных решений с работой [4], где в исходном уравнении учтено только действие поперечной фильтрации воздуха, представлены в табл. 3.

## Результаты сравнения полученных решений

Сравнение полей температур		
Классический	$t = t_H + (t_B - t_H) \frac{r}{r_0}$	
[4]		<b>Инфильтрация</b>
		<b>Эксфильтрация</b>
		$t = t_H + (t_B - t_H) \frac{e^{c_p Gr} - 1}{e^{c_p Gr_0} - 1}$
		$t = t_H + (t_B - t_H) \frac{(e^{c_p Gr} - 1) e^{c_p Gr_0}}{(e^{c_p Gr_0} - 1) e^{c_p Gr}}$
Предлагаемый вариант	Сток теплоты	$t = t_H + (t_B - t_H) \frac{e^{c_p GR} - 1}{e^{c_p GR_0} - 1} - \frac{R}{c_p G} \lambda_3 I$
	Источник теплоты	$t = t_H + (t_B - t_H) \frac{e^{c_p Gr} - 1}{e^{c_p Gr_0} - 1} + \frac{r}{c_p G} \lambda_3 I$
		$t = t_H + (t_B - t_H) \frac{(e^{c_p Gr} - 1) e^{c_p Gr_0}}{(e^{c_p Gr_0} - 1) e^{c_p Gr}} - \frac{r}{c_p G} \lambda_3 I$
		$t = t_H + (t_B - t_H) \frac{(e^{c_p Gr} - 1) e^{c_p Gr_0}}{(e^{c_p Gr_0} - 1) e^{c_p Gr}} + \frac{r}{c_p G} \lambda_3 I$
Сравнение плотностей тепловых потоков		
Классический	$q^e = \frac{(t_e - t_H)}{r_0}$	
[4]		<b>Инфильтрация</b>
		<b>Эксфильтрация</b>
		$q_{инф}^e = (t_e - t_H) \frac{c_p G e^{c_p Gr_0}}{e^{c_p Gr_0} - 1}$
		$q_{эксф}^B = (t_B - t_H) \frac{c_p G}{e^{c_p Gr_0} - 1}$
Предлагаемый	Сток теплоты	$q_{инф, W}^B = (t_B - t_H) \cdot \frac{c_p G e^{c_p Gr_0}}{e^{c_p Gr_0} - 1} - \frac{\lambda_3 I}{c_p G}$
		$q_{эксф, W}^B = (t_B - t_H) \frac{c_p G}{e^{c_p Gr_0} - 1} - \frac{\lambda_3 I}{c_p G}$

	<b>Источник теплоты</b>	$q_{\text{инф},W}^B = (t_B - t_H) \cdot \frac{c_p G e^{c_p G r_0}}{e^{c_p G r_0} - 1} + \frac{\lambda_3 I}{c_p G}$	$q_{\text{эксф},W}^B = (t_B - t_H) \frac{c_p G}{e^{c_p G r_0} - 1} + \frac{\lambda_3 I}{c_p G}$
<b>Сравнение коэффициентов теплопередачи</b>			
<b>Классический</b>		$K = \frac{q^B}{(t_B - t_H)} \quad r_0 = \frac{1}{K}$	
<b>[4]</b>		<b>Инфильтрация</b>	<b>Эксфильтрация</b>
		$k_{\text{инф}} = \frac{c_p G e^{c_p G r_0}}{e^{c_p G r_0} - 1}$	$k_{\text{эксф}} = \frac{c_p G}{e^{c_p G r_0} - 1} - \frac{1}{(t_B - t_H)} \frac{\lambda_3 I}{c_p G}$
<b>Предлагаемый вариант</b>	<b>Сток теплоты</b>	$k_{\text{инф},W} = \frac{c_p G e^{c_p G r_0}}{e^{c_p G r_0} - 1} - \frac{1}{(t_B - t_H)} \frac{\lambda_3 I}{c_p G}$	$k_{\text{эксф},W} = \frac{c_p G}{e^{c_p G r_0} - 1} - \frac{1}{(t_B - t_H)} \frac{\lambda_3 I}{c_p G}$
	<b>Источник теплоты</b>	$k_{\text{инф},W} = \frac{c_p G e^{c_p G r_0}}{e^{c_p G r_0} - 1} + \frac{1}{(t_B - t_H)} \frac{\lambda_3 I}{c_p G}$	$k_{\text{эксф},W} = \frac{c_p G}{e^{c_p G r_0} - 1} + \frac{1}{(t_B - t_H)} \frac{\lambda_3 I}{c_p G}$

Далее по построенным полям температур, с учетом инфильтрации (или эксфильтрации) воздуха и отрицательных (или положительных) источников теплоты, можно провести расчет влажностного режима МОК. Для этого определяются максимальные упругости водяных паров  $E[t(x)]$  для каждого слоя МОК. Далее строятся графики  $E(x)$  или  $E(R_{\Pi})$ , (где  $R_{\Pi}$  – сопротивление паропрооницанию паров воды в МОК) и с учетом относительной влажности воздуха внутри помещения и снаружи определяется зона конденсации (ЗК) влаги в МОК [2,22]. При наличии ЗК определяется количество влаги, конденсирующейся в МОК при стационарных условиях диффузии водяного пара. Затем находятся плотности массовых потоков влаги воздуха, поступающего к ЗК из помещения ( $\bar{J}_{m1}$ ) и уходящего из ЗК наружу ( $\bar{J}_{m2}$ ). Тогда удельная плотность конденсирующейся влаги в МОК ( $\bar{J}_k$ ) будет:

$$\bar{J}_k = |\bar{J}_{m1} - \bar{J}_{m2}|. \quad (45)$$

Рассмотренный метод расчета влажностного режима МОК позволяет рассчитать также скорость просыхания или сушки МОК после прекращения в нем конденсации влаги в период с положительными температурами наружного воздуха.

## **Результаты и обсуждения**

Предлагаемая в критериальном виде обобщенная ММ (9)–(11) процессов нелинейного переноса в МОК позволяет независимо от масштабов исследуемого объекта и направления потоков:

– рассчитывать поля температур, тепловые потоки, а также различные коэффициенты переноса (теплоотдачи, теплопередачи, термического сопротивления, порового охлаждения, фильтрационного охлаждения) и др. производные характеристики МОК с учетом влагосодержания, различного рода включений или неоднородностей для многообразных классов физических явлений или процессов, протекающих в МОК (включая инженерные, тепловые и электрические сети);

– учитывать в расчетах полей переноса (тепла, влаги, парогазовой смеси) изменение теплофизических характеристик от толщины МОК или ее термического сопротивления;

– использовать полученные результаты для практических расчетов при проектировании МОК зданий и сооружений, тепловых, инженерных и электрических сетей, разработке строительных норм и сводов правил по тепловой защите зданий [11, 12] и т.д.;

– проводить расчеты как тепло-, так и массопереноса различных МОК для канонических систем координат (декартовой – для пластин, стен; цилиндрической – для тепловых и электрических сетей; сферической – для ёмкостей, газохранилищ и т.п.): что связано с аналогией законов переноса. Поэтому с точностью до переобозначения символов можно успешно использовать полученные закономерности и для других процессов переноса, например в приведенных уравнениях символ температуры «*t*» можно, например, заменить на символ влагосодержания «*u*» (в процессах просушки МОК зданий и сооружений, инженерных и тепловых сетей), а вместо теплообменных критериев в обобщенной КЗ можно использовать массообменные и далее соответственно проинтерпретировать формализованную физико-математическую КЗ.

## **Благодарности**

Выражаем искреннюю признательность профессору Arun S. Mujumdar за внимательное отношение и постоянную поддержку наших научных работ.

## **Список литературы**

1. Ilyinsky V.M. Building thermal physics (enclosing structures and microclimate of buildings); "High School": Moscow, Russia, 1974.

2. Fokin K.F. Thermal Engineering enclosing parts of the buildings; "AVOK-PRESS": Moscow, Russia, 2006.

3. Bogoslovsky V.N. Building thermal physics (thermophysical foundations of heating, ventilation and air conditioning): Textbook for universities / Ed. 3rd, rev. and add; "AVOK North-West": St. Petersburg, Russia 2006.

4. Ushkov F.V. Heat transfer of enclosing structures during air filtration; "Stroyizdat": Moscow, Russia, 1996.



5. Hugo H. Building Physics – Heat, Air and Moisture; "John Willey & Sons Limited": Leuven, Belgium, 2007.
6. Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. Heat transfer; "Energoizdat": Moscow, Russia, 1981.
7. Kozdoba L.I. Methods for solving nonlinear problems of heat conduction; "Science": Moscow, Russia, 1975.
8. Eckert E.R., Drake R.M. Theory of heat and mass transfer; "Gosenergoizdat": Moscow, Russia, 1961.
9. Isaev S.I. et al. Theory of heat and mass transfer (edited by A.I. Leontiev); "High school": Moscow, Russia, 1979.
10. Matveev N.M. Methods of integration of ordinary differential equations; "High school": Moscow, Russia, 1967.
11. Set of rules (SP) 50.13330.2012. Thermal protection of buildings. Updated edition of SNiP 23-02-2003 (with Amendment No. 1). Ministry of Regional Development of Russia: Moscow, 2012, 95p.
12. Set of rules (SP) 23-101-2004. Design of thermal protection of buildings. Ministry of Regional Development of Russia: Moscow, 2004, 167p.
13. Lukanin V. N., Shatrov M. G., Kamfer G. M. et al. Heat; "High School": Moscow, Russia, 2000.
14. Vatin N.I., Glumov A.V., Gorshkov A.S. Influence of physical, technical and geometrical characteristics of plaster coatings on the moisture regime of plaster walls made of aerated concrete blocks. *Inzhenerno-stroitelnyj zhurnal*, 2011, 1(19), 28-33.
15. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Method of engineering calculation of the moisture state of enclosing structures, taking into account the transfer of vaporous and liquid moisture. Reports Materials of the International Scientific and Technical Conference "Theoretical Foundations of Heat and Gas Supply and Ventilation", MGSU, Moscow, 2005, 49-53.
16. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Mekhnetsov I.A. Longitudinal air filtration in modern enclosing structures. *AVOK*. 2005, №8, 60-69.
17. Ezerskiy V.A., Kuznetsova N.V. Providing vapor protection for the outer walls of workshops with a saline industrial environment. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2005, №12, 25-27.
18. Guidelines for calculating the moisture regime of building envelopes; "Stroyizdat": Moscow, Russia, 1984.
19. Rakhimov R.Z., Shelikhov N.S., Smirnova T.V. Thermal insulation of their stone wool; "ASV": Moscow, Russia, 2010.
20. Rakhimova G.M., Lantsov A.E. Selection and calculation of thermal insulation of pipelines of heating networks. Study guide; "KGASU": Kazan, Russia, 2010.
21. Stroy A.F., Skalsky V.A. Calculation and design of heating networks; "Budivelnik": Kiev, 1981.
22. Sadykov R.A., Krainov D.V., Medvedeva G.A. Thermal physics of buildings. Study guide; "KGASU": Kazan, Russia, 2020.

**Скирдин Д.С.**  
**CLT-ПАНЕЛИ**

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,  
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46  
Научный руководитель Шорстова Е.С. доц., к.т.н.*

**Аннотация:** Значение появления технологии CLT-панелей для России, основные преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** CLT-панели, многоэтажное строительство, деревянное строительство, новые технологии

Современные технологии активно внедряются в строительную отрасль, что позволяет использовать преимущества натуральной древесины и устранить ее основные недостатки. Одним из популярных направлений является строительство домов из CLT-панелей, что заслуживает особого внимание.

Технология производства CLT-панелей схожа с фанерой. Но фанера изготавливается из шпона, в то время как панели CLT изготавливаются из ламелей с прямоугольным поперечным сечением (рис. 1). Новая технология производства данных материалов не является дешевой, однако она открывает большие перспективы для строительной отрасли [1].



Рисунок 1. Наглядный пример разницы строения панелей

Панели CLT создаются из обрезной хвойной древесины с влажностью около 12% (с допустимым отклонением до 2%). После процедуры камерной сушки и торцевания заготовки склеиваются и проходят процесс сращивания на зубчатом шипе, чтобы получить материал заданной длины. Затем следует процесс склеивания ламелей и прессования.

После этого материал проходит этап строгания и шлифовки для достижения идеально гладкой поверхности. В случае использования панелей для установки стен их можно обработать слоем ОСП. Затем на станках с ЧПУ выполняется процедура прорезывания оконных, дверных проемов и каналов для прокладки коммуникаций с высокой точностью.

Готовые элементы будущего здания доставляют на участок и затем собирают. Строители осуществляют установку и монтаж каждой

пронумерованной панели по плану дома. Конструкция собирается на заранее подготовленном фундаменте (Рис. 2) [2].



Рисунок 2. Здание из CLT панелей, на спец. фундаменте

В процессе строительства участвует небольшая группа строителей, которые работают с помощью подъемного крана и базового электроинструмента (рис. 3). Установка одной панели обычно занимает около 20 минут. Односемейный дом строители собирают приблизительно за 8 часов.



Рисунок 3. Процесс возведения

После этого начинается внутренняя и наружная отделка. Стены не требуются штукатурить, так как после механической обработки на производстве они приобретают идеально ровную поверхность. Для коммуникаций уже подготовлены соответствующие трассы, места для установки электрощитов, ревизионные люки и так далее. Поэтому дом будет готов к сдаче уже в течение нескольких дней.

У новой строительной технологии больше достоинств, чем недостатков. Поэтому ее популярность постоянно возрастает [3]. Среди плюсов домов из CLT-панелей стоит отметить следующее:

CLT-панели изготавливаются из натуральной древесины и имеют ряд преимуществ: здоровый микроклимат в помещениях, отсутствие усадки,

высокая пожаростойкость, экологичность, высокая сейсмоустойчивость, отличная теплоизоляция, шумопоглощение, невысокий вес и возможность использования в различных климатических условиях. Благодаря этим характеристикам, дома из CLT становятся все более популярными в строительстве, хотя их стоимость по-прежнему остается высокой.

Высокая стоимость является основным недостатком CLT-панелей по сравнению с другими строительными материалами. Это может быть дорого для обычного застройщика, однако дом будет построен быстро и будет обладать высоким качеством. Одним из минусов также является необходимость создания дополнительного утеплительного слоя в холодном климате, но этот процесс также необходим для зданий из других материалов. Также, так как это новая технология, долгосрочная эксплуатация подвержена только предположениям. В связи с этим, многие застройщики предпочитают использовать традиционные материалы [4].

### **Список литературы**

1. Анфалов, А.М. Применение деревянных конструкций в строительстве / А.М. Анфалов // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова, Белгород, 16–17 мая 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 31-35. – EDN JFDCTH.
2. Строительство домов из CLT-панелей [Электронный ресурс]: <https://clt-rus.ru/>
3. Овсянников, С.И. Деревянное домостроение за рубежом и в России / С.И. Овсянников // Наука и инновации в строительстве : (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства) : сборник докладов международной научно-практической конференции : в 2 т., Белгород, 21 апреля 2017 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Том 1. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. – С. 309-315. – EDN ZDXJUI.
4. Недостатки CLT панелей, «болевые точки» технологии строительства и способы их обхода [Электронный ресурс]: <https://m-strana.ru/articles/nedostatki-tekhnologii-stroitelstva-iz-clt-paneley/>

**Тюрин Евгений Анатольевич**

### **ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА**

*Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника кафедры специальных сооружений ракетно-космических комплексов.*

*Санкт-Петербург, улица Ждановская, дом 13, 197198*

**Аннотация:** объекты, пострадавшие в ходе чрезвычайной ситуации техногенного характера, как правило, имеют особый характер разрушений, обусловленный особенностями используемых современных средств поражения и интенсивности ведения боевых действий. Особенности технологии производства работ по демонтажу зданий и сооружений при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций техногенного характера заключаются в необходимости учета множества факторов, влияющих на выбор технологии производства работ по демонтажу конструкции и повышение опасности выполнения работ: степень разрушения элементов конструкции, кратчайшие сроки выполнения работ по демонтажу, ограничения в количестве технических средств для производства работ по демонтажу конструкции.

**Ключевые слова:** демонтаж, снос, разрешения, повреждения, здания, сооружения, чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

Последствия вооруженных конфликтов различных регионов мира за прошедшую историю войн весьма значительны (таблица 1) [1, 2, 3]. Согласно исследованиям авторов [4, 5, 6] в результате вооруженного конфликта в Ираке в декабре 1998 года уничтожено более 100 зданий и сооружений (здания министерств, командные пункты, казармы национальной гвардии, арсеналы). В результате вооруженного конфликта в Югославии в 1999 году уничтожено 498 объектов, из них более 55% объекты военной инфраструктуры. Анализ произошедших вооруженных конфликтов в таких странах и регионах как: Украина, Ливан, Израиль, Ирак, Иран, Сирия, Афганистан, Южная Осетия, Абхазия, Нагорный Карабах, Югославия, Чеченской Республике показал, что производство работ по демонтажу в данных регионах ограничивается незначительным разбором завалов разрушенных конструкций и освобождением дорожных путей и железнодорожных сообщений.

В отчетах Организации Объединенных Наций (ООН) сообщается, что в результате военных действий и террористических операций в городах Ирака – Анбаре, Киркуке, Тикрите, Бейджи, Дияле и Багдаде – было полностью уничтожено от 80 до 100 тыс. зданий и сооружений. Эти цифры предполагают большой объем работ по восстановлению и реконструкции разрушенных, но годных к эксплуатации зданий [7, 8].

Таблица 1

**Сводные данные разрушений зданий и сооружений  
в результате вооруженных конфликтов в различных регионах мира**

Наименование	Период вооруженного конфликта	Количество зданий и сооружений уничтоженных	Количество зданий и сооружений, требующих восстановления	Материальный ущерб, руб.
Осетино-ингушский конфликт	октябрь-ноябрь 1992 г	более 3000	более 1500	50 млрд. руб.

Чеченская Республика г. Грозный	1994-1996 гг. 1999-2009 гг.	более 15 300	более 52 000	более 80 млрд. руб.
Юго-восточная часть Украины	2014-наст.вр.	более 51 354	более 19 250	более 150 млрд. руб.
Ирак	2011-наст.вр.	более 80 670	более 10 480	-
Иран	1980-1988 гг.	более 4 780	более 3 145	-
Сирия	2011-наст.вр.	более 20 280	более 13 890	более 95 млрд. руб.
Нагорный Карабах	2020 год	280	более 2 530	35 млрд. руб.
Южная Осетия г. Цхинвал	1992-1993 гг. 2008 год	более 15 730	Более 7 660	-
Абхазия г. Сухум	1992-1993 гг. 2008 год	более 1120	более 567	-
Афганистан	1979-1989 гг. 2021 г.	более 34 360	более 12 570	-
Ливан	1975-1990 гг. 2011-2017 гг.	более 15350	более 8450	более 250 млрд. руб.
Израиль	2018 г. 2021 г.	более 6500	более 2350	-

Наиболее характерными повреждениями в результате вооруженного конфликта являются разрушения несущих и ограждающих конструкций, фундаментов. Зачастую здания и сооружения, получившие повреждения, не подлежат восстановлению [9, 10]. Так, в ходе вооруженного конфликта в Северной Осетии ряд зданий и сооружений понесли ущерб тяжелыми разрушительными последствиями – сожжено дотла около 400 домов [11].

Самый большой объем демонтажных работ до 40% представляют собой завалы, которые образуются при разрушении зданий и сооружений и представляют собой хаотичное нагромождение крупных и мелких обломков строительных конструкций, санитарно-технических устройств, мебели, технологического оборудования и т.д [12].

Первоочередными работами, связанными с разборкой и разрушением зданий и сооружений, являются демонтаж конструкции и расчистка территории от завалов строительных материалов. Наиболее трудоемкими работами, требующими больших затрат ручного труда, являются уборка и транспортирование материалов и строительного мусора, образующегося при разборке. Самые трудоемкие виды работ – это уборка образующихся материалов от разрушения конструкции. Трудозатраты на технологические операции, связанные с уборкой и вывозом материалов от разборки со строительных площадок, составляют 39% общих трудозатрат [13].

Протяженность заваленных проездов оценивается с учетом ширины улиц и дальности разлета обломков. При отсутствии данных ширин улиц принимается равной для: магистральных улиц - 30 м, районных улиц - 18 м, проездов и переулков - 10-12 м. Дальность разлета обломков обычно принимается равной половине высоты здания [14]. Взрывные технологии позволяют быстро и

эффективно делать проходы и проезды в завалах для тяжелой техники и оптимальной организации работ [15].

Наиболее характерно для завалов нагромождение обрушившихся строительных конструкций и кирпичной кладки объемом до 0,8 м<sup>3</sup> строительного мусора.

Объем завалов при разрушении жилых зданий колеблется в пределах 35-50%, промышленных зданий – 15-20% от их строительного объема. Объем пустот в завалах составляет 40-60%. Наибольшая высота завалов жилых зданий – 1/5-1/7, а промышленных зданий – 1/4-1/10 их высоты. Средний угол откосов завалов - 30° (таблица 2) [16].

Таблица 2

**Объемы завалов разрушенных зданий и сооружений различных конструктивных решений**

Состав завалов	Содержание обломков (%) при разрушении зданий и сооружений			
	Кирпичных		Деревянных	Крупнопанельных
	Промышленных	Жилых		
Кирпичные глыбы до 1 м <sup>3</sup> , кирпичный лом	20	40	13	-
Обломки железобетонных и бетонных конструкций (до 0,8 м <sup>3</sup> )	60	10	-	75
Деревянные конструкции	3	30	75	18
Металлические конструкции	10	8	2	2
Строительный мусор	-	12	10	5

При полном разрушении зданий образуются завалы, форма и размеры которых зависят от размеров здания и особенностей действия взрыва [17]. При детонации взрыва внутри строения обломки разлетаются во все стороны, а при взрыве на внешней стороне – смещаются в сторону направления распространения ударной волны. Объем завала (V) зависит от степени разрушения здания. Объем завала полностью разрушенного здания:

$$V = \frac{\gamma ABH}{100}, \quad (1)$$

где V – объем завала полностью разрушенного здания, м<sup>3</sup>;

A, B, H – длина, ширина и высота здания, м;

γ - объем завала на 100 м<sup>3</sup> строительного объема здания (γ = 20 м<sup>3</sup> – для промышленных зданий; γ = 40 м<sup>3</sup> – для жилых зданий).

Объем завала здания, получившего сильную степень разрушения, принимают равным половине от объема завала полностью разрушенного здания. Высота завала ( $h$ ):

$$h = \frac{\gamma H}{100 + 5H}, \quad (2)$$

где  $H$  – высота здания, м.

Отличительными особенностями технологии производства работ по демонтажу конструкций зданий и сооружений, разрушенных в результате чрезвычайных ситуаций техногенного характера, является наличие работ, отсутствующих в новом строительстве (рисунок 1) [18, 19].

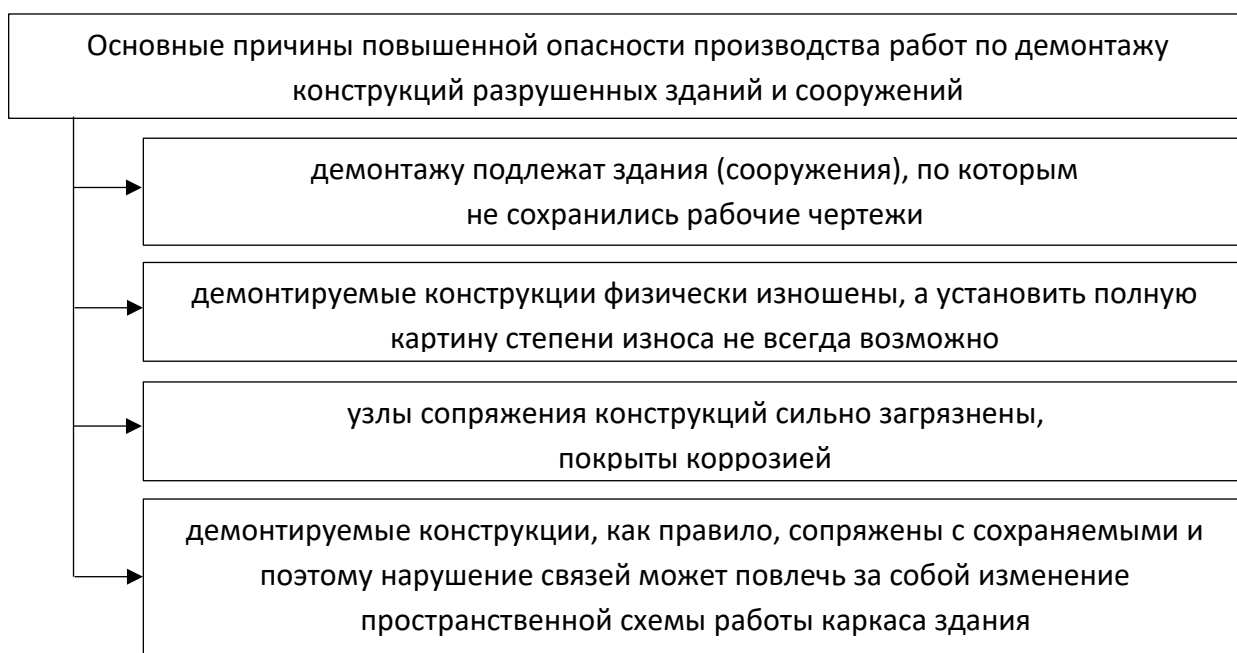


Рисунок 1. Основные причины опасности производства работ по демонтажу при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций техногенного характера

В новом строительстве отсутствуют такие работы как: проведение подготовительных мероприятий перед производством работ по демонтажу конструкций, предварительное усиление элементов конструкции для безопасного производства работ, складирование и транспортировка некондиционных строительных материалов, полученных в ходе демонтажа зданий (сооружений), к месту дальнейшей переработки для вторичного использования или утилизации на специальных полигонах.

В научных трудах большинства авторов определены следующие виды работ по демонтажу конструкции, в зависимости от степени разрушения зданий и сооружений (рисунок 2) [20, 21]. Работы по демонтажу следует осуществлять по принципу облегчения несущих конструкций. Необходимо учитывать, что при разрушении зданий и сооружений в результате чрезвычайных ситуаций



техногенного характера в результате деформаций и перераспределения нагрузок несущие элементы могут быть несущими (перегородки, оконные и дверные блоки, канализационные стояки и т.д.).

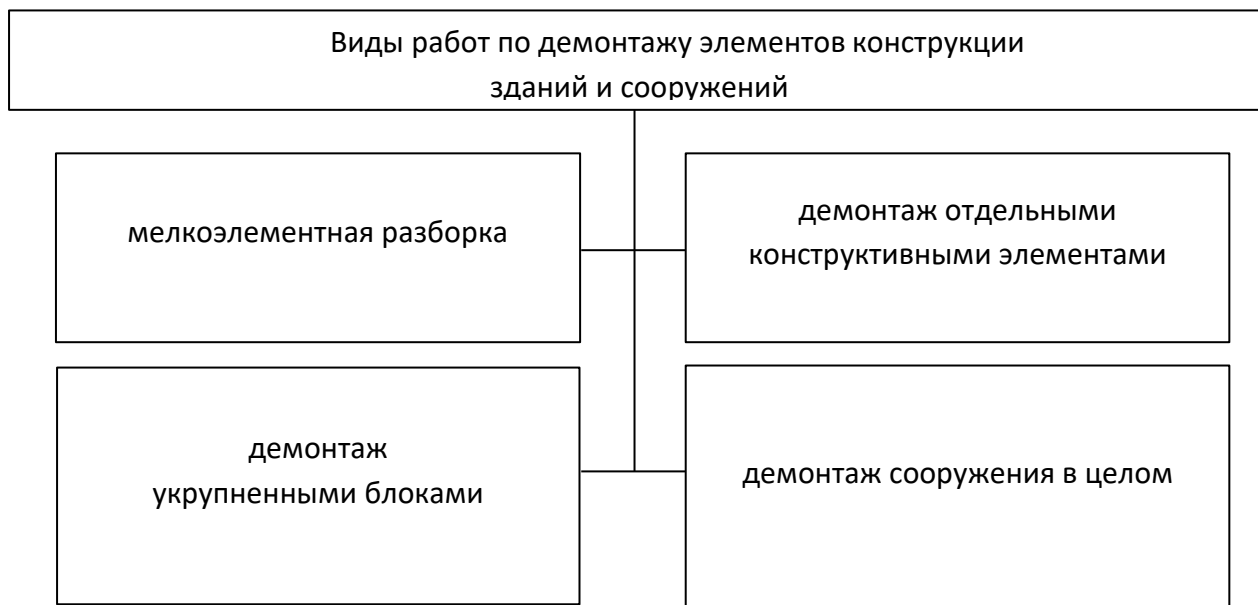


Рисунок 2. Виды работ по демонтажу конструкций зданий и сооружений

Следует также уделять внимание, чтобы удаление одной части здания или конструктивного элемента не вызывало обрушения других частей (конструктивных элементов) [22].

При ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций техногенного характера немаловажное значение имеет степень разрушения элементов конструкции. Равномасность демонтируемых элементов – важный показатель технологичности. Степень равновесности сборных элементов  $C_p$  для зданий и сооружений определяют по формуле

$$C_p = \frac{M_{cp}}{M_{max}}, \quad (3)$$

$$M_{cp} = \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{n}, \quad (4)$$

где  $\sum_{i=1}^n M_i$  – суммарная масса демонтируемых элементов, т;

$M_{cp}$  – средняя масса демонтируемых элементов, т;

$M_{max}$  – масса наиболее тяжелого элемента, т;

$n$  – общее число демонтируемых элементов, шт.

**Таким образом,** в ходе анализа особенных характеристик разрушений конструкций зданий и сооружений наносимые современными обычными средствами поражения остаются не исследованными варианты возможных разрушений зданий и сооружений, что указывает на непрогнозируемый и нелинейный характер наносимого ущерба. Специфическое разрушение зданий и

сооружений под воздействием современных средств поражения является одним из основополагающих факторов, определяющим дальнейшую технологию производства работ по демонтажу конструкций в зависимости от степени разрушения зданий и сооружений.

### Список литературы

1. Бирюков А.Н., Пресняков А.А. Перспективы производства демонтажных работ как способа интенсификации строительных материалов. В сборнике: Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2021 году. Сборник научных трудов РААСН. Российская академия архитектуры и строительных наук. Москва, 2022. С. 39-48.

2. Пресняков, А.А. Обоснование и оценка технико-экономических показателей технологий производства работ по демонтажу железобетонных конструкций / А.А. Пресняков, И.М. Таутиев // Цифровая трансформация социальных и экономических систем : Материалы международной научно-практической конференции, Москва, 27 января 2023 года / Отв. редактор И.А. Королькова. – Москва: Московский университет им. С.Ю. Витте, 2023. – С. 561-568. – EDN LHVKEC.

3. Бирюков А.Н., Таутиев И.М. Оптимизация процесса взаимодействия средств механизации при проведении демонтажных работ / Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования "РААСН" по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2021 году. Сборник научных трудов "РААСН". Российская академия архитектуры и строительных наук. Москва, 2022. С. 49-57.

4. Бирюков, А. Н. Влияние условий выполнения демонтажных работ на работоспособность строительных машин / А. Н. Бирюков, И.М. Таутиев, А. А. Пресняков // Цифровая трансформация социальных и экономических систем : Материалы международной научно-практической конференции, Москва, 27 января 2023 года / Отв. редактор И.А. Королькова. – Москва: Московский университет им. С.Ю. Витте, 2023. – С. 530-538. – EDN DYPAFE.

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, посвященной 190-летию Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (ЛИСИ– СПбГАСУ). Санкт-Петербург, 2022. С. 14-20.

6. Бирюков, А.Н. Взаимосвязь строительных машин в комплекте экскаватор-самосвал при проведении демонтажных работ зданий и сооружений / А.Н. Бирюков, И.М. Таутиев, А.А. Пресняков // 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. 301-307. – EDN CSWEDT.

7. Бирюков А.Н., Таутиев И.М., Пресняков А.А. Производство демонтажных работ зданий и сооружений с применением грузоподъёмных машин/В сборнике: Проблемы материально-технического обеспечения Росгвардии в современных условиях и пути их решения. Сборник научных статей XI научно-практической конференции с международным участием. Пермь, 2022. С. 23-27.

8. Бирюков А.Н., Бирюков Ю.А., Кравченко И.Н., Токарев Н.В. Подбор состава комплекта средств механизации в зависимости от способа выполнения демонтажных работ. Строительные и дорожные машины. 2018. № 3. С. 49-55.

9. Бирюков А.Н., Бирюков Ю.А., Токарев Н.В. Выбор средств механизации для выполнения демонтажных работ. Строительные и дорожные машины. 2017. № 11. С. 48-53.

10. Таутиев И.М., Бирюков А.Н. Основные методы выбора средств механизации при проведении демонтажных работ/В сборнике: Технология строительного производства. Материалы Всероссийской молодёжной научно-практической конференции, посвящённой 190-летию Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (ЛИСИ – СПбГАСУ). Санкт-Петербург, 2022. С. 14-20.

11. Бирюков А.Н., Таутиев И.М. Анализ современного состояния процесса выбора средств механизации при проведении демонтажных работ /В сборнике: Современные проблемы менеджмента в строительстве. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2022. С. 246-254.

12. Бирюков, А.Н. Исследование технико-экономических показателей технологий производства работ по демонтажу зданий и сооружений / А. Н. Бирюков, А.А. Пресняков, И.М. Таутиев // Совершенствование подготовки специалистов инженерных специальностей в контексте инновационного развития России. Проблемы и решения : материалы Международной заочной научно-практической и научно-методической конференции, Санкт-Петербург, Петергоф, 15 ноября 2022 года. – Санкт-Петербург, Петергоф: Военный институт (Железнодорожных войск и военных сообщений) ФГКВОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В.Хрулёва», 2023. – С. 265-270. – EDN AQECBV.

13. Бирюков, А.Н. Обоснование технологии разборки поврежденных зданий и сооружений / А.Н. Бирюков, А.А. Пресняков // Технология строительного производства : Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции, посвященной 190-летию Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (ЛИСИ - СПбГАСУ), Санкт-Петербург, 28–29 апреля 2022 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2022. – С. 36-39. – EDN SUTXTE.

14. Бирюков А.Н., Бирюков Ю.А., Бирюков Д.В., Бирюк А.Н., Таутиев И.М., Курашев Н.В., Симовин А.А., Розлач С.В. Программа распределения финансовых и временных ресурсов при оценке угроз экономической безопасности предприятий в системе эксплуатационного содержания объектов военной инфраструктуры. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023615726, 17.03.2023. Заявка № 2023612573 от 09.02.2023.

15. Таутиев И.М., Бирюков А.Н., Мокроусов А.С., Котровский А.А., Пресняков А.А., Титеев И.С., Курашев Н.В. Программа расчета базовой стоимости работ по мониторингу строительных конструкций зданий и сооружений. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023660518, 22.05.2023. Заявка № 2023618691 от 02.05.2023.

16. Таутиев И.М., Бирюков А.Н., Мокроусов А.С., Котровский А.А., Пресняков А.А., Курашев Н.В., Розлач С.В. Программа расчета комплекта машин для выполнения демонтажных работ при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023660552, 22.05.2023. Заявка № 2023618689 от 02.05.2023.

17. Таутиев И.М., Бирюков А.Н., Бирюков Ю.А., Пчёлкин В.О., Пресняков А.А., Абрамов А.К., Курашев Н.В. Программа расчета сметной стоимости эксплуатации машин и механизмов применяемых для выполнения демонтажных работ. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023660553, 22.05.2023. Заявка № 2023618686 от 02.05.2023.

18. Бирюков А.Н., Бирюков Ю.А., Таутиев И.М., Фомин В.П., Петров В.В., Курашев Н.В., Розлач С.В. программа расчета потребности в машинах и механизмах. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023666457, 01.08.2023. Заявка № 2023665751 от 27.07.2023.

19. Бирюков А.Н., Чулюков М.М. анализ применения роботизированной техники при выполнении строительно-монтажных работ. В сборнике: Актуальные проблемы естественных и технических наук. Сборник статей межвузовской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 17-26.

20. Гусев Н.Н., Бирюков А.Н., Бирюков Ю.А., Кучеренко А.О., Бирюков Д.В., Бирюков Н.А. Устройство для возбуждения непрерывных колебаний струны. Патент на изобретение RU 2728245 С1, 28.07.2020. Заявка № 2020107643 от 18.02.2020.

21. Бирюков Ю.А., Бирюков Д.В., Бирюков А.Н., Гляков М.Ю., Дикарев В.И., Вакуненко В.А., Цыбин Д.И., Пилипенко В.Ю. Система дистанционного контроля состояния резьбовых соединений строительных элементов и конструкций. Патент на изобретение RU 2696668 С1, 05.08.2019. Заявка № 2018141915 от 27.11.2018.

22. Целыковских А.А., Никитин Ю.А., Асташенко А.Н., Зубова Л.В., Бирюков А.Н. Методический подход к оцениванию и мониторингу рискоустойчивости системы управления инвестиционно-строительным проектом. Вестник Российского нового университета. Серия: Человек и общество. 2023. № 1. С. 43-54.

**Токарчук Владислав Валентинович**  
**ПРИНЦИП УПРАВЛЕНИЯ УСИЛИЯМИ В НЕСУЩИХ**  
**КОНСТРУКЦИЯХ СООРУЖЕНИЙ**

*Дальневосточный федеральный университет; Политехнический  
Институт; Департамент геоинформационных технологий; Приморский край,  
г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, 690922*

*Научный руководитель: Цимбельман Никита Яковлевич, к. т. н., доцент*

**Аннотация:** в статье приведены примеры возведённых сооружений (существующих или существовавших), в которых используется принцип управления усилиями.

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

### **Управляемые конструкции и принцип управления усилиями**

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 (изменяемый во времени) контроль над деформациями и усилиями с последующим своевременным их изменением в отдельных элементах сооружения или целиком в сооружении [1; 2]. Под принципом управления усилиями подразумевается управление НДС конструкции в целом или в отдельных её элементах.

### **Сооружения, в которых реализован принцип управления усилиями**

Среди эксплуатируемых объектов не просто выделить сооружения, в которых принцип управления усилиями автоматизирован и имеет определяющее значение в обеспечении прочности, устойчивости, жесткости и долговечности сооружения в целом. Обычно принцип управления усилиями является вспомогательным фактором в обеспечении надёжности сооружения, а именно реализован в отдельных частях сооружения, например, в её основной несущей конструкции или её части, а иногда и в ограждающих конструкциях.

### **Принцип управления НДС для контроля колебаний сооружения**

С помощью применения принципа управления НДС обеспечивается контроль колебания сооружения [3]. В этом случае управлению подвергаются частотные и амплитудные характеристики сооружения. Результатом этих действий являются гашение колебаний и исключение резонансных явлений с

помощью динамических гасителей колебаний. Практическая реализация этого направления служит защитой ряда высотных зданий от пагубного влияния сейсмических и ветровых воздействий. Динамические гасители колебаний представляют собой дополнительную массу, соединенную гибкими связями с несущими конструкциями. В случае совпадения основного периода собственных колебаний здания с одним из преобладающих периодов сейсмического воздействия масса гасителя начинает совершать колебания с амплитудами, значительно превышающими амплитуды колебаний здания. Возникающие при этом упругие и диссипативные силы в элементах гасителя, воздействуя на сооружение, уменьшают амплитуды его колебаний.

Наиболее известный пример применения динамического гасителя – пассивный монолитный демпфер высотного здания Taipei 101 [8]. Демпфер представляет собой шар-маятник массой 660 т, закреплённый стальными канатами в уровне 92 этажа. Нормальная амплитуда колебаний шара равна 10 см, максимальная амплитуда равна 150 см (ограничена специальным кольцом с дополнительными стопорами).

В высотном здании Shinhuku Mitsu (построено в 1974 г.) гашение колебаний обеспечивается шестью маятниками массой 300 т каждый, которые в 2015 г. были установлены на покрытии здания [4; 9]. В уровне с пятого по десятый этажи установлено 48 демпферов вязкого трения. Система маятников колеблется в противофазе к колебаниям здания во время сейсмического или ветрового воздействия. Шесть маятников на покрытии здания способны колебаться с некоторым отклонением друг от друга, что обеспечивает некоторое демпфирование при кручении.

На покрытии жилого высотного здания One Rincon Hill в Сан-Франциско установлен резервуар, вмещающий 189,25 м<sup>3</sup> воды. Резервуар разделен специальными перегородками, регулирующими движение жидкости. Резервуар является гасителем колебаний, в котором активной массой является жидкость. Функции этого гасителя колебаний аналогичны вышеописанным динамическим гасителям [4].

### **Принцип управления НДС в пневматических оболочках**

Одним из видов пневматических оболочек являются трансформирующиеся пневматические оболочки. Иное название таких конструкций – воздухоуправляемые [5]. Такие конструкции могут менять свою форму при изменении уровня избыточного давления воздуха и условий их опирания. Изменение геометрической формы конструкции позволяет приспособливать конструкцию к изменению нагрузки на систему и к изменению условий эксплуатации.

На всемирной выставке ЭКСПО-70 в Осаке была продемонстрирована «Башня Мицуи», способная менять свою высоту с 32 до 50 м. В случае превышения давления воздуха до 350 Па высота башни изменялась. Этот механизм служил защитой сооружения от критических ветровых воздействий [5].

В 1974 г. компания Крупп возвела в Рульцхайме (Rülzheim) здание клуба ("Dampfnudel"), покрытие которого представляет собой оболочку (пневмолинзу) диаметром 36 м, удерживаемую воздухом [5]. Оболочки формируют кольцевой карниз, который удерживается 16-ю оттяжками. Покрытие можно поднять с помощью потравливания оттяжек на 3,8 м, открыв при этом стены здания. К сожалению, в 1983 г. оболочку ударила молния и покрытие было уничтожено. В 1993 г. восстановленное покрытие снова было разрушено сильным ветровым воздействием. Сейчас здание реконструировано: применены традиционные конструкции без использования пневмолинз [10].

В Японии архитектором Ю. Мурата был разработан проект ресторана, покрытие которого представляет собой надувной грибовидный шар диаметром 23 м, опёртый на центральную стойку. Во время непогоды давление в шаре снижают и покрытие опускается, закрывая здание по периметру [5].

### **Принцип управления НДС в конструкциях мостов**

Наиболее простым в реализации и эффективным методом управления НДС сооружения является применение пригрузов (контргрузов; анкерующих элементов), удерживающих сооружение с помощью оттяжек. Примерами сооружений с системами анкерующих пригрузов являются мост через р. Эльбу в г. Риза (возведен в конце 19 века) [6], мост для трубопровода через р. Ваг [6], мост через р. Лемпа у Сан-Маркоса (Сальвадор). В этих мостах принцип управления НДС с помощью пригрузов является классическим предварительным напряжением конструкций. При этом преднапряжение создаётся на этапе возведения конструкции до начала её эксплуатации.

С помощью пригрузов и механических приводов, приводящих конструкции в движение, осуществляется изменение положения пролётных строений разводных мостов [7] (например, Троицкий и Дворцовый мосты в Санкт-Петербурге; мост Slauerhoff через р. Харлинггер в г. Леуварден, Нидерланды). В разводных мостах принцип управления НДС применяется для управления положения конструкций.

Совместное применение механических приводов и подвижных противовесов с системой оттяжек в конструкции мостов можно использовать для создания временного напряжения в конструкции, то есть для управления её внутренними усилиями (НДС) в процессе эксплуатации.

### **Заключение**

В строительстве накоплен достаточно ценный опыт возведения сооружений, в которых применены принципы управления усилиями и НДС. При этом принципы управления усилиями могут использоваться в различных целях: для перемещения части сооружения; для защиты сооружения или его внутреннего объёма от климатических воздействий; для гашения колебаний сооружения, вызванных ветровым или сейсмическим воздействием. В перечисленных в статье примерах принцип управления усилиями не отвечает в полной мере за надёжность сооружения, а служит скорее вспомогательным механизмом, сами сооружения – единичны (не массовое строительство) и являются, скорее, экспериментальными. Кроме того, отсутствуют данные о

применении в вышеперечисленных сооружениях систем автоматизированного управления НДС, что говорит об отсутствии систематизированного опыта применения таких систем в проектах возведённых эксплуатируемых сооружений.

### Список литературы

1. Перельмутер А.В. Управление поведением несущих конструкций / А.В. Перельмутер. – Киев: УФИМБ, 1998. – 148 с.
2. Абовский Н.П. Научно-образовательный комплекс «Управляемые конструкции» / Н.П. Абовский. – Красноярск, 2001. – 137 с.
3. Абовский Н.П. Управляемые конструкции: Учеб. Пособие / Н.П. Абовский. – Красноярск, 1998. – 433 с.
4. Саркисов Д.Ю. Сейсмостойкость зданий и сооружений: учебное пособие / Д.Ю. Саркисов. – Томск: ТГАСУ, ЭБС АСВ, 2021. – 364 с.
5. Ермолов В.В. Воздухоупорные здания и сооружения / В.В. Ермолов. – М.: Стройиздат, 1980. – 304 с.
6. Ференчик П. Предварительно напряженные стальные конструкции: Пер. с нем. / П. Ференчик, М. Тохачек. – М.: Стройиздат, 1979. – 423 с.
7. Руководство по проектированию разводных мостов / редактор: И.М. Стрович. – М: Транспорт, 1990. – 93 с.
8. Internet Archive – WaybackMachine [Электронный ресурс]. URL: [https://web.archive.org/web/20080831015128/http://www.motioneering.ca/User/Doc/pp\\_taipei101.pdf](https://web.archive.org/web/20080831015128/http://www.motioneering.ca/User/Doc/pp_taipei101.pdf) (дата обращения: 18.12.2023).
9. Mitsui Fudosan Co., Ltd [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mitsufudosan.co.jp/english/corporate/news/2015/0514/> (дата обращения: 19.12.2023).
10. Karnevalsgesellschaft Rot-Weiß "Die Stecher" e.V. Rülzheim [Электронный ресурс]. URL: <https://www.karneval-ruelzheim.de/dampfnudel/9-dampfnudel-historie.html> (дата обращения: 25.12.2023)



**Секция № 2. Основания и фундаменты, подземные сооружения**  
**Руководитель секции: Цимбельман Никита Яковлевич, к.т.н.,**  
**доц., директор департамента геoinформационных технологий**  
**Политехнического института (школы) ДВФУ**

**Арбузова Надежда Сергеевна**

**О МОДЕЛИРОВАНИИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО  
СОСТОЯНИЯ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОПОРЫ  
ОСВЕЩЕНИЯ С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХЛОРИДСОДЕРЖАЩЕЙ  
СРЕДЫ И СЛУЧАЙНЫХ СВОЙСТВ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ**

*Саратовский государственный технический университет, кафедра  
«Транспортное строительство», Саратов, улица Политехническая, дом 77,  
410054*

**Аннотация:** рассматривается задача моделирования поведения армированной железобетонной опоры освещения, подвергающейся воздействию нагрузок и агрессивной хлоридсодержащей среды, проникающей в тело опоры и приводящей к деградации свойств бетона и коррозии арматуры. При этом учитывается вероятностный характер процессов нагружения, механических и диффузионных свойств бетона и арматуры, а также вероятностный характер воздействия хлоридсодержащей среды и коррозионного износа арматуры. Моделируются четыре стадии расчетного поведения железобетонной опоры освещения. Приводятся методика и алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния и долговечности опоры освещения в хлоридсодержащей среде

**Ключевые слова:** долговечность, железобетонная опора освещения, воздействие хлоридсодержащей среды, коррозионный износ, методика моделирования

Как известно, для элементов транспортных сооружений, к которым относятся и опоры освещения, распространенной эксплуатационной средой является хлоридсодержащая среда, причиной появления которой является использование антиобледенителей, а также расположение конструкций на морских побережьях.

К настоящему времени имеется некоторый опыт разработки моделей деформирования и разрушения железобетонных конструкций в агрессивных условиях эксплуатации, но практически все эти модели являются детерминированными. В небольшом числе публикаций рассматривается вероятностное моделирование поведения железобетонных конструкций с использованием деформационных моделей, которое позволяет объединить статическую, геометрическую и физическую задачи строительной механики при анализе железобетонных конструкций [1-6].

В данной работе рассматривается задача моделирования поведения и оценки долговечности железобетонной опоры освещения с учетом вероятностного характера процессов нагружения, деформирования, воздействия хлоридсодержащей среды.

Проанализируем стадии расчетного моделирования поведения железобетонной опоры для следующего случая:

1) Считаем, что в момент ( $t = 0$ ) к опоре приложена определенная нагрузка, создающая в ней соответствующее напряженно-деформированное состояние.

2) Хлоридсодержащая среда начинает проникать в бетон и по мере проникания происходит изменение механических характеристик бетона защитного слоя. При этом в конструктивном элементе изменяется напряженно-деформированное состояние вследствие совместного действия нагрузки, агрессивной среды. Затем концентрация хлоридов в месте расположения арматурного стержня, наиболее близкого к поверхности конструктивного элемента, достигает критического уровня  $C_{кр}$ .

3) При продолжении процесса деградации бетона происходит коррозионный износ арматурных стержней, в месте расположения которых концентрация хлоридсодержащей среды превышает критическое значение  $C_{кр}$ .

4) Нарушение работы опоры освещения вследствие наступления предельного состояния какого-либо вида: достижение предельной деформации в любой точке бетонного сечения или достижение предельной деформации в арматуре.

Методика и алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния и долговечности железобетонной опоры освещения в хлоридсодержащей среде

Методика расчета железобетонной сваи учитывает стадии процесса взаимодействия железобетонной опоры с хлоридсодержащей средой, а алгоритм расчета представлен на рис. 1. Алгоритм построен с применением метода статистического моделирования, что позволяет учесть влияние разброса входных случайных параметров и получить статистические характеристики выходных расчетных параметров. В основе алгоритма – схема детерминированного расчета железобетонной опоры.

Моделирование ведется шагами по времени. В момент времени  $t=0$  (и соответственно при концентрации  $C=0$ ) расчет сводится к решению нелинейного разрешающего уравнения равновесия. При этом значения коэффициентов диаграммы деформирования в узловых точках определяются для исходного состояния материала при  $C=0$ . По найденному значению деформации определяются напряжения в бетоне и арматуре (в узловых точках). Для проверки точности получаемого решения используется уравнение равновесия (также и на каждом шаге по времени).

Затем устанавливаются граничные условия с учетом воздействия среды. На этапе деформирования железобетонной опоры во времени задача решается шагами по времени. На каждом шаге по времени определяются значения концентрации хлоридов в точках сечения, затем коэффициенты диаграммы деформирования бетона, зависящие от концентрации хлоридов в этих точках.

При выполнении условия начала коррозии арматуры (п. 6 алгоритма) определяется площадь арматурных стержней. На каждом шаге по времени после решения уравнения равновесия относительно деформации также определяются напряжения в сечении опоры. Для каждого момента времени во всех узловых точках производится проверка условия наступления граничной деформации.

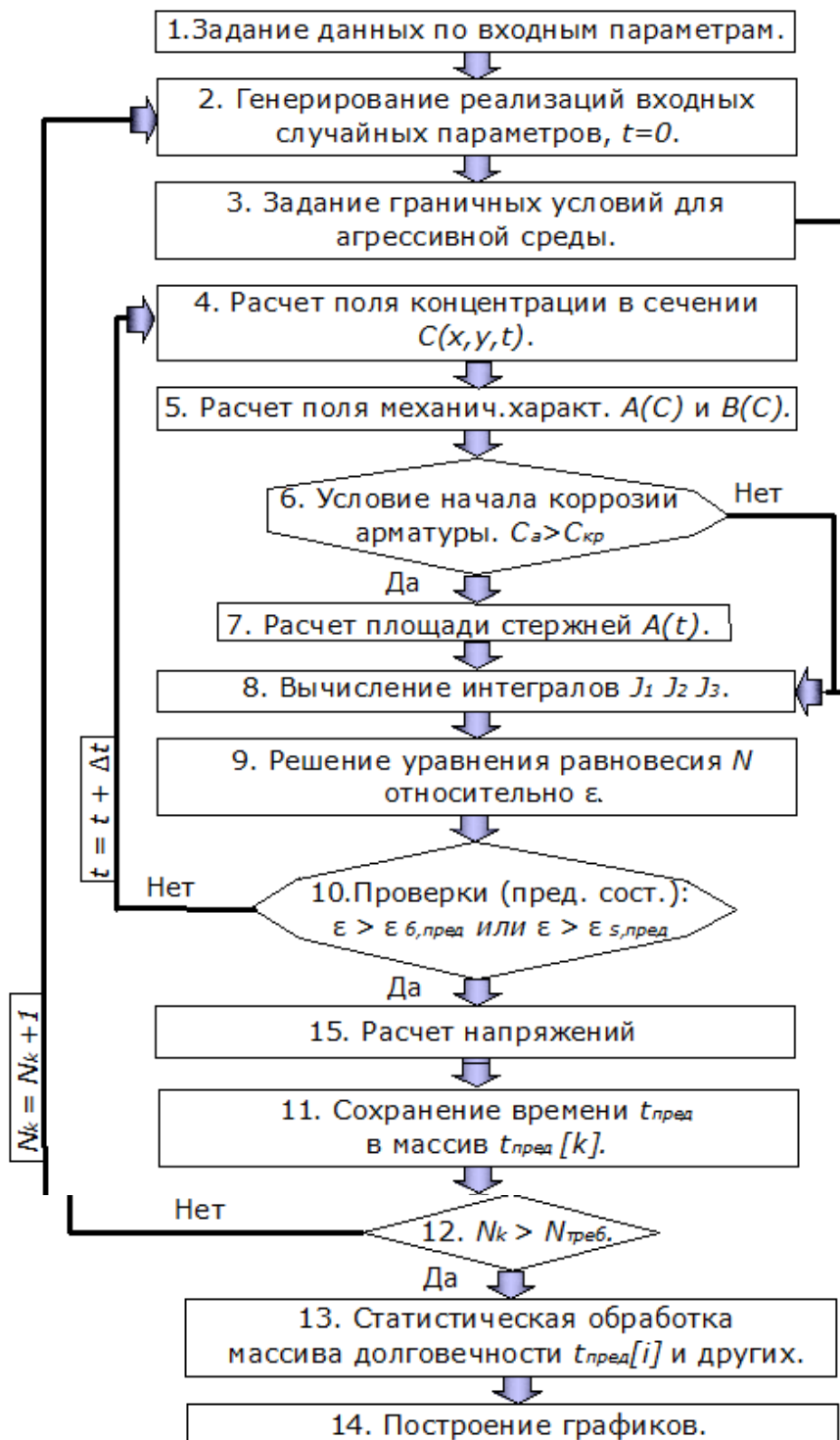


Рисунок 1. Алгоритм вероятностного расчета напряженно-деформированного состояния и долговечности железобетонной опоры освещения

С использованием разработанного программного комплекса был произведен расчет опоры. Частота сетки была принята  $60 \times 60$ . Области расположения армирующих элементов покрывались более частой сеткой. Как показали предварительные численные эксперименты, достаточный объем генерируемой последовательности случайных чисел, при котором гистограмма долговечности обладает устойчивостью, составил от 7000 до 12000 при уровне значимости  $\gamma = 0,9$ . Статистическая обработка результатов расчета производилась стандартными процедурами, для определения эмпирической обеспеченности  $P$  значений долговечности  $T_{cl}$  использовалась эмпирическая функция надежности.

Последовательность расчета обеспеченности для случайного параметра  $\tilde{X}$  при наличии гистограммы относительной частоты долговечности  $f(\tilde{X})$  (относительная частота при достаточном количестве испытаний приближается к теоретической кривой плотности вероятности) представляется в виде:

№ интервала гистограммы долговечности	1 интервал	2 интервал	...	$n$ -й интервал
$f_i(\tilde{X})$	$f_1$	$f_2$	...	$f_n$
$\sum_1^i f_i(\tilde{X})$	$f_1$	$f_1+f_2$	...	$\sum_1^n f_n$
Эмпирическая вероятность $\tilde{X}$ : $F_i(\tilde{X}) = \left( \sum_1^i f_i \right) \Delta$	$F_1 = f_1 * \Delta$	$F_2 = (f_1+f_2) * \Delta$	...	$F_n = \left( \sum_1^n f_n \right) \Delta$
Эмпирическая обеспеченность $\tilde{X}$ , %: $P_i(\tilde{X}) = (1 - F_i) * 100$	$P_1 = (1 - F_1) * 100$	$P_2 = (1 - F_2) * 100$	...	$P_n = (1 - F_n) * 100$

где  $\Delta$  – величина интервала гистограммы;  $f_i(\tilde{X})$  – относительная частота случайного параметра на  $i$  интервале гистограммы;  $F_i(\tilde{X})$  – эмпирическая вероятность случайного параметра на  $i$  интервале;  $P_i(\tilde{X})$  – эмпирическая обеспеченность случайного параметра на  $i$  интервале.

### Заключение

Законы распределения случайной величины (интегральный и дифференциальный) являются исчерпывающей характеристикой случайной величины с вероятностной точки зрения. Однако во многих вопросах практики нет необходимости характеризовать случайную величину полностью (законом распределения). Часто для решения задач бывает достаточно статистических характеристик случайной величины, таких как: выборочного среднего, дисперсии выборки, коэффициентов вариации, асимметрии и эксцесса, определяемых по известным формулам.

### Список литературы

1. Болотин В.В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений / В.В. Болотин. - М.: Стройиздат, 1971. – 254с.
2. Чирков В.П. Вероятностные методы расчета мостовых железобетонных конструкций. - М.: Транспорт, 1980. - 134с.
3. Васильев А.И. Вероятностная оценка остаточного ресурса физического срока службы железобетонных мостов / А.И. Васильев // Труды ЦНИИС. – М.: ЦНИИС, 2002. – Вып. 208. – С. 101-120.
4. Овчинников И.Г. Моделирование поведения железобетонных элементов конструкций в условиях воздействия хлоридсодержащих сред / И.Г. Овчинников, В.В. Раткин, А.А. Землянский. - Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2000. - 232 с.
5. Bob C. Probabilistic assessment of concrete structures durability / C. Bob // Safety, risk, reliability – trends in engineering. - Malta, 2001. – бр.
6. Межнякова А. В. Влияние вероятностного характера деградиационных процессов на долговечность армированных конструкций / И. Г. Овчинников, А.В. Межнякова // Вестник ВолгГАСУ. – 2008. – Вып. 11 (30). – С. 25-30.

**Выходцев Иван Алексеевич<sup>1</sup>, Дёмкин Андрей Михайлович<sup>2</sup>**  
**РАЗМЕЩЕНИЕ ОБЪЕКТОВ В ПОДЗЕМНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ.**  
**ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ**

<sup>1</sup>*Военный учебный центр при Дальневосточном федеральном университете; Приморский край, г. Владивосток, ул. Экипажная 18 строение 1, 690001*

<sup>2</sup>*Сахалинский государственный университет. гор. Южно-Сахалинск, ул. Ленина, д. 288*

*Научный руководитель – Козлов Павел Геннадьевич*

**Аннотация.** В отечественной и зарубежной практике прослеживается тенденция к объединению торгово-бытовых предприятий, зрелищных, культурно-просветительных, административных и спортивных учреждений, транспортных сооружений в крупные комплексы с подземной частью. Такие комплексы располагают на основных транспортных магистралях, их пересечениях, в транспортных узлах, под крупными городскими площадями либо улицами. В статье рассматриваются экономические аспекты создания и эксплуатации таких подземных сооружений.

**Ключевые слова:** защита населения, подземные сооружения, социально-экономический

Комплексное освоение подземных пространств - это современный и прогрессивный подход к организации городского пространства и неотъемлемая часть концепции городского развития.

В связи с многочисленными проблемами, с которыми сталкиваются мегаполисы, строительство подземных объектов становится все более востребованным во всем мире. Подземные сооружения имеют ряд важных характеристик, которые отличают их от наземных объектов (рис. 1).

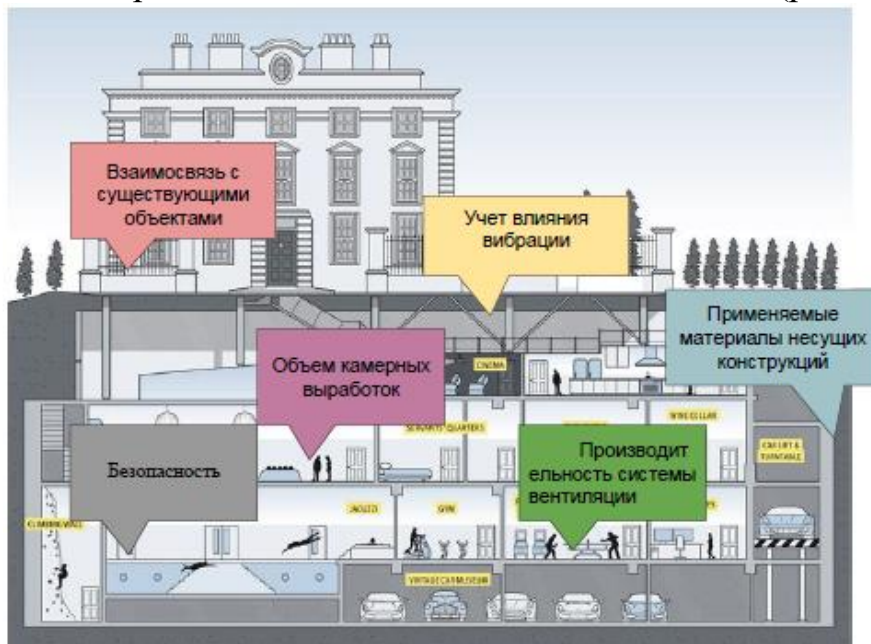


Рисунок 1. Критерии определения экономической эффективности строительства многоэтажных подземных сооружений.

Преимущества подземных защищенных общественных зданий и сооружений очевидны. Такие здания позволяют сохранить природную среду (рельеф, микрорельеф, растительность) и улучшить ландшафтную архитектуру. Кроме того, они обеспечивают независимость от сложных геологических условий (высокий уровень грунтовых вод, крутой рельеф, горное строительство), экономию энергоресурсов за счет стабильной тепловой среды в течение всего года, а также уменьшение площади участка за счет использования кровельных покрытий на крыше. Кроме того, (и это, пожалуй, самый важный аспект), они также являются надежным средством защиты населения в особое время года. По этой причине многие эксперты из разных стран считают этот тип зданий перспективным. При наличии коммерческих, коммунальных и складских помещений основной экономический эффект достигается за счет экономии на эксплуатационных расходах и сокращения использования дорогостоящих городских территорий. В отечественной практике стоимость городских территорий определяется с учетом инженерных, экономических и социально-экономических факторов [1].

Рациональное использование подземных пространств - это, прежде всего, создание максимально благоприятной среды для жизни человека. Однако необходимо преодолеть и психологические трудности. Основная проблема при

использовании подземных пространств - стереотипы людей. Это связано с тем, что люди привыкли жить над землей и никто не хочет жить в «лачуге». Даже если подземный дом лучше наземного, большинство населения выберет второй вариант. Прежде чем предлагать потребителю новые условия жизни, комфортные и благоприятные для человечества, необходимо сформировать в сознании людей новые идеи [2].

Вторая проблема - высокая стоимость этого метода. Очень удобно перестраивать существующие полости или туннели на поверхности под себя. Однако рытье и создание новых полостей не так затратно, но и не всегда возможно.

Растущий во всем мире интерес к комплексному освоению городских подземных пространств во многом обусловлен, с одной стороны, необходимостью интенсивного развития, а с другой - особенностями подземных сооружений:

- освобождает жилые помещения от антропогенных воздействий;
- обеспечивает естественную защиту подземных объектов. Эта защита одновременно является механической, тепловой, акустической и гидравлической;
- устранить неблагоприятное влияние климатических условий на эксплуатацию подземных сооружений;
- обеспечивает безопасность от всех видов внешних воздействий (природных, техногенных и диверсионных);
- сохранение больших площадей ценных земель и сохранение городских исторических ландшафтов, представляющих культурную и историческую ценность;
- снизить негативное воздействие потенциально опасных производств;
- сократить потребление энергии на отопление и охлаждение, тем самым снизив эксплуатационные расходы по сравнению с расходами на содержание альтернативных наземных сооружений;
- упростить и оптимизировать транспортные операции;
- экономить время людей в сфере транспортных услуг, приближая реализацию услуг к потребителю;
- повысить комфорт и безопасность жизни людей;
- увеличить продажи и прибыль торговых объектов, предприятий питания и напитков, сферы услуг, развлечений и спорта. Это обусловлено тем, что они удобно расположены в местах наибольшей концентрации пешеходов и пассажиров, которые являются потенциальными пользователями этих объектов.

Комплексное использование подземных пространств необходимо для всех категорий городов, разница лишь в названии и количестве сооружений, которые целесообразно размещать под поверхностью с точки зрения капиталовложений и социально-экономических выгод.

Основными факторами, влияющими на расположение объектов, созданных в подземных пространствах, являются:

- градостроительные параметры (например, площадь, длина, высота);
- топографические, природные, геологические и гидрологические условия
- функциональное назначение различных зон (жилые, промышленные и другие нежилые зоны);
- характер застроенной территории.

Готовясь к возможным военным угрозам, многие страны наращивают темпы строительства военных объектов. К ним относятся командные пункты, шахты баллистических ракет, склады боеприпасов, оружия и вооружений, бомбоубежища, убежища гражданской обороны, склады горюче-смазочных материалов, военные заводы, лаборатории и исследовательские центры.

Подземные сооружения предназначены для обеспечения готовности к стихийным бедствиям, включая растениеводческие хозяйства, хранилища продуктов питания, хранилища питьевой воды, коммуникационные туннели, хранилища замороженных продуктов, склады овощей и фруктов, заводы по производству, упаковке и хранению.

С экономической точки зрения это означает подземное строительство в современных условиях, а не «дорогие удовольствия» прошлого. В конце концов, учитывая угрозу национальной безопасности, наружные здания более уязвимы для террористических атак, чем подземные (повредить тоннель гораздо сложнее, чем взорвать мост), а наземные объекты должны быть защищены от последствий стихийных бедствий. Подземные сооружения должны располагаться как можно ближе к местам, где они необходимы.

В новых социально-экономических условиях расширяются и меняются значение и методы оценки земельных ресурсов, необходимо определять коммерческую эффективность и инвестиционную привлекательность проектов.

### **Заключение**

Для достижения экономического эффекта необходимо решить следующие вопросы:

- обобщение отечественного и международного опыта использования подземного пространства;
- анализ существующих проектов подземного строительства;
- анализ существующих методик определения эффективности инвестиций и оценки стоимости земли;
- исследование методик оценки эффективности подземного строительства.

### **Список литературы**

1. Манохин П. Е., Морозов Р. В., Павинев И. А. Анализ факторов, определяющих эффективность подземного строительства // Молодой ученый. - 2016. - № 22. - С. 44-46.



2. Адигамова З.С., Лихненко Е.В. Освоение подземного пространства как решение проблем урбанизации городов // В сборнике: Многопрофильный университет как региональный центр образования и науки. Материалы всероссийской научно-практической конференции, 2009. С. 4 - 11.

3. Макишин В.Н., Козлов П.Г., Федюк Р.С., Мочалов А.В., Панарин И.И. Технологическая эффективность использования городских подземных сооружений двойного назначения // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2019. № 1 (38). С. 150-160.

**Выходцев Иван Алексеевич<sup>1</sup>, Демкин Андрей Михайлович<sup>2</sup>, Мочалов Александр Викторович<sup>3</sup>, Козлов Павел Геннадьевич<sup>1</sup>**  
**ВОЗДЕЙСТВИЕ СЕЙСМОВЗРЫВНЫХ ВОЛН НА ОСНОВАНИЕ**  
**ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

<sup>1</sup>*Военный учебный центр при Дальневосточном федеральном университете; Приморский край, г. Владивосток, ул. Экипажная 18 строение 1, 690001*

<sup>2</sup>*Сахалинский государственный университет. гор. Южно-Сахалинск, ул. Ленина, д. 288*

<sup>3</sup>*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д.2;*

**Аннотация.** Взрывные работы широко применяют в строительстве: устройство оросительных каналов, котлованов под водоемы, уплотнение просадочных и лессовых грунтов, возведение камуфлетных фундаментов, дробление фундаментов, подлежащих сносу или реконструкции зданий и сооружений, валка высотных объектов (дымовых труб, башен и пр.). Значительный объем работ с применением взрывов выполняют при реконструкции зданий и сооружений, а взрывные работы проводят с соблюдением требований безопасности.

**Ключевые слова** - взрыв, здания и сооружения, камуфлет, основания, сейсмозрывная волна,

В практике количественной оценки сейсмических эффектов взрывов принято использовать критерий как функцию расстояния (от точки детонации до точки наблюдения) и массы заряда. Анализ состояния зданий и сооружений, расположенных на территориях, подвергаемых техногенному воздействию взрывных работ, и оценка результатов замеров реакций конструкций показывает, что применение обобщенного показателя допустимой скорости смещения частиц, не учитывающего работы конструкции, не может служить окончательным критерием сейсмической взрывобезопасности сооружений [1].

В работах авторов [2-3] рассматриваются примеры ведения взрывных работ, в том числе в грунтах различной степени прочности.

Степень разрушения здания и выбор метода взрыва определяются поставленной задачей, наличием взрывного оборудования и временем,

отведенным на взрывные работы. Если здание необходимо вывести из строя на короткое время или разрушить его так, чтобы не перекрыть дороги и не повредить соседние здания, достаточно взорвать концентрированные или удлиненные взрывчатые вещества (желательно в нишах или рукавах) в стенах внутренних колонн и столбах, поддерживающих межэтажные перекрытия (колонны). В случае сейсмического взрыва достаточно взорвать концентрированные или удлиненные взрывчатые вещества (предпочтительно в нишах или гильзах) во внутренних стенах колонн и в колоннах, поддерживающих междуэтажные перекрытия.

При оценке степени воздействия сейсмозрывных волн (СВВ) на здания и сооружения при взрыве следует учитывать распределение напряжений при преломлении СВВ на конструкцию, концентрацию напряжений в отдельных узлах конструкции и развитие очагов разрушения в местах концентрации напряжений. Процесс воздействия СВВ и ПБВ на здания можно разделить на три отдельных физико-механических процесса:

1. Воздействие сейсмозрывных волн на фундамент здания и преломление в материал фундамента волны напряжений.
2. Ударное воздействие воздушных волн на здание.
3. Напряжения, возникающие в основании здания при колебаниях, вызванных воздействием сейсмозрывных волн.

В случае наличия в стене основания оконного или дверного проема, то для определения значений напряжения вокруг проема можно использовать решение задачи о равномерном одноосном растяжении плоскости с отверстием [1]. При этом распределение напряжений имеет вид:

$$\sigma_x = \frac{\sigma_H}{2m(\bar{r}^2 - m)} \left[ (1+m^2) + (2m\bar{r} - 1) + \frac{(1+m)(1-m)^2 \cdot (\bar{r}^2 + m) \cdot \bar{r}^2}{(\bar{r}^2 - m)^2} \right]. \quad (1)$$

$$\bar{r} = \frac{|y|}{2R} + \sqrt{\left(\frac{y}{2R}\right)^2 - m}, \quad m = \frac{a-b}{a+b}, \quad R = \frac{a+b}{2}, \quad y = \pm a,$$

где  $a, b$  – длины полуосей проема;  $\sigma_x$  - напряжение в элементе конструкции;  $m$  – толщина элемента,  $r$  – предполагаемый радиус разрушения

Если необходимо полностью обрушить здание на месте (без зачистки отдельных поверхностей), следует пробурить сквозные отверстия одинаковой высоты и ширины во всех стенах колонн путем детонации концентрированной, расширенной или скважинной взрывчатки. Засыпка должна располагаться на высоте низа оконного или дверного проема в первом этаже или подвале.

В результате размещения такого подпора здание обрушивается ("садится") на свой фундамент. В результате ширина обломков будет составлять до половины высоты стены, а высота обломков - примерно треть высоты здания.

При подрыве бескаркасного здания с помощью неконтактных взрывчатых веществ, расположенных внутри помещения, эффект аналогичен обрушению здания на месте, но обломки разлетаются во все стороны гораздо дальше.

В зданиях без подвалов неконтактные взрывчатые вещества размещаются на первом этаже. В зданиях с подвалами такие взрывные устройства целесообразно размещать на цокольном этаже. Если стены имеют одинаковую толщину, взрывчатку следует размещать в центре помещения; если стены не имеют одинаковой толщины, взрывчатку следует размещать ближе к толстым стенам.

При взрывных работах в коренных породах или твердом грунте для устройства полостей заряды, закладываемые на критическую глубину  $h_{crit}$ , называются предельными зарядами на разрыв или максимальными камуфлетными. Заряды, размещаемые на глубине, превышающей критическую, называются камуфлетными.

Вес предельных зарядов рыхления (наибольших камуфлетов) определяется при показателе действия взрыва  $n=0$ .

Механическое воздействие камуфлетных взрывов (рис. 1) представлено:

- - образование полостей (пустот) или зон смещения в почве (породе);
- - дроблением (разрушением) грунта (породы) с нарушением сплошности частиц в пределах определенной зоны, называемой зоной разрушения;
- - сотрясение грунта (породы) в определенных зонах, называемых зонами опасного сотрясения, с разрушением или повреждением находящихся в них сооружений.

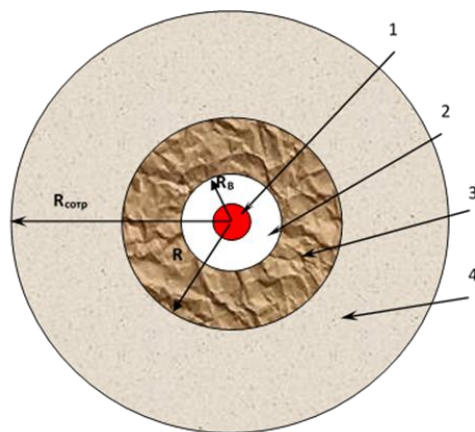


Рисунок 1. Схема механического действия взрыва камуфлета: 1 – заряд; 2 – зона вытеснения; 3 – зона разрушения; 4 – зона опасного сотрясения

Указанные зоны при сосредоточенных зарядах имеют форму сферы, а при удлинённых зарядах – форму эллипсоида.

Радиус зоны вытеснения грунта (породы), образуемой взрывом камуфлета  $R_{\text{выт}} = m r_0$ ,

где  $m$  - коэффициент, зависящий от свойств ВВ и формы заряда (таблица 6.6),

$r_0$  – радиус заряда в метрах.

Радиус заряда  $r_0$  вычисляется по формулам:

- для сосредоточенных зарядов

$$r_0 = (C)^{1/3} / 18,7 \quad (2)$$

- для удлинённых зарядов

$$r_0 = (C_y)^{1/2} / 70 \quad (3)$$

**Величина радиуса зоны опасного сотрясения  $R_{\text{сотр}}$**  зависит от веса взрывающего заряда  $C$ , от характеристики грунта (породы)  $K$  и от прочности расположенного в нем сооружения, для которого должна быть определена эта величина.

Для сооружений из дерева, кирпича и бутового камня, расположенных в обычных (земляных) грунтах, радиус зоны опасного сотрясения примерно в полтора раза больше радиуса зоны разрушения грунта.

За внешней границей зоны опасного сотрясения простирается зона безопасности, наименьший радиус которой равен радиусу зоны опасного сотрясения. Чтобы сооружение не было разрушено или повреждено взрывом, его необходимо располагать так, чтобы оно находилась за пределами зоны опасного сотрясения.

**Пример.** Заряд взрывчатого вещества весом 500 кг расположен в грунте (суглинок) на глубину 11 м. На расстоянии 15 м от заряда находится фундамент здания. Требуется определить, можно ли провести подрыв ВВ не оказав влияния на целостность фундамента; образуется ли воронка на поверхности земли. Необходимые расчетные данные получим из справочника по взрывному делу [4]

**Решение:**

1. Определим значение удельного расхода ВВ ( $K$ ). Для суглинка по справочной таблице принимаем  $K=1,15$ .

2. Из формулы  $C = K M h^3$  определяем коэффициент  $M = \frac{C}{K \cdot h^3} = \frac{500}{1,15 \cdot 11^3} = 0,33$

3. По справочной таблице при  $M=0,33$  показатель взрыва равен  $n=0$ . Следовательно, при взрыве бомбы на поверхности грунта воронка не образуется.

4. Для определения размера образовавшейся при взрыве бомбы пустоты найдём коэффициент, зависящий от свойств ВВ и формы заряда  $m=5,7$ , а также

радиус заряда в метрах  $r_0 = \frac{\sqrt[3]{C}}{18,7} = \frac{\sqrt[3]{500}}{18,7} = 0,42 \text{ м.}$

5. Определим размеры образовавшейся при взрыве бомбы пустоты (*радиус зоны вытеснения*):  $R_{\text{выт}} = m \cdot r_0 = 5,7 \cdot 0,42 = 2,42 \text{ м}$ .

6. Найдём *радиус зоны разрушения*, образуемой в грунте при взрыве заряда:

$$R_{\text{разр}} = 1,13 \cdot \sqrt[3]{\frac{C}{K}} = 1,13 \cdot \sqrt[3]{\frac{500}{1,15}} = 8,56 \text{ м}.$$

7. *Радиус зоны опасного сотрясения* равен  $R_{\text{сотр}} = 1,5 \cdot R_{\text{разр}} = 1,5 \cdot 8,56 = 12,84 \text{ м}$ .

8.  $R_{\text{выт}}, R_{\text{разр}}, R_{\text{сотр}} \leq 15$ , следовательно, фундамент находится на безопасном расстоянии. Образовавшаяся после взрыва в грунте пустота может представлять опасность для человека и техники ввиду возможного обрушения её свода.

### **Заключение**

Заряды, рассчитанные по указанным правилам, обеспечивают разрушение зданий при отсутствии забивки оконных и дверных проемов. Поэтому устройство такой забивки, хотя она несколько повышает эффект разрушения, необязательно. Заметное влияние на понижение эффекта разрушения зданий может оказывать наличие пустого пространства под полом первых этажей, в которых располагаются неконтактные заряды. При наличии пустоты под полом ее объем включается в расчетный объем помещений.

Методика расчета воздействия сейсмозрывных волн на элементы конструкции позволяет прогнозировать развитие очагов разрушения в конструктивных узлах и скорость разрушения здания.

### **Список литературы.**

1. Менжулин, М.Г. Развитие очагов разрушения в зданиях и сооружениях при воздействии сейсмозрывных ударных воздушных волн / М. Г. Менжулин, А. А. Ивановский // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № S8. – С. 228-238.

2. Пятков, Д.А. Способы устройства траншей при фортификационном оборудовании позиций / Д.А. Пятков, П.Г. Козлов // Инженерное дело на Дальнем Востоке России : Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции, Владивосток, 17–21 января 2023 года / Дальневосточный федеральный университет, Военный учебный центр. – Владивосток: Изд-во Военного учебного центра ДВФУ, 2023. – С. 26-29.

3. Павленко, А.Д. Вопросы строительства подземных защитных сооружений / А.Д. Павленко, П.Г. Козлов // Образование. Наука. Производство : Материалы X Международного молодежного форума с международным участием, Белгород, 01–15 октября 2018 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. – С. 1442-1445.

4. Козлов П.Г. Взрывное дело: учеб. пособие/ Козлов П.Г., Муталибов З.А., Мочалов А.В., Тимохин А.М, Шальнев В.М., Кудряшов С.Р., Федюк Р.С., Панарин И.И.; Дальневосточный федеральный ун-т. – Владивосток: учебное электронное издание УВЦ ДВФУ, 2018. – 236 с.

Гультяев Роман Сергеевич<sup>1</sup>, Марков Виталий Иванович<sup>1</sup>, Краев Андрей Николаевич<sup>2</sup>

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ ПРИ ОБЪЕМНЫХ И СДВИГОВЫХ ДЕФОРМАЦИЯХ ГРУНТА

<sup>1</sup>Тюменский Индустриальный Университет, базовая кафедра АО  
«Мостострой-11», г. Тюмень, ул. Луначарского, 2

<sup>2</sup>Тюменский Индустриальный Университет, кафедра строительных  
конструкций, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2

**Аннотация.** В статье представлены результаты поисков способа определения коэффициента вязкости талых грунтов при объемных и сдвиговых деформациях.

**Ключевые слова:** Глинистые грунты, реологические свойства, ползучесть, кривая ползучести, коэффициент вязкости.

Грунты обладают различными механическими свойствами, а именно упругостью, пластичностью и ползучестью, характерными для твердых материалов. Под ползучестью понимается способность грунта деформироваться с течением времени под постоянной нагрузкой. В современной практике проектирования фундаментов временным аспектам часто не уделяется должного внимания. Вместо этого используются коэффициенты запаса и характеристики грунта, которые косвенно учитывают влияние времени.

Ползучесть грунта напрямую зависит от его вязкости. Учет этого параметра позволяет рассчитать осадку фундамента с учетом деформации с течением времени [1]. Таким образом, при проектировании важно учитывать вязкость грунта, чтобы обеспечить надежность и устойчивость фундамента.

По характеру деформаций грунта различают упругие и пластические деформации. Упругие деформации возникают при воздействии нагрузок, не превышающих структурную прочность грунта, то есть не приводящих к разрушению связей между его частицами. Эти деформации характеризуются способностью грунта возвращаться в исходное состояние после снятия нагрузки. Напротив, пластические деформации приводят к переуплотнению скелета грунта, перемещению частиц относительно друг друга [2].

Деформации грунта, связанные с его пластичностью, делятся на объемные и сдвиговые. Объемные деформации приводят к изменению объема порового пространства грунта, что может привести к его уплотнению. Сдвиговые деформации, в свою очередь, вызывают изменение первоначальной формы грунта и даже могут привести к его разрушению [2].

Объемные деформации и объемный коэффициент вязкости можно исследовать при испытании грунтов в компрессионных приборах [3].

Компрессионные приборы могут иметь различную конструкцию, но обычно включают в себя верхнюю и нижнюю пластины, между которыми помещается образец грунта. Одним из производителей компрессионных приборов является компания НПП «Геотек» (рис. 1). При испытаниях нагрузку на грунт постепенно

увеличивают и проводят измерения деформаций и давления. Современные приборы часто используют автоматизированные системы для мониторинга и записи данных. Сюда могут входить датчики, преобразователи и системы регистрации для обеспечения точности и эффективности экспериментов.



Рисунок. 1. Компрессионный прибор компании НПП «Геотек»

При испытании грунтов в компрессионном приборе измеряются деформации образца грунта, через определенные интервалы времени. На основании полученных данных имеется возможность построить график зависимости деформации от времени, то есть кривую ползучести (рис. 2) [3].



Рисунок. 2. Кривая ползучести [4]

По кривой ползучести определяют скорость деформирования образца [3], по формуле:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta t} \quad (1)$$

где:  $\dot{\varepsilon}$  - скорость деформации грунта;

$\Delta\varepsilon$  - разность деформаций грунта;

$\Delta t$  – продолжительность периода деформирования образца.

Коэффициент объемной вязкости  $\eta_V$  учитывается в уравнении объемного деформирования [1]:

$$p = \eta_V \cdot \dot{\epsilon} \quad (2)$$

где:  $p$ - нагрузка прикладываемая на исследуемый грунт;  
 $\dot{\epsilon}$ - скорость деформации грунта.

Выполнив преобразования, получим выражение:

$$\eta_V = \frac{p}{\dot{\epsilon}} \quad (3)$$

Коэффициент вязкости сдвига можно определить при испытании глинистых грунтов на ползучесть в приборе одноплоскостного среза [3].

Для проведения испытаний по одноплоскостному срезу с постоянной скоростью деформации используют стандартные срезающие устройства, например, прибор испытания грунтов методом одноплоскостного среза НПП «Геотек» (рис. 3). Эти устройства должны иметь возможность устанавливать определенные скорости деформации и поддерживать их постоянство на протяжении всего эксперимента. Предпочтительно использовать автоматизированные приборы с возможностью регистрации деформаций самописцами.



Рисунок. 3. Прибор испытания грунтов методом одноплоскостного среза НПП «Геотек»

Изменение абсолютной деформации грунта с течением времени и увеличение силы сдвига с течением времени отображены на схематических графиках (рис. 4).

Порог ползучести  $\tau_{lim}$ , определяемый графиком зависимости времени от деформации, можно рассчитать как точку пересечения касательных к двум участкам кривой (рис. 4).



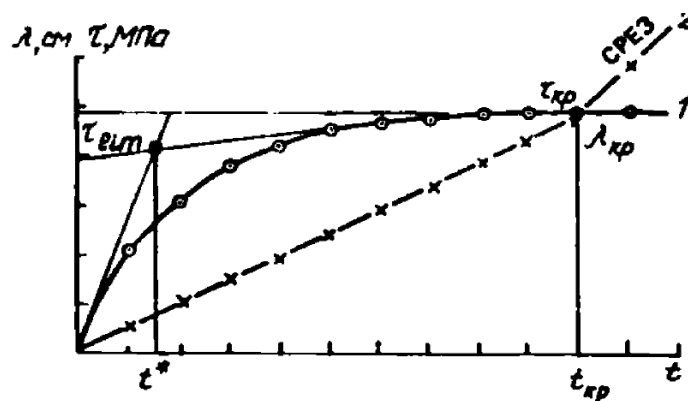


Рисунок 4. Образец графического оформления результатов испытаний грунта в условиях одноплоскостного среза [3]

Порог ползучести  $\tau_{lim}$ , – начальное касательное напряжение, выше которого грунт переходит в состояние ползучести.

Расчет коэффициента вязкости сдвига осуществляется по формуле:

$$\eta = \frac{\tau_{кр} - \tau_{lim}}{u} \cdot d \quad (4)$$

где:  $\tau_{кр}$  – предельное сдвигающее усилие, при котором произошло разрушение образца (срез);

$u$  – скорость сдвиговой деформации;

$d$  – диаметр образца.

Коэффициент вязкости грунта при сдвиговых деформациях связан с коэффициентом вязкости при объемных деформациях [1]. Зависимость между этими коэффициентами вязкости  $\lambda$  описывается формулой:

$$\lambda = \frac{3 \cdot \eta \cdot \eta_V}{\eta + \eta_V} \quad (5)$$

где:  $\eta$  – коэффициент вязкости сдвига;

$\eta_V$  – коэффициент объемной вязкости.

Таким образом, проанализированы способы определения коэффициента вязкости талых грунтов для объемных и сдвиговых деформаций.

Использование коэффициента вязкости в инженерных расчетах позволяет приблизить теоретические прогнозы осадок зданий и сооружений во времени к реальным значениям.

### Список литературы

1. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов: учеб. пособие для строительных вузов. М.: Высшая школа, 1978. 447 с.
2. Специальные разделы механики грунтов и механики скальных грунтов : учеб. пособие / А.В. Мащенко, А.Б. Пономарев, Е.Н. Сычкина. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. унта, 2014. – 176 с.
3. Рекомендации по определению параметров ползучести и консолидации грунтов лабораторными методами / ПНИИИС — М.: Стройиздат, 1989, 64 с.

4. Механика грунтов. Т. 1 : учебник / К.В. Королев, А.М. Караулов. — М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2021. — 400 с.

**Мухаметзянов Ильгизар Фархатович, Баранов Андрей Сергеевич**  
**ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР РЕЖИМНЫХ ФАКТОРОВ**  
**ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИКРОТУРБИН**

*Военный учебный центр при Дальневосточном федеральном университете;  
Приморский край, г. Владивосток, ул. Экипажная 18 строение 1, 690001  
Научный руководитель – Ибрагимов Дамир Ирекович, к.т.н., доц.*

УДК 621.438.1

**Аннотация:** В работе представлены все режимные факторы, оказывающие наибольшее влияние на эффективность осевых парциальных турбин, полученные по средствам анализа литературы. В результате удалось выявить наиболее весомые из них, с точки зрения воздействия на КПД. К ним можно отнести: отношения давлений на входе в сопловой аппарат к статическим давлениям на выходе из ступеней и отношение окружной скорости рабочего колеса к скорости звука в критическом сечении сопел и др. Учет всех приведённых данных позволит достичь наилучшего КПД при проектировании осевой парциальной микротурбины.

**Ключевые слова:** режимные факторы, микротурбина, КПД

**Введение**

Повышение энергетической эффективности, одна из важнейших проблем которую пытаются решить исследователи как отечественные, так и зарубежные при разработке новых и усовершенствовании уже существующих энергетических установок в различных отраслях промышленности. Данное направление в технике всегда в приоритете, было и будет актуальным. В судовой энергетике в качестве главных и вспомогательных двигателей часто используются полноразмерные турбины. Но в настоящее время существует необходимость использования двигателей, в которых жестко ограничены массогабаритные показатели и расход рабочего тела в связи со спецификой их применения. И вот здесь на первый план выходят микротурбины которые отвечают данным требованиям, но их КПД в настоящий момент не достигает желаемых значений и поэтому требуется проведение дальнейших научных изысканий для его повышения [1]. Микротурбины на судах и кораблях используются в качестве приводных двигателей: пневмоинструмента, нефтеперекачивающих насосов, турбогенераторов, воздушных турбонасосов аварийных партий и в качестве главных двигателей подводных обитаемых аппаратов. Также они нашли широкое применение и в других отраслях, например, в нефтедобывающей промышленности, электроснабжении и многих других.

При проектировании любой энергетической установки, в первую очередь, стараются достичь максимально возможного КПД. Для этого необходимо провести комплексный анализ режимных и конструктивных параметров, влияющих на энергетическую эффективность осевых парциальных микротурбин на основе полного анализа технической литературы. В данной статье рассмотрим только режимные факторы, влияющие на КПД осевых парциальных микротурбин. Определим степень их влияния на эффективность осевых парциальных микротурбин и выберем наиболее независимые из них.

### Режимные факторы, влияющие на эффективность турбины

1. *Характеристическое число ( $u/c_1$ )* – показывает отношение окружной скорости на среднем диаметре рабочего колеса к скорости потока на выходе из соплового аппарата (СА).

Зайцев В.И. [2, 3] приводит формулу, которая позволяет нам определить значение окружного КПД для активной ступени.

$$\eta_u = 2 \cdot \varphi^2 \cdot u/c_1 \cdot (\cos \alpha_1 - u/c_1) \cdot (1 + \psi \cdot \cos \beta_2 / \cos \beta_1), \quad (1)$$

где  $\varphi$  ( $\psi$ ) – коэффициент скорости СА (показывает отношение скорости рабочего тела на выходе из СА к его теоретической скорости);  $\alpha_1$  – угол выхода рабочего тела из СА;  $\beta_1$  ( $\beta_2$ ) – углы входа(выхода) рабочего тела в (из) рабочее колесо (РК).

Можно сделать вывод, что величина  $u/c_1$  оказывает значительное влияние на эффективность осевой парциальной микротурбины.

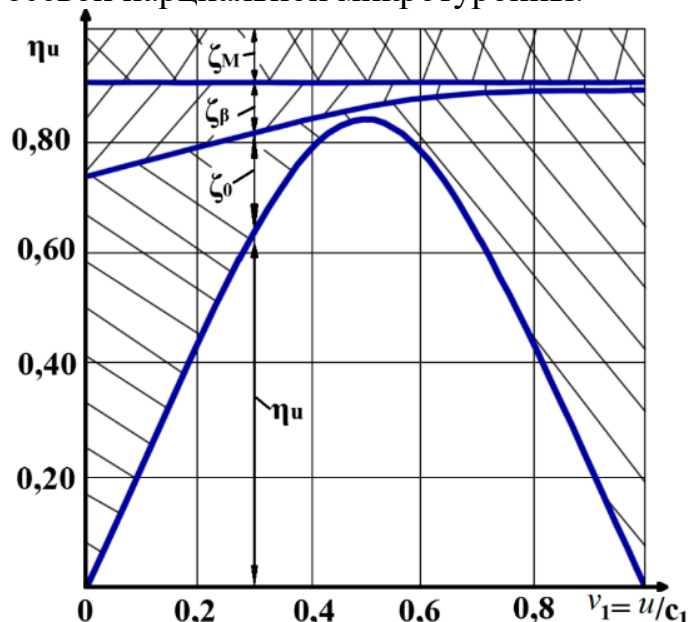


Рисунок 1. Зависимость окружного КПД активной ступени от отношения скоростей

Независимо от того, что  $\varphi$  и  $\psi$  постоянны. На рисунке 1 видим, что для каждого  $v_1$  выбран соответствующий профиль лопаток с углом  $\beta_1$ , который позволяет беспрепятственно входить рабочему телу в межлопаточные каналы. Благодаря профилю лопаток рабочее тело не меняет характер обтекания лопатки при разных  $v_1$ . [2, 3, 4]

Представим зависимость окружной эффективности реактивной ступени на рис 2.

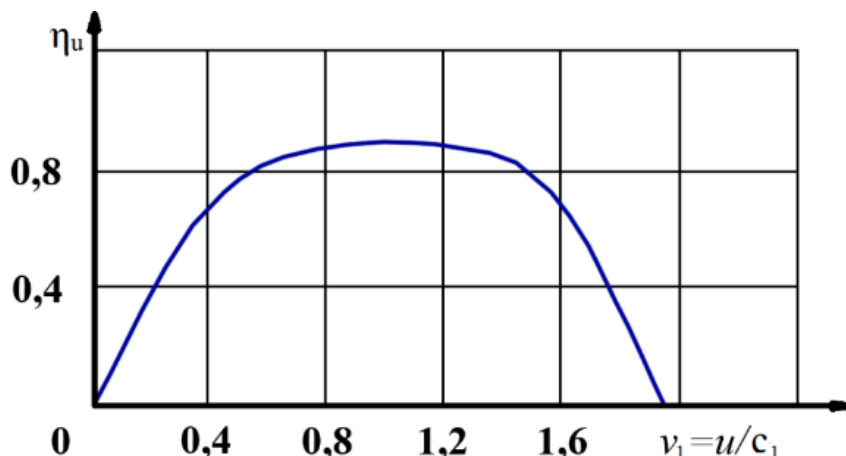


Рисунок 2. Зависимость окружного КПД реактивной ступени ( $\rho = 0,5$ ) от характеристического числа  $v_1 = u/c_1$  ( $\alpha_1 = 12^\circ$ ;  $\varphi = \psi = 0,95$ ) [5]

КПД, как внутренней, так и окружной, зависит от отношения скоростей. На рисунке 3, показана зависимость  $\eta_i$  и  $\eta_u$ . В результате вычитания относительных потерь и вентиляции из ординат кривой  $\eta_i$  получается данная зависимость  $v_1 = u/c_1$  (или  $v_\phi = u/c_\phi$ ).

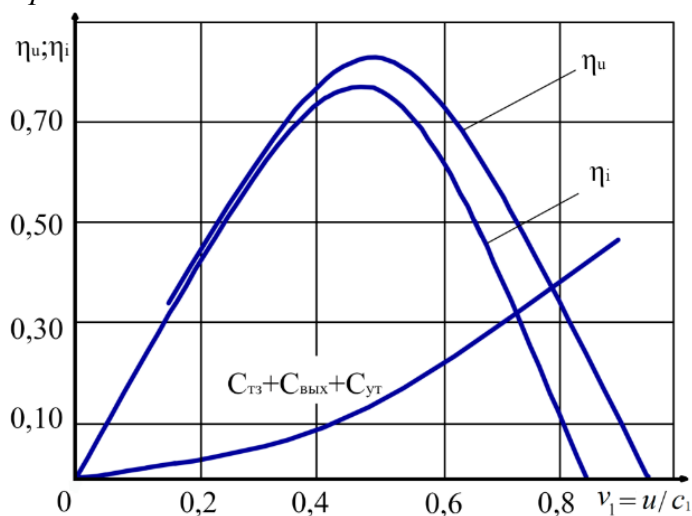


Рисунок 3. Зависимость окружного КПД реактивной ступени ( $\rho = 0,5$ ) от отношения скоростей  $v_1 = u/c_1$  ( $\alpha_1 = 12^\circ$ ;  $\varphi = \psi = 0,95$ ) [2, 3, 4]

В связи с возрастанием  $v_1$  увеличиваются и потери от выколачивания, трения, вентиляции, происходит смещение оптимума  $\eta_i$  к  $\eta_u$  в сторону меньших значений  $v_1$ .

Кривую  $\eta_{0л} = f(u/c_\phi)$ , показанную на рисунке 4, [6, 7] с учётом степени реактивности. Так же на рис. 4 обозначены точки эффективности, включающие в себя потери от подсоса и утечки пара.

Для определения КПД ступеней, так же используют зависимости, которые были получены в результате испытаний серии ступеней в экспериментальной турбине.

На рис. 5 показаны зависимости ступеней активного типа. Исследование проводили при  $\varepsilon = 0.65 \dots 0.75$ .

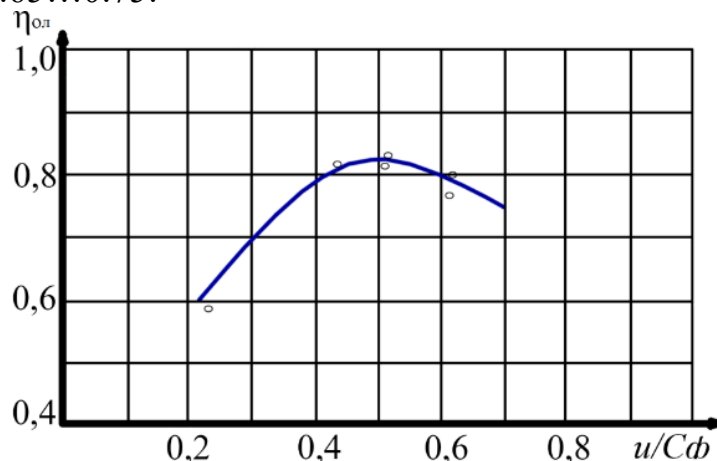


Рисунок 4. КПД на лопатках экспериментальной турбины [6, 7]

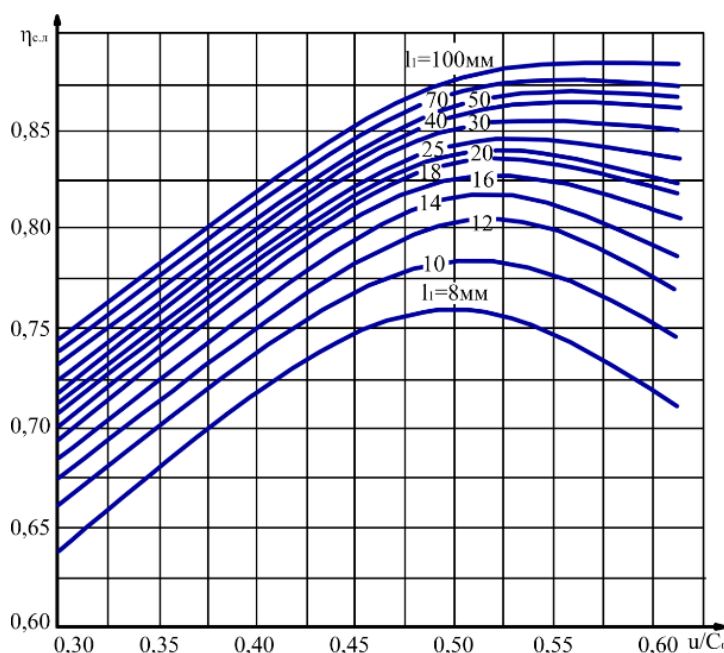


Рисунок 5. Эффективность ступеней активного типа серии КТЗ-МЭИ

В работе [8] показаны кривые лопаточной эффективности одиночной ступени. (рис. 6). Автор предлагает использовать зависимость (2) и вводить поправки в случае, если при расчёте лопаточной эффективности ступени происходит отклонение от условий.

$$\eta_{ол} = \eta_{ол}^0 k_{\delta} k_{\varepsilon} k_{кр} k_d k_{b_l} k_{Re} k_{вс}, \quad (2)$$

где  $k$  – поправочный коэффициент, учитывающий отклонение параметров от ранее принятых.

Так же автор утверждает, что введение поправок недостаточно, в связи с тем, что каждый коэффициент зависит от определяющего параметра. Но в действительности данный коэффициент есть функция от нескольких параметров.

2. Коэффициент скорости соплового аппарата ( $\varphi$ ). Данный коэффициент оказывает наибольшее влияние на эффективность ступени.

Исследователи [9, 10] при изучении влияния  $\varphi$  на эффективность выявили, что при уменьшении коэффициента скорости на 1% эффективность ступени падает на 2%.

3. Коэффициент скорости рабочего колеса ( $\psi$ ) – оказывает сравнительно не большое влияние на эффективность ступеней одновенечной турбины, в отличии от  $\varphi$ . Но в многоступенчатых турбинах  $\psi$  влияет на эффективность наравне с коэффициентом скорости соплового аппарата.

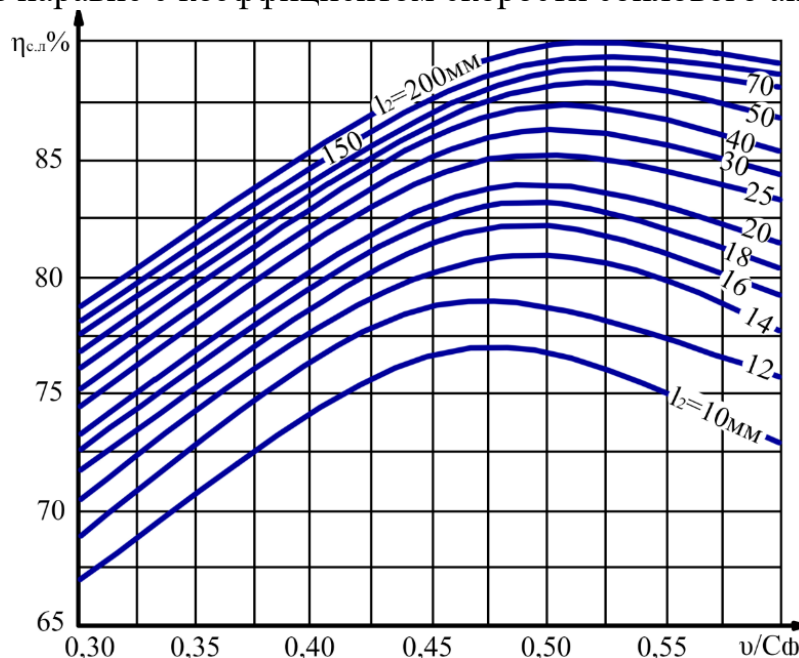


Рисунок 6. Эффективность модельных ступеней активного типа [8]

Диаметр ступени – 1 м; осевой зазор по бандажу – 1,2 мм; радиальный зазор – 0,8 мм; толщина кромок сопел – 0,6 мм; толщина кромок рабочих лопаток – 0,6 мм; хорда сопловых лопаток – 52 мм; хорда рабочей лопатки – 30 мм; эффективный угол выхода из СА – 12...15°; эффективный угол выхода из рабочего колеса – 17...22°;

$Re = 5 \cdot 10^5$ ; отношение давлений на ступень – 0,70...0,75

В работе [11] прослеживается влияние коэффициента скорости рабочего колеса на изменение мощности: если повысить  $\psi$  на 2 % мощность ступени вырастет на 1,66 %.

4. Степень реактивности ( $\rho_T$ ) – значительно влияет на эффективность турбины. При оптимальных характеристиках и одинаковых окружных скоростях в активной ступени, в отличии от реактивной, происходит значительный теплоперепад. Это даёт нам возможность сократить количество ступеней.

К положительным свойствам реактивной ступени можно отнести: увеличение эффективности реактивной ступени при одинаковых  $\alpha_1$  и  $\varphi$ , в отличии от активной ступени, у которой КПД увеличивается, но в меньшей степени. Это связано с тем, что профиль рабочих лопаток реактивной ступени менее изогнут и более пологий, следовательно, потери энергии меньше.

В работе [12] сказано, что наибольшая эффективность ступени с относительно не большой и отрицательной степенью реактивности получается при малом значении  $u/c_s$ .

5. *Потери от трения рабочего тела о диск рабочего колеса ( $N_{тв}$ ).* Происходят при соприкосновении рабочего тела о диск рабочего колеса. Эти потери присущи только активной ступени и зависят от геометрических характеристик лопаток, окружной скорости, зазоров и степени парциальности.

Для расчета потерь от трения существует ряд полуэмпирических формул, которые основываются на зависимости потерь от плотности рабочего тела, среднего диаметра ступени, длины лопаток, окружной скорости и степени парциальности. Автор [13] приводят пример одной из таких формул - формулу Стодоль.

6. *Утечка рабочего тела ( $\Delta G_y$ ).* Потери энергии, связанные с утечкой рабочего тела в реактивной ступени примерно равны 10...15%. В свою очередь, в активных степенях потери связанные с  $\Delta G_y$  меньше в 5 раз в связи с тем, что в активных ступенях более развито уплотнение.

В исследовании [14] показывается, что при определенной частоте вращения и значении теплоперепада  $\Delta G_y$  пропорционально  $(u/c_\phi)^2$ . Чем больше потери от утечек, тем меньше данная зависимость.

7. *Число Рейнольдса ( $Re$ ).* Существует достаточно много научных работ [15, 16, 17], которые освещали вопрос о влиянии числа Рейнольдса на эффективность ступени. В данных работах, отмечается, что влияние  $Re$  на эффективность турбины зависит от режима её работы и особенностей ступени.

С уменьшением значения  $Re$  эффективность малорасходных турбин падает [11]. При уменьшении величины  $Re$  при постоянных параметрах с  $2 \cdot 10^5$  до  $2 \cdot 10^3$  эффективность осевых парциальных микротурбин падает примерно на 1.5...3% [11].

Анализ опытных данных [16] подтверждает влияние числа  $Re$  на эффективность и выводы авторов, приведённые выше.

Так как, показатели влияния числа  $Re$  на эффективность турбины, значительно отличаются у разных исследователей, было предложено общее значение величины по относительному числу Рейнольдса ( $\bar{Re} = Re/Re_{aem}$ ). Данная величина показывает степень удаления режима работы ступени от начала автомодельности.

8. *Число Маха ( $M_1$ )* оказывает значительное влияние на эффективность турбинной ступени [11], вследствие его сильного влияния на КПД соплового аппарата. При постоянных геометрических характеристиках в осевых парциальных микротурбинах при  $u/c_1 \geq 0.2$  в случае изменения  $M_{1из}$  происходит существенное изменение эффективности.

9. *Отношение давлений на турбинную ступень ( $\pi_T$ ).* КПД турбины возрастает при снижении значения  $\pi_T$  [3]. Это можно объяснить уменьшением относительной части энергии, соответствующей скорости на выходе при относительно малых перепадах энтальпий.

Результаты исследований более подробно представлены в литературе [15]. Выводились зависимости эффективности при разных значениях  $\pi_T$ . Данные параметры авторы получили путем их последовательного определения, как одновенечных, так и двух-венечных турбин. Одним из главных преимуществ данных авторов является подбор оптимальной решетки и определение коэффициента потерь для каждой исследуемой турбины.

10. Коэффициент комплексной мощности ( $\bar{N}_{комп}$ ) [16].

$$\bar{N}_{комп} = \left( N_T / P_0^* \sqrt{T_0^*} \right) \cdot \left( n / \sqrt{T_0^*} \right)^2, \quad (3)$$

где  $N_T$  – внутренняя мощность турбины; кВт;  $n$  – частота вращения, мин<sup>-1</sup>;  $P_0^*$  – начальное давление, Па;  $T_0^*$  – температура торможения, градусы Кельвина или Цельсия 5%

Данный коэффициент используется как критериальный комплекс, так как наиболее часто задаётся степень расширения, частота вращения, а также мощность турбины, давление и температура на входе.

Величина расчётного КПД (рис. 7) дает нам понять реальное значение, которое можно получить при оптимизации основных параметров в процессе проектировании турбин.

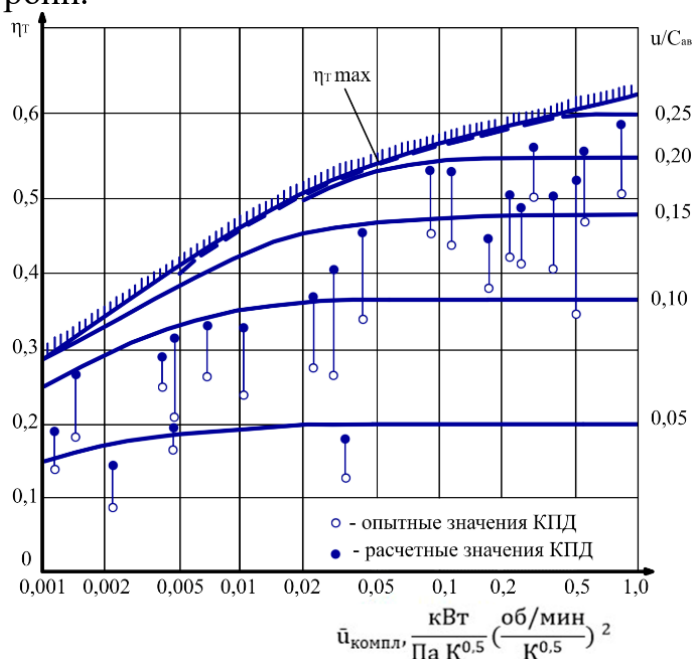


Рисунок 7 Сравнение опытных и расчетных данных по эффективности одноступенчатых турбин с одиночными соплами [5].

11. Угол атаки ( $i$ ). О влиянии угла атаки на эффективность ступени говорится во многих источниках [14]. При положительном значении  $i$  падает экономичность ступени, в связи с более худшими условиями при обтекании рабочих лопаток. А если значение  $i$  отрицательное, то уменьшается вероятность такого явления как срыв потока, в следствии чего растет эффективность. Однако при больших отрицательных значениях падает эффективность, так как процесс обтекания корытца рабочей лопатки ухудшается.



12. *Универсальные характеристики турбинной степени.* В литературе [18], автор, взяв за основу теорию подобия, предлагает использовать параметры подобия  $G(T_1)^{0.5}/p_1$  и  $n/(T_1)^{0.5}$  для того, чтобы построить характеристику турбины, которую возможно применить при любых  $T_1$  и  $P_1$ .

### **Заключение**

В результате анализа технической литературы были выявлены следующие режимные факторы влияющие на энергетическую эффективность осевых парциальных микротурбин:  $u/c_1$  ( $u/c_\phi$ );  $\varphi$ ;  $\psi$ ;  $\rho_T$ ;  $N_{mv}$ ;  $\Delta G_{ym}$ ;  $Re$ ;  $M$ ;  $\pi_T$ ;  $\lambda_u$ ;  $\bar{N}_{\text{комп}}$ ;  $\bar{G}_{\text{комп}}$ ;  $i$ ;  $G(T_1)^{0.5}/p_1$ ;  $n/(T_1)^{0.5}$ .

- отношение окружной скорости рабочего колеса на среднем диаметре к скорости потока рабочего тела при выходе из сопел соплового аппарата;
- коэффициенты скорости соплового аппарата и рабочего колеса;
- степень реактивности;
- потери на трение и вентиляцию рабочего тела;
- утечка рабочего тела;
- число Рейнольдса;
- число Маха;
- отношение давления перед сопловым аппаратом к давлению за РК;
- комплексная мощность и комплексный расход;
- угол атаки;
- универсальные характеристики турбинной ступени.

Необходимо отметить, что для исследования КПД осевых парциальных микротурбин, необходимо учитывать влияние совокупности этих факторов при различных их абсолютных значениях.

Для качественного исследования энергетической эффективности осевых парциальных микротурбин необходимо учитывать общее влияние факторов, которые оказывают наиболее сильное воздействие на КПД и являются независимыми. К ним можно отнести: отношение давления торможения на входе в сопловый аппарат к статическому давлению на выходе из ступени и отношение окружной скорости рабочего колеса к скорости звука в критическом сечении сопла. Как видно из представленного обзора подобные исследования проводились многими видными учеными в данной области, но следует заметить, что комплексного влияния выбранных факторов отношение давления торможения перед сопловым аппаратом, к давлению за ступенью микротурбины –  $\pi_T$  и безразмерная окружная скорость,  $\lambda_u$  не исследовались, а значит является актуальным и новым видением данного вопроса.

### **Список литературы**

1. Ибрагимов Д.И. Совершенствование эксплуатационных характеристик судовой осевой парциальной микротурбины с одиночным соплом // автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дальневосточный федеральный университет. Владивосток, 2019

2. Ибрагимов Д.И. Совершенствование эксплуатационных характеристик судовой осевой парциальной микротурбины с одиночным соплом // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дальневосточный федеральный университет. Владивосток, 2019

3. Fershalov, A.Yu., Fershalov, Yu.Yu., Fershalov, M.Yu. Principles of designing gas microturbine stages // Energy, 2021, 218, 119488. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119488>.

4. Ибрагимов Д. И., Камаев Н. А., Кузнецов Д. А. Результаты исследования влияния режимных и конструктивных факторов на энергетическую эффективность микротурбин // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 4-4(42). – С. 147-151.

5. Фершалов М.Ю., Фершалов Ю.Я., Алексеев Г.В. Степень реактивности малорасходной турбины с малыми конструктивными углами выхода сопел соплового аппарата // Научное обозрение. 2013. № 1. С. 149-153.

6. Ибрагимов, Д. И. Влияние угла выхода сопел и безразмерной скорости газа на степень реактивности ступени осевой микротурбины // Вопросы образования и науки: теоретический и практический аспекты: Международная научно-практическая конференция, Самара, 25 декабря 2015 года. – Самара: Общество с ограниченной ответственностью "Офорт", 2015. – С. 332-333.

7. Алексеев Г.В., Фершалов М.Ю., Фершалов Ю.Я., Луценко В.Т. Обоснование и выбор метода исследования степени реактивности малорасходных турбин // Научное обозрение. 2012. № 2. С. 322-331.

8. Research Data of Turbine Nozzles of 5-9 Degree Outlet Angles / A. Yu. Fershalov, M. Yu. Fershalov, Yu. Ya. Fershalov [et al.] // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 770. – P. 547-550. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.770.547

9. The Design of the Nozzle for the Nozzle Box Microturbines / A. Yu. Fershalov, M. Yu. Fershalov, Yu. Ya. Fershalov [et al.] // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 789-790. – P. 203-206. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.789-790.203

10. Ibragimov, D. I. Research Data of Microturbine Nozzles with Outlet Angles Under 9 Degree / D. I. Ibragimov, A. Mochalov, Yu. Ilinskiy // International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017, Saint-Petersburg, 16–19 мая 2017 года. – Saint-Petersburg, 2017. – P. 493-498. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.506

11. Fershalov A.Yu., Fershalov M.Yu., Fershalov Yu.Ya., Sazonov T.V. Results of the study rotor wheels supersonic microturbines with a large angle of rotation of the flow // Applied Mechanics and Materials. 2015. Т. 752-753. С. 884-889. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.752-753.884

12. Фершалов Ю.Я. Моделирование, анализ и совершенствование газодинамических характеристик судовых осевых сверхзвуковых малорасходных турбинных ступеней // автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Дальневосточный федеральный университет. Владивосток, 2015

13. Фершалов Ю.Я. Совершенствование сверхзвуковых осевых малорасходных турбин // автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербургский гос. технич. ун-т. Дальневосточ. гос. технич. ун-т. Владивосток, 1999

14. Влияние угла атаки на эффективность рабочих колес сверхзвуковых микротурбин / М.Ю. Фершалов, А.Ю. Фершалов, Д.И. Ибрагимов, Н.А. Камаев // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2018. – № 2(35). – С. 43-48. DOI: 10.5281/zenodo.1286015

15. Sazonov T.V., Fershalov Y.Y., Fershalov M.Y., Fershalov A.Y., Ibragimov D.I. Experimental installation for the study of nozzles microturbines // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 635–637. – P. 155–158. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.635-637.155

16. Fershalov A.Yu., Fershalov Yu.Ya., Fershalov M.Yu., Sazonov T.V., Ibragimov D.I. Analysis and optimization of efficiency rotor wheels microturbines // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vols. 635–637. – P. 76–79. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.635-637.76

17. Fershalov M.Yu., Fershalov Yu.Ya., Fershalov A.Yu., Sazonov T.V., Ibragimov D.I. Microturbines degree of reactivity // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vols. 635–637. – P. 354–357. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.635-637.354

18. Fershalov Y.Y., Fershalov A.Y., Fershalov M.Y. Microturbine with new design of nozzles // Energy. 2018. T. 157. С. 615-624. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.153>

**Панарин Игорь Иванович**

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ  
ТОРКРЕТИРОВАНИЯ: ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ  
ПАРАМЕТРЫ**

*Военный учебный центр при Дальневосточном федеральном университете;  
Приморский край, г. Владивосток, ул. Экипажная 18 строение 1, 690001  
Научный руководитель – Федюк Роман Сергеевич, д.т.н, доцент*

**Аннотация.** Общий накопленный износ зданий и сооружений требует проведение комплекса ремонтных мероприятий, направленных на усиление несущих стен и конструкций зданий и сооружений различного назначения. Торкретирование, как способ обеспечения быстрого и надежного решения данной задачи.

**Ключевые слова:** торкретирование, торкрет-бетон, мокрый способ, сухой способ, технологические параметры, героторный насос, физический износ зданий, усиление зданий и сооружений, отскок.

Вопросами устранения общего накопительного износа зданий и сооружений, влияющего на определение текущей стоимости объекта, затрат на

ремонт и модернизацию занимались многие Российские [1, 2, 3] и зарубежные ученые [4, 5, 6]. Согласно аудиторам Счетной палаты РФ [7], из 16270 защитных сооружений, состоящих на учете в МЧС РФ в качестве объектов гражданской обороны (ГО), 95% являются непригодными для эксплуатации по прямому назначению из-за износа. Анализ этих и других трудов доказывает необходимость усиления несущих стен и конструкций действующих зданий и сооружений с использованием современных строительных материалов, отвечающим нормативным требованиям в строительной отрасли.

Перспективным направлением в этом вопросе является производство строительных материалов с применением не традиционного сырья - отходов промышленности (золошлаковых смесей) и строительства (бетонного лома) [8].

Использованием вторичных ресурсов при производстве строительных материалов в последних годы занимались многие отечественные и зарубежные исследователи. Научная школа под руководством д.т.н. В.С. Лесовика и д.т.н. В.В. Строковой БГТУ им. В.Г. Шухова [9] изучает применение зол тепловых электростанций в качестве наполнителей цементных строительных материалов. Научный коллектив Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого под руководством д.т.н. Н.И. Ватина, с зарубежными учеными [10], занимается вопросами эффективного применения отходов теплоэнергетики. Больших успехов в производстве бетона с высокими эксплуатационными характеристиками, добились китайские ученые, применив модифицированную золу-уноса и микрокремнезем [11].

Благодаря системному изучению структурообразования цементного камня получены эффективные композиционные цементы и торкрет-бетоны на его основе с применением местного сырья и отходов предприятий промышленности (золошлаковых смесей) и строительства (бетонного лома) для комплексного ремонта подземных сооружений [12].

Таким образом, установлено:

1. Что на здания и сооружения городской инфраструктуры действует большое число воздействий, приводя к физическому износу.

2. Общий накопленный износ зданий и сооружений требует проведение комплекса ремонтных мероприятий, направленных на усиление несущих стен и конструкций зданий и сооружений различного назначения.

3. Поиск и расширение номенклатуры новых видов сырья решит задачу проведения комплекса ремонтных работ по усилению зданий и сооружений. Ценность подобных сырьевых ресурсов повышается, если попутно происходит утилизация различных отходов, например, промышленности (гидроудаленных золошлаковых смесей) и строительства (бетонного лома).

4. Разработка малозатратной технологии получения полиминеральной добавки в композиционный цемент путем обогащения золошлаковой смеси позволит получить значительный экономический эффект с одновременным решением экологической задачи.

5. Поэтому создание составов и совершенствование технологии торкрет-бетонов на базе композиционных цементов с улучшенным набором свойств,

позволяющим обеспечить быстрое и надежное восстановление существующих зданий и сооружений, является актуальной научной задачей.

Термин торкретирование - придуман в 1912 году, когда в Америке происходила промышленная революция в области строительного рынка. Необыкновенная идея и способ нанесения смеси на ремонтируемую поверхность сразу же получила большой успех. Сразу же началась активная работа по производству торкрет установок.

В настоящее время широкое применение получили торкрет-бетоны, позволяющие в кратчайшие сроки обеспечить ремонт и обновление существующих сооружений. Применение, разработанных научным коллективом ДВФУ, строительных материалов, при усилении действующих зданий и сооружений, оказывается на порядок более экономически выгодным по сравнению с новым строительством с одновременным решением экологических задач.

Торкрет-бетонирование (торкретирование) - способ нанесения бетонного раствора на поверхность под давлением из специальных гибких магистралей. Этот метод увеличивает адгезию частиц смеси, уплотняет его, заполняет пустоты, в том числе выбоины и трещины. Область применения торкрет-бетонов достаточно обширна. Торкрет-бетоны рекомендованы к применению для крепления тоннелей, пород при работах под землей; ремонте, усилении, обновлении готовых бетонных конструкций; нанесении верхнего слоя обладающего повышенной прочностью на здание или сооружение; креплении грунта при выполнении земляных работ; обеспечении прочности, изоляции фундаментов; создании огнеупорного покрытия в металлургической промышленности и при ремонте футеровок сталеплавильных печей; создании водонепроницаемого и морозостойкого покрытия; возведении архитектурных объектов со сложными формами.

Современная строительная индустрия оснащена высококлассным отечественным и импортным оборудованием для производства работ по торкрет-бетонированию. Лидирующие позиции в мировом торкрете, разработка роторных машин открыл такие бренды как ALIVA, MEYCO и др. Появился термин «непрерывная подача», изменились конфигурация и производительность, сопла, силовые агрегаты. С каждым годом все большее применение получили такие установки, как:

\* Канадские установки для распыления торкретбетона Aliva 252 для наземных и подземных строительных работ с вращающимся барабаном. Производительность составляет 3,5 до 11 м<sup>3</sup>/час. При максимальном давлении на смесь в 1,5 МПа он обеспечивает дальность подачи раствора до 300 м в горизонтальной плоскости и до 100 м по вертикали. Максимальная крупность фракции до 16-20 мм.

\*СО-50пбн, Орловский завод строительной техники. Применяется для осуществления строительных или ремонтных работ по технологии сухого либо мокрого торкретирования. Позволяет проводить: ремонтные и защитные работы (ремонт бетона и ж/б конструкций, восстановление их защитного слоя,

устранение дефектов, усиление, нанесение износостойких покрытий, антикоррозийная защита); наземное строительство и туннелестроение (возведение бассейнов, резервуаров, башен, куполов, емкостей, тонкостенных конструкций, тоннелей, коллекторов); работы по укреплению грунта, пород (крепление склонов, береговых линий, сводов шахт, котлованов, откосов); работы по гидроизоляции и герметизации (возведение, гидроизоляция и ремонты гидротехнических сооружений). Производительность составляет 6 м<sup>3</sup>/час. Крупность фракции до 6 мм. При максимальном давлении на смесь в 1,5 МПа он обеспечивает дальность подачи раствора до 120 м в горизонтальной плоскости и до 50 м по вертикали.

\*АС-1 для сухого нанесения производства АО «Альпсервис», Украина. Установка способна обеспечить пневматическую транспортировку сыпучих строительных материалов малых и средних фракций на расстояния до 80 м.

\*Немецкая компания PFT, производящая высококлассные штукатурные станции, выпускает специальные комплекты, позволяющие осуществлять торкретирование по «мокрой» методике на установках серии G4 и G5. Доукомплектованная штукатурная станция серии PFT G5 способна работать со шприц-бетоном на основе заполнителя 2,5-8 мм. Учитывая крупность фракции, для станции подбирают соответствующую подающую шнековую пару. Производительность такого оборудования может составлять 0,7-3,6 м<sup>3</sup>/час.

\*Для проведения торкрет-бетонных работ в туннелях рекомендуется использовать современные малогабаритные самоходные механизированные торкрет-манипуляторы моделей Spraycon, Titan, Aliva и др. обладающие высокой производительностью и простотой сервисного обслуживания.

Не смотря на имеющееся на Российском рынке многообразие строительных материалов, подрядные организации и строительные корпорации в один голос заявляют о не удовлетворительном составе и качестве торкрет-бетонных смесей. Поэтому разработка составов и изучение свойств торкрет-бетонов для комплексного ремонта железобетонных сооружений различного назначения по прежнему является архи важной задачей [13].

Торкретирование – сложная технология, требующая специального оборудования и профессионального подхода к ее реализации. Если нарушить методику, то нанесенный слой не будет адгезировать в достаточной степени, не заполнит пустоты, а его поверхность не наберет прочность. Технология изготовления торкрет - бетонных смесей и их свойства приведены в [14, 15,16,17].

Нанесение или торкретирование бетона производится при помощи сопла, размещаемого на расстоянии от 80 см до 1,5 м, чтобы снизить отскок материала. Для следующих слоев расстояние можно уменьшить до 30-50 см, поскольку отскок существенно снижается. При торкретировании сопло должно непрерывно перемещаться таким образом, чтобы бетон попадал на поверхность строго перпендикулярно, это снизит потери материала. Особое внимание следует уделять тому, что сопло при работе следует непрерывно перемещать равномерно

по спирали. При торкретировании по арматуре и сеткам сопло необходимо несколько наклонять, для того чтобы заполнить пустоты за арматурой (рис. 1).

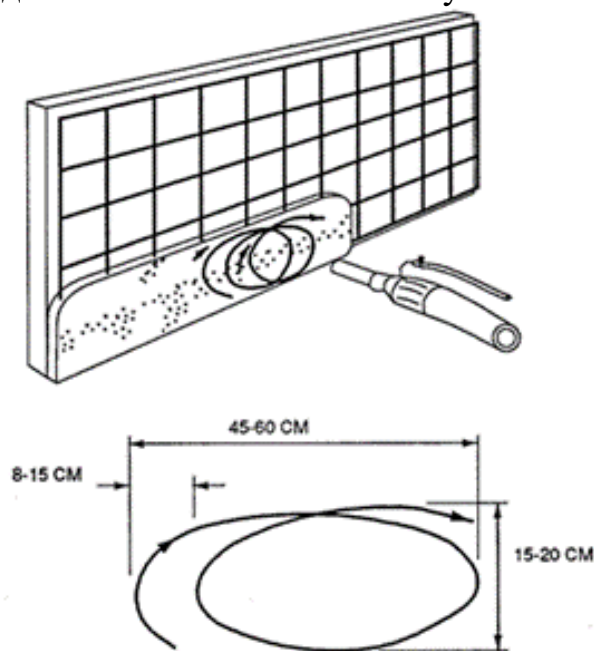


Рисунок 1. Нанесение или торкретирование бетона при помощи сопла

Отклонение от этого направления допускается только при заполнении раковин или обеспечения попадания смеси под арматуру.

Есть и определенные требования к подготовке поверхности перед восстановлением защитного слоя бетона и создании торкрет-бетонных оболочек.

При нанесении торкрет-бетона на бетонные поверхности -ремонтируемые поверхности конструкций должны быть очищены от наслоений до плотного бетона, быть прочными (без выкрашиваний и отслоений) и не иметь острых выступов, очищены от грязи, пыли, масляных загрязнений. Трещины рекомендуется продуть сжатым воздухом для удаления пыли и крошек бетона. Дефектные участки очищаются от плохо держащихся частиц бетона, крошек, пыли. Для этого используется пескоструйная очистка, гидроочистка (напорной струей воды), в труднодоступных местах могут быть использованы металлические щетки (механические или ручные). При торкретировании железобетонных поверхностей, имеющих оголенную арматуру, арматура должна быть очищена от грязи и ржавчины.

В качестве противоусадочной арматуры в торкрет-бетонах, применяют решетки из стальной или композитной арматуры. Они воспринимают усадочные напряжения в бетоне ограничивая ширину раскрытия трещин независимо от причины их возникновения (усадочные, температурные). Торкретирование через арматуру и сетки из арматурных стержней является сложной технологической операцией, которая требует участия в ней квалифицированных рабочих. Сетки следует тщательно закрепить, они не должны пружинить, так как по этой причине увеличивается количество «отскоков».

При необходимости выполнения работ по армированию, упрочняющую сетку с большим размером ячеек (свыше 100 мм) монтируют до

торкретирования; мелкую строительную сеть притапливают в первый свежий нанесённый слой [14].

Сетки и решетки из композитной арматуры следует применять в конструкциях, находящихся в агрессивной среде: мосты, тоннели, эстакады, дорожные и тротуарные плиты, подпорные стенки, основания и откосы дорог, в качестве сеток и стержней в дорожных покрытиях, и т. д.

При торкретировании по сетке из стальной или композитной арматуры следует обратить особое внимание и не допускать удерживание и скопление торкрет-бетона на лицевой части арматурных стержней сетки. Нарастивание слоя торкрет-бетона по сетке должно происходить по стадиям (последовательно). При производстве торкрет-бетонных работ нельзя допускать скопления «отскока» в отдельных местах. «Отскок» по мере его накапливания следует убирать. Особенно тщательно необходимо следить за скоплением и своевременной уборкой «отскока» при торкретировании по сетке. Захват «отскока» приводит к существенному снижению комплекса физико – механических свойств торкрет-бетонных слоев и оболочек. Как вариант, для удаления «отскока» с торкретируемой поверхности и композитных стержней армирующей сетки рекомендуется применять дополнительный обдув сжатым воздухом (рис.).

При торкретировании по сетке из стальной или композитной арматуры (рис. 2) слой торкрета, как правило, должен покрыть сетку на (20-25) мм. Необходимо следить за тем, чтобы торкрет не оплывал, что это может привести к образованию пустот между прутьями арматуры, обнаружить и устранить которые крайне трудно [15].

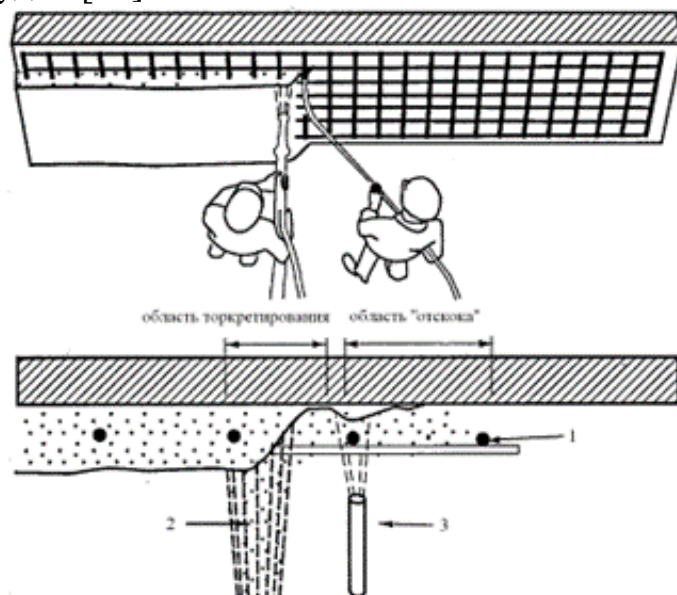


Рисунок 2. Торкретирование по сетке из стальной или композитной арматуры: 1 – арматура; 2 – область отскока; 3 - сопло

При нанесении торкрет-бетона на поверхность кладки из кирпича или натурального строительного камня следует тщательно удалить остатки строительного раствора из стыков между блоками и камнями с последующей их



очисткой путем пескоструйной обработки затем, установить стальные или композитные сетки (в соответствии с проектной документацией).

При нанесении торкрет-бетонного покрытия на грунт следует принимать во внимание, что подобное покрытие способно связать только поверхностный слой грунта; перед созданием подобного покрытия с целью предотвращения оседания грунта рекомендуется сначала произвести его уплотнение.

После торкретирования оборудование очищается от раствора и продувается воздухом, остатки раствора выбрасываются или применяются для других работ. Обработанное покрытие увлажняется в течение пяти суток, чтобы избежать появления трещин.

Контроль качества и приемку торкрет-бетонных работ следует осуществлять в соответствии с требованиями [15,16,17,18].

В результате проведенных испытаний физико – механических свойств опытных натуральных образцов изготовленных методом торкретирования, установлено, что прочность бетонных балок и плит, армированных сеткой из композитной арматуры на треть выше, показателей аналогичных образцов, армированных подобной сеткой из стальной арматуры, а прогиб в два раза меньше.

Рассматривая современные методы торкретирования необходимо сказать о способах нанесения торкрет-бетонной смеси.

Сухой способ заключается в подаче сухой цементной смеси и воды по разным шлангам которые подаются сжатым воздухом от компрессоров, и смешиваются в специальном сопле-распылителе. После чего, из сопла со скоростью до 170 м/с смесь подается на ремонтируемую поверхность. Преимущество сухого способа в том, что при соударении с основанием происходит большее уплотнение укладываемой смеси, в результате получается повышение плотности и прочности материала, возможность подачи смеси на большие расстояния, что увеличивает маневренность, облегчает и ускоряет выполнение работ. Снижение себестоимости работ за счет уменьшения трудоемкости: возможного нанесения слоя до 100-150 мм за один проход; высокой скорости набора прочности; снижения затрат времени на сбор и утилизацию отскока; при нанесении торкрет-бетонная смесь пластична, не течет с вертикальной поверхности, быстро набирает прочность, высокий уровень адгезии; средний размер отскока составляет не более 12%. Снижение величины отскока позволяет снизить расход смеси на 1 кв. м. обрабатываемой поверхности, и, следовательно, снизить расходы на доставку и выполнение погрузочно-разгрузочных работ.

Недостатки сухого способа – высокий уровень загрязнения участка выполнения работ. Данный способ применяется в основном для крупных ремонтных проектов, где можно эффективно организовать защиту от пыли и удаление отскока, не требуется высококачественной отделки поверхности и внешний вид не имеет решающего значения. После нанесения бетона необходимо провести отделку бетонной поверхности. Регулировку подачи сухой

смеси может производить только специалист, иначе качество торкретбетонирования существенно снизится.

**Мокрый способ.** Все компоненты смеси тщательно перемешиваются перед тем как загружаются в установку мокрого торкретирования. Подаются по шлангам к месту распыления. Сжатый воздух от компрессора, подаваемый к соплу, ускоряет смесь и сообщает ей дополнительную скорость. При использовании бетононасоса смесь подается в сопло под постоянным давлением, обеспечивая равномерное распределение слоев. Достоинство мокрого способа: приготовление торкрет смеси до подачи в распылитель гарантирует однородность, экономия строительного материала и снижение количества отходов за счет небольшого отскока, возможность финишной обработки сразу после нанесения последнего слоя. Бетон, не попавший на поверхность, может быть использован для других работ. Распыление проводится на небольшом расстоянии до поверхности, что позволяет делать торкретирование бетона даже в закрытом помещении. Мокрый способ нанесения торкрет-бетона в сравнении с сухим способом имеет ряд преимуществ, ввиду автоматизированного процесса; применения готовой смеси (можно подавать с завода или готовить на стройплощадке в бетоносмесителе), благодаря чему получается однородность смеси, снижается стоимость); отскок ниже чем у сухого способа торкретбетонирования на 5%; оборудование для торкретбетонирования оснащенное поршневой системой подачи смеси (в отличие от машин с героторным насосом) позволяет увеличить фракцию заполнителя до 20 мм, производительность до 6-15 л/мин, увеличить диаметр шланга до 125 мм (у машин с героторным насосом диаметр шланга 50 мм).

Таблица 1

### Сравнение процессов торкретирования

Сухой метод	Мокрый метод
Контроль над смешиванием воды и консистенции смеси на выходе из сопла для адаптации к требованиям объекта	Затворение смеси происходит до загрузки в торкрет оборудование. В/Ц отношение может быть точно измерено
Предусмотрен для ремонтных работ, где торкрет-бетон необходимо укладывать малыми порциями	Гарантирует однородность смеси
Возможность подачи смеси на большие расстояния	Сниженная потеря цемента при нанесении. Уменьшенное пылеобразование
Транспортные шланги легче, их легче передвигать и управлять ими	Сниженное количество отскока, и, как следствие, меньше отходов
Меньшая производительность оборудования	Большая производительность оборудования

Недостатки- сравнительно низкая скорость подачи раствора – до 100 м/с, при этом толщина одного слоя не превышает 3-6 см. Мокрый торкрет-бетон не может подаваться по рукавам большой длины, это снижает маневренность

установки. При длительном простое раствор застывает, что может вывести оборудование из строя.

Нет сомнений, что торкретирование во многих отраслях строительства, занимает лидирующее место. Заинтересованность строителей обусловлена и тем, что мобильность оборудования, позволяет выполнить работы в самых стеснённых условиях, будь то шахты, подвалы, метрополитен, разнообразные объекты водоотведения и канализации. Соответственно быстрыми темпами развивается мокрый метод торкретирования. Использование этой технологии в подземном строительстве, в совокупности с химическими добавками в раствор, ускорителями, разнообразным фибро-волокном, доказали свою эффективность и экономичность при применении технологии торкретирования на вертикальных и арочных конструкциях. Качественные компоненты, правильная техника, контролируемое водоцементное соотношение, чёткое понимание процесса в сочетании с современными материалами и оборудованием предоставляет просто бесконечные возможности в области строительства самых разных объектов.

### Список литературы

1. Васильев, А.А. Оценка и прогнозирование физического износа строительных конструкций, зданий и сооружений / А.А. Васильев. - Гомель: Белорусский гос. ун-т транспорта, 2021. - 189 с.
2. Иванов, И.Ю. Определение износа сооружений при их подработке в автоматизированных системах градостроительных кадастров / И.Ю. Иванов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2009. - № 12. - С. 200-202.
3. Леджинов, В.С. Исследование методов физического износа зданий и сооружений / В.С. Леджинов // Проблемы формирования единого научного пространства. Сборник статей Международной научно-практической конференции. В 4-х частях. - 2017. - С. 60-62.
4. Ramos Guerrero, J.A. Earthquake and deterioration inclusive probabilistic life cycle assessment (EDP-LCA) framework for buildings / J.A. Ramos Guerrero, T. Y. Yang, O. Swei // Resilient Cities and Structures, 2023.
5. Santa, A.C. Atmospheric deterioration of ceramic building materials and future trends in the field: a review / A.C. Santa, M.A. Gómez, J.G. Castaño, J.A. Tamayo, L.M. Baena // Heliyon, 2023. - Vol. 9, Is., e15028
6. Yuk H. Verification of particle matter generation due to deterioration of building materials as the cause of indoor fine dust / H. Yuk, S. Yang, S. Wi, Y. Kang, S. Kim // Journal of Hazardous Materials. - 2021.- Vol. 416. - 125920.
7. Почему возник дефицит бомбоубежищ в России [Электронный ресурс]. Адрес доступа: <https://newizv.ru/news/society/28-11-2017/spasutsya-ne-vse-pochemu-voznik-defitsit-bomboubezhisch-v-rossii> (дата обращения 23.12.2023)
8. Распоряжение Правительства РФ N 2094-р от 2023 г.
9. Strokova, V.V. Properties of a composite cement binder using fuel ashes / V.V. Strokova, I.Yu. Markova, A.Yu. Markov, M.A. Stepanenko, S.V. Nerovnaya, D.O. Bondarenko, L.N. Botsman // Key Engineering Materials. - 2022. - Vol. 909. - pp. 184-190.

10. Singh, S.B. Effect of fly ash addition on the mechanical properties of pervious concrete / S.B. Singh, M. Murugan, M. Chellapandian, S. Dixit, S. Bansal, K.S. Kumar Reddy, M. Gupta, K.M. Vafaeva //Materialstoday:proceedings. - 2023. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.09.165>
11. Zhang, H. High-flowable and high-performance steel fiber reinforced concrete adapted by fly ash and silica fume / H. Zhang, L. Cao, Y. Duan, Z. Tang, F. Hu, Z. Chen // Case Studies in Construction Materials. - 2023. - e02796.
12. Лесовик, В.С. Влияние состава на свойства и строение модифицированных цементных композитов / В.С. Лесовик, Р.С. Федюк, Ю.Л. Лисейцев, И.И. Панарин, В.В. Воронов // Строительные материалы. - 2022. - №9. - С. 39-49.
13. Лесовик, В.С. Торкрет-бетоны и инъекционные растворы для комплексного ремонта подземных сооружений / В.С. Лесовик, Р.С. Федюк, И.И. Панарин // Academia. Архитектура и строительство. - № 1. - 2023. - С. 89–95.
14. Торкретирование поверхности: виды, порядок работы. <http://poznaiabeton.ru/beton/torkretirovanie-poverxnosti.html>.
15. СТО 02495307-007-2012. Применение неметаллической композитной арматуры АСП и АБП в бетонных конструкциях.
16. СТО 16216892-001- 2008. Методические рекомендации по применению торкрет-бетона. ТУ 5745-001-16216892-06 в работах по проектированию строительства новых и реконструкции существующих дорожно-транспортных и коммуникационных сооружений.
17. СТО 16216892-002- 2010. Методические рекомендации по применению торкрет-бетона при строительстве и ремонте.
18. Алексеев Г.В., Фершалов М.Ю., Фершалов Ю.Я., Луценко В.Т. Обоснование и выбор метода исследования степени реактивности малорасходных турбин // Научное обозрение. 2012. № 2. С. 322-331.
19. М 10.1/06. Руководство по применению торкрет-бетона при возведении, ремонте и восстановлении строительных конструкций зданий и сооружений.

**Сидорова Анастасия Сергеевна**

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ  
ОСНОВАНИЯ И РЕМОНТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТА**

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет; кафедра технологии строительных материалов и метрологии, г.*

*Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, 190005*

*Научный руководитель: Харитонов Алексей Михайлович*

**Аннотация:** В статье рассмотрены некоторые существующие методы испытаний бетонных образцов для оценки совместной работы двух разнородных материалов. В ходе эксперимента изготовлены серии составных образцов (призмы 40×40×160 мм и 70×70×280 мм) с различными деформативными характеристиками и типами соединения. Результаты испытаний предела

прочности на сжатие позволили определить наиболее подходящую схему для оценки совместной работы системы «основание-ремонтный состав», а также сделать вывод о степени влияния на работу полученных композитов разности в деформационных характеристиках их частей.

**Ключевые слова:** ремонт конструкций, ремонтный состав, совместная работа.

### **Введение**

Для реализации надлежащего качества ремонтных работ важно обеспечить совместность работы материалов раствора и основания [1]. В результате такого ремонта образуется композит из бетонного основания и нового ремонтного бетона, чем и определяется важность этого показателя [2].

Прочность полученного композита зависит от адгезии на границе раздела, трения и факторов, зависящих от времени. Адгезия на границе раздела зависит от свойств вяжущего, степени уплотнения, чистоты и влажности ремонтируемой поверхности, возраста образцов и шероховатости поверхности основания [3]. Помимо высокой адгезионной прочности между ремонтным составом и основанием необходимо обеспечить соответствие деформационных характеристик [4]. Методы испытаний для оценки совместности работы в существующей нормативной документации не дают возможности оценить диапазон совместимости деформативных свойств материалов. Например, в ГОСТ Р 56378-2015 образцы ремонтной смеси с адгезионным соединением на бетонном основании испытывают на растяжение при отрыве. Однако, при данных испытаниях бетонное основание и, следовательно, его характеристики остаются неизменными, что не позволяет определить диапазон совместимости свойств материалов [2].

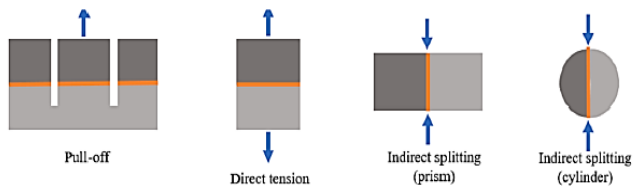
Как правило, одним из основных показателей при конструктивном ремонте принято считать прочность на сжатие затвердевшей ремонтной смеси. При этом чем выше данная характеристика, тем эффективнее ремонтные мероприятия. Однако данный подход нерационален и может привести к образованию новой зоны деструкции в толще основания из-за разности в модуле упругости и жесткости с ремонтным составом. Подобные случаи наиболее вероятны при ремонте конструкций, подверженных различным динамическим воздействиям, например, элементы транспортной инфраструктуры, взлетно-посадочные полосы, промышленные здания и сооружения и т.д.

### **Методы**

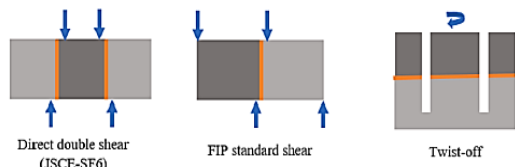
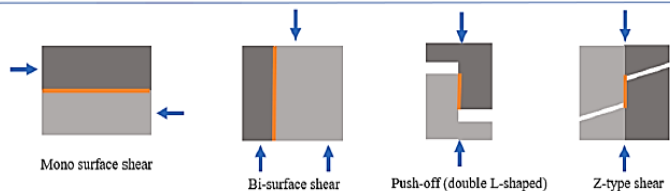
На рис. 1 представлены схемы различных методов испытаний, используемых для оценки прочности сцепления бетона с бетоном. В зависимости от типа нагрузки, приложенной к границе раздела, методы испытаний разделены на три основные категории, а именно: растяжение, сдвиг и смешанные режимы.

Groups based on predominant load applied to the interface:

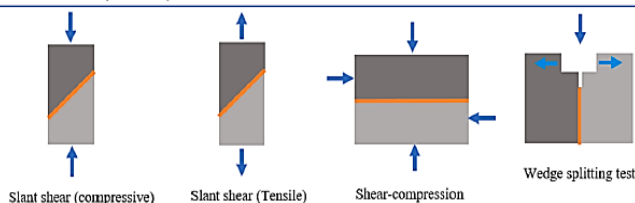
I. Tensile



II. Shear



III. Mixed-mode



III. Mixed-mode (Bending)

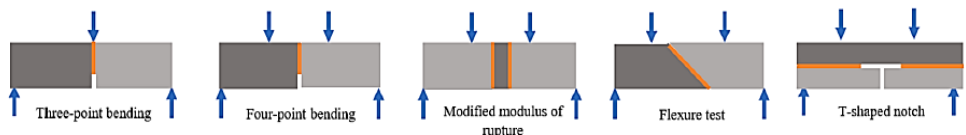


Рисунок 1 – Группы методов испытаний для оценки совместной работы материалов [5]

В работе [5] установлено, что испытание образцов на наклонный сдвиг является наиболее оптимальным методом, позволяющим достичь одновременного включения образцов в работу.

В рамках данного исследования были использованы две схемы испытаний для определения призмочной прочности составных образцов (рис. 2). Схемы были подобраны таким образом, чтобы создать наибольшую площадь соприкосновения двух материалов с разными физико-механическими характеристиками.

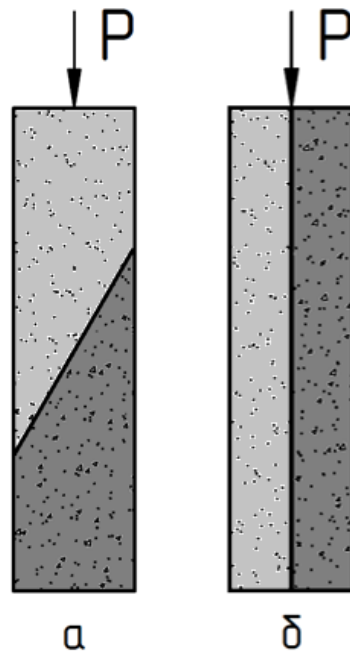


Рисунок 2 – Методы испытаний, принятые в исследовании: а) наклонное соединение; б) продольное соединение

Образцы изготавливались из составов с различным В/Ц соотношением для достижения разнородности в жесткости, плотности и прочности частей составных образцов. Во избежание возникновения дополнительных факторов, влияющих на адгезию двух материалов, обе части образцов формовались одновременно при помощи металлической перегородки, которая извлекалась после формования и уплотнения бетонной смеси (рис. 3).



Рисунок 3 – Формование составных образцов

Для оценки совместности работы материалов с разными деформативными характеристиками было подготовлено две серии образцов-призм различных размеров: 40×40×160 мм и 70×70×280 мм, которые выдерживались в камере нормального твердения в течение 28 суток, после чего определялась их прочность на сжатие при статической нагрузке.

При проведении испытаний разрушение образцов происходило по смешанному и адгезионному типу и сопровождалось резким высвобождением энергии, что свидетельствует об адгезионном разрушении. Адгезионный тип разрушения наблюдался преимущественно у образцов с наибольшей разницей в деформативных характеристиках (рис. 4).



Рисунок 4 – Общий вид разрушения образцов

### Результаты

Результаты проведенных испытаний прочности на сжатие составных образцов представлены на рис. 5-6. На рис. 5 видно, что наименьшей прочностью обладают образцы с комбинацией В/Ц 0,4/0,6. В рамках текущих испытаний данные образцы характеризуется наибольшей разницей деформативных свойств. При этом у образцов с разницей В/Ц в 0,1, а именно с комбинацией составов 0,5/0,4 и 0,5/0,6, прочность выше и близка к прочности образцов без разницы в деформативных характеристиках. Данные факты также подтверждают гипотезу о зависимости совместной работы материалов от деформативных характеристик материалов и прочности сцепления между ними.

Разрушение образцов с продольным соединением проходило в большинстве случаев по смешанному типу. Исходя из графиков (рис. 6), можно сделать вывод о том, что наихудшие результаты были получены на образцах с наибольшим количеством воды в системе. Таким образом, нельзя сказать о том, что метод испытаний образцов с продольным соединением позволяет оценивать совместную работу материалов с разными деформативными характеристиками.



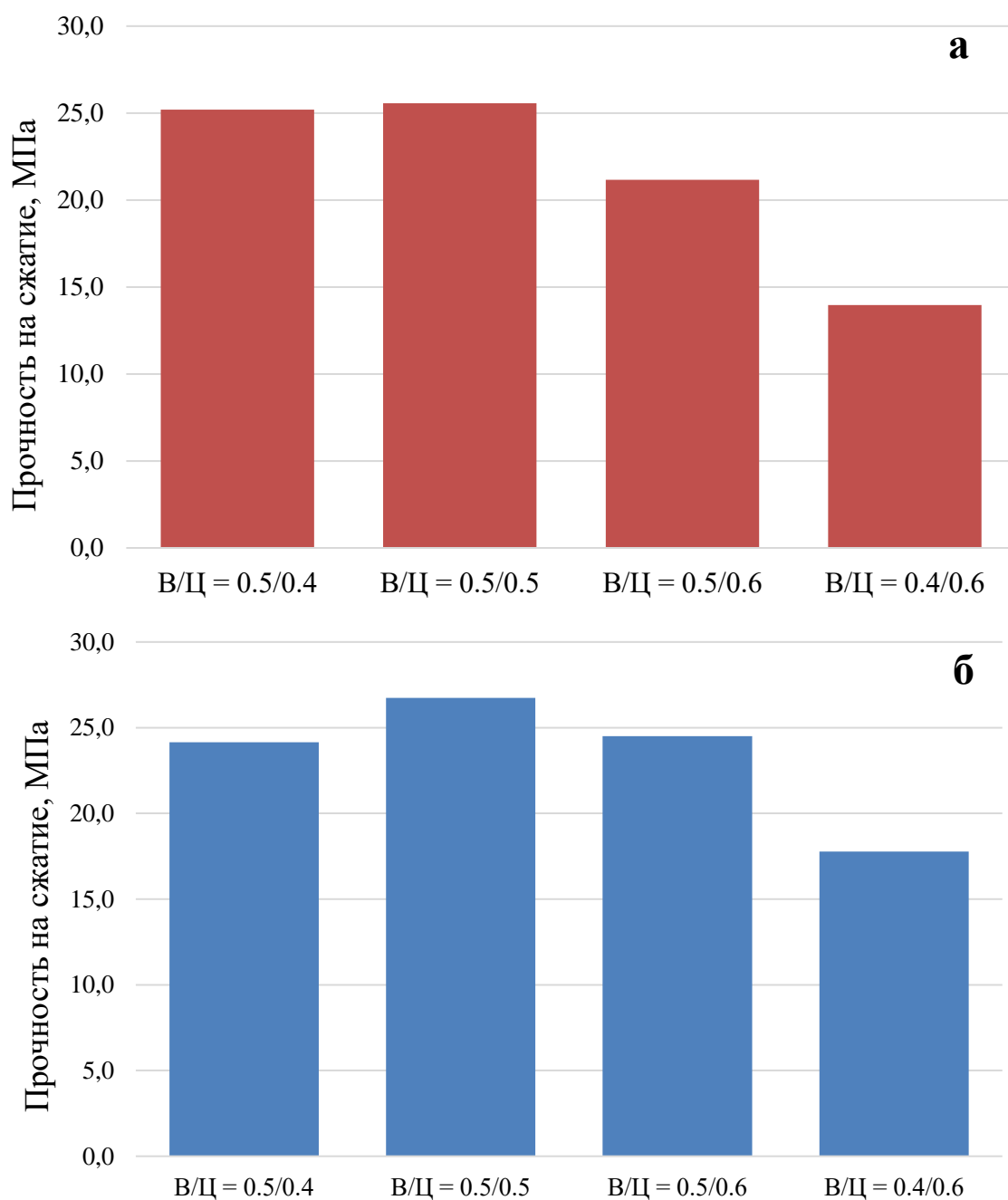


Рисунок 5 – Результаты прочности на сжатие составных образцов-призм при наклонном соединении: а) 70 × 70 × 280 мм; б) 40 × 40 × 160 мм

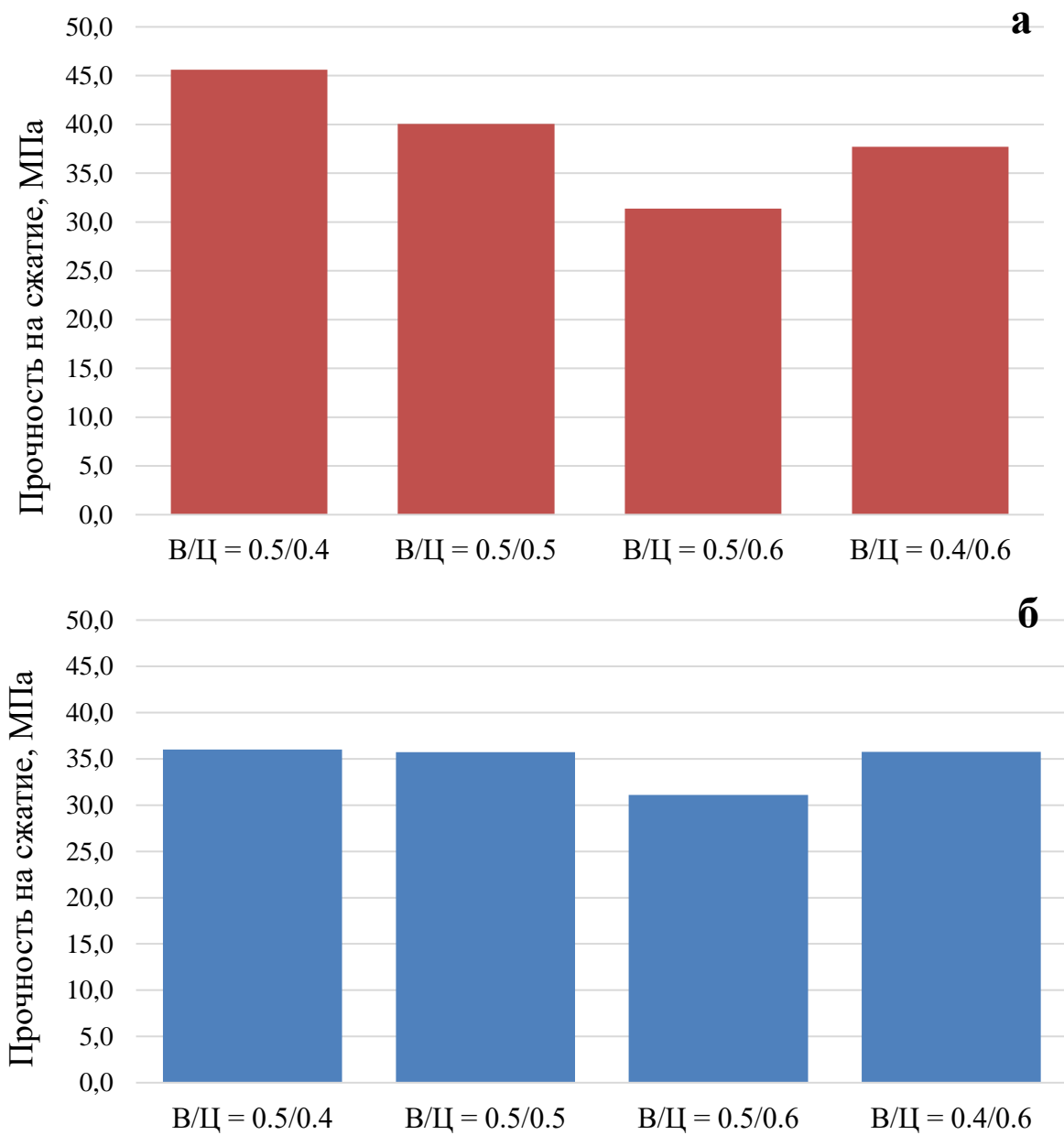


Рисунок 6 – Результаты прочности на сжатие составных образцов-призм при продольном соединении: а) 70 × 70 × 280 мм; б) 40 × 40 × 160 мм

### Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) в качестве метода оценки совместности работы ремонтного раствора с бетонным основанием предложено изготовление составных образцов с наклонным соединением с последующими статическими и динамическими испытаниями их на прочность при сжатии;

2) определено, что с увеличением разности В/Ц двух материалов, работающих совместно, снижается прочность образцов. При  $\Delta$  В/Ц = 0,1 прочность образцов снижается на 18-20%, а при  $\Delta$  В/Ц = 0,2 прочность образцов снижается на 40 %.

В дальнейшем планируется проведение испытаний для изучения совместной работы системы «основание-ремонтный состав» в условиях динамического нагружения с целью установления критериев и границ совместимости их свойств.

### **Список литературы**

1. Chilwesa M. et al. Evaluating the shear bond strength between old and new concrete through a new test method //Magazine of Concrete Research. – 2017. – Т. 69. – №. 9. – С. 425-435.
2. Андреев, Д. М. К вопросу об оценке эффективности сухих смесей для ремонта динамически нагруженных конструкций / Д. М. Андреев // Серия "Строительство" : Сборник статей магистрантов и аспирантов. В 2-х томах. Том 1. Выпуск 5. – Санкт--Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2022. – С. 246–253.
3. Momayez A. et al. Comparison of methods for evaluating bond strength between concrete substrate and repair materials //Cement and concrete research. – 2005. – Т. 35. – №. 4. – С. 748-757/
4. Lukovic M., Ye G., Van Breugel K. Reliable concrete repair: A critical review //14th International Conference Structural Faults and Repair, Edinburgh, Scotland, UK, 3-5 July 2012. – 2012.
5. Daneshvar D., Behnood A., Robisson A. Interfacial bond in concrete-to-concrete composites: A review //Construction and Building Materials. – 2022. – Т. 359. – С. 129195.

### **References**

1. Chilwesa M. et al. Evaluating the shear bond strength between old and new concrete through a new test method //Magazine of Concrete Research. – 2017. – Т. 69. – №. 9. – С. 425-435.
1. Andreev, D. M. On the issue of assessing the effectiveness of dry mixtures for the repair of dynamically loaded structures / D. M. Andreev // Series "Construction": Collection of articles by undergraduates and graduate students. In 2 volumes. Volume 1. Issue 5. – St. Petersburg: St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2022. – P. 246–253.
2. Momayez A. et al. Comparison of methods for evaluating bond strength between concrete substrate and repair materials //Cement and concrete research. – 2005. – Т. 35. – №. 4. – С. 748-757/
3. Lukovic M., Ye G., Van Breugel K. Reliable concrete repair: A critical review //14th International Conference Structural Faults and Repair, Edinburgh, Scotland, UK, 3-5 July 2012. – 2012.
4. Daneshvar D., Behnood A., Robisson A. Interfacial bond in concrete-to-concrete composites: A review //Construction and Building Materials. – 2022. – Т. 359. – С. 129195.

Токарева Лия Андреевна<sup>1</sup>, Сабитов Линар Салихзанович<sup>1,2</sup>, Абдуллазянов Эдвард Юнусович<sup>1</sup>, Айзатуллин Марат Мансурович<sup>1</sup>, Зарипов Марсель Мансурович<sup>1</sup>

## МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И МОНТАЖА ФУНДАМЕНТОВ ПОД ОПОРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

<sup>1</sup>Казанский государственный энергетический университет, г.Казань, ул.Красносельская, д.51, 420066

<sup>2</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, г.Казань, ул.Кремлевская, д.18, корпус 1, 420008

**Аннотация:** Существенная часть металлических конструкций, производство которых увеличивается с каждым годом, применяется для строительства объектов рекламного, коммуникационного и энергетического назначения.

Данные конструкции должны обладать не только высокими конструктивными характеристиками и рациональными конструктивными формами, но и иметь минимальные трудозатраты на этапе изготовления и монтажа, что позволит снизить стоимость сооружения в целом.

В статье приведен анализ существующих методов изготовления и монтажа фундаментов под опорные конструкции, применяемых для размещения рекламных щитов. На основании анализа предложен новый тип сборно-разборного фундамента, рассмотрена технология изготовления и способ монтажа, которые позволят уменьшить затраты на использование машин и механизмов за счет отсутствия необходимости использования специального оборудования, сократить временные затраты в связи с исключением проведения монолитных работ, а также позволит возводить объект в стесненных условиях.

**Ключевые слова:** опорная конструкция, модульность, сборно-разборный фундамент, монтаж, оптимизация.

Рекламный щит – это информационный биллборд, который поднят над землей с помощью стоечных конструкций, закрепленных снизу на фундамент. Известные случаи, когда упавшие рекламные щиты становились причиной разрушения и человеческих жертв, поэтому разработка конструктивных решений, обеспечивающих надежность и устойчивость системы, является приоритетной задачей. Применяемый фундамент должен отвечать следующим требованиям:

- безопасность;
- эксплуатационная пригодность – в процессе эксплуатации на основании не должны возникать трещины, вызванные нагрузкой вышестоящей конструкции. Фундамент должен быть установлен таким образом, чтобы избежать воздействия на опору ветровой нагрузки. Смещение конструкции в процессе эксплуатации недопустимо;
- долговечность;

- надежность – изделие должно обладать огнестойкостью, влагостойкостью, морозостойкостью, устойчивостью к кислотности почвы и перепадам температур.

На основании изученных интернет-сайтов строительно-монтажных компаний, предлагающих услуги по возведению опорных конструкций, можно сделать выводы, что при возведении крупноформатных средств визуальной коммуникации – стел, пилоном – применяют анкерную группу, представляющую собой жестко связанные между собой несколько анкерных (фундаментных) болтов, которую впоследствии выставляют в подготовленном котловане. Далее производятся монолитные работы – заливка котлована бетоном марки согласно расчетам.

Для легких опор применяются фланцевую и прямостоечную технологии монтажа фундамента. В прямостоечной технологии в грунте обустроивается отверстие нужных размеров с круглым или прямоугольным сечением. При изготовлении фундамента на сыпучих грунтах необходимо дополнительно устанавливать опалубку, которая армируется с помощью металлической рамы, к которой приварены анкерные болты. Яма заполняется бетонным раствором, далее происходит набор прочности бетона.

В процессе изготовления фундамента для фланцевого крепления в грунте пробуривается котлован нужного диаметра и глубины для установки закладной детали. Бурение производится с помощью ручного бура или механизированной буровой установки. После этого в котлован помещается закладная деталь и заливается бетоном. Крепление наземной части производится после застывания бетона с помощью различных резьбовых крепежных деталей.

На основании представленного анализа существующих методов монтажа фундамента под рекламные конструкции, можно сделать вывод, что необходимо использование специального оборудования для проведения монолитных работ и разработки котлована. Также существует проблема ограничения пространства в условиях городской застройки.

Для решения данных проблем предлагается применение сборно-разборного фундамента модульного типа, который является конструктивным элементом, воспринимающим все нагрузки от вышележащих конструкций (рис. 1).

Основным преимуществом данного типа фундамента является его изготовление в заводских условиях, отсутствия необходимости применения сложного технологического оборудования, уменьшение массы и расходов на материал.



Рисунок 1. Конструкция сборно-разборного фундамента под опору

Сборка фундамента из отдельных железобетонных элементов, изготавливаемых из бетона класса В25, арматура А500, А240 [1], производится по установочным чертежам на зачищенной территории.

Монтаж ведется поэлементно – отдельные блоки устанавливаются на основание и стягиваются между собой анкерными болтами, которые устанавливаются в подготовленные отверстия в стенках призм. Опора устанавливается на днище центральной призмы и закрепляется анкерными болтами, а на уровне верха призмы распорками. С целью повышения несущей способности и исключения опрокидывания призм полость заполняется сыпучим инертным материалом [2,3].

В случае отсутствия необходимости использования рекламной конструкции, возможен демонтаж конструкции, который выполняется в обратной последовательности, что также является преимуществом данного типа фундамента.

По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что существующие способы изготовления и монтажа фундамента под стоечные конструкции для объектов рекламного назначения необходимо оптимизировать с целью снижения трудозатрат. Одним из способов является применение нового типа фундамента, монтаж которого позволяет увеличить быстроту возведения в связи заводским изготовлением фундамента и отсутствием проведения земляных работ, необходимости ожидания набора прочности бетона. Также это позволяет использовать фундамент в условиях городской застройки, в местах которой действуют ограничения на выполнение земляных работ, и минимизировать зависимость от существующей и инфраструктуры строительной индустрии района сооружения объекта.

### Список литературы

1. 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.

2. Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л., Бадретдинов И.Р., Радайкин О.В. Исследование совместной работы стальной стойки-опоры и сборного железобетонного фундамента экспериментальным методом и с применением математического МКЭ-моделирования // Вестник гражданских инженеров. 2018. №6 (71). С. 37-44.

3. Токарева Л.А., Стрелков Ю.М., Сабитов Л.С., Хусаинов Р.Д.. Конструктивные особенности проектирования фундаментов балластного типа для башенных сооружений // Вестник ГГНТУ. Технические науки, том XVIII, №4 (30), 2022, С 90-98.

4. Стрелков Ю.М., Сабитов Л.С., Маилян Л.Р., Гарькин И.Н. Оптимизация эксплуатационных расходов при использовании сборно-разборного фундамента для ветроэнергетических установок // Инженерный вестник Дона, №3. 2023.

### **Секция № 3. Турбины, теплоснабжение и вентиляция**

**Руководитель секции: Фершалов Юрий Яковлевич, доктор технических наук, доцент. Кафедра Судовой энергетики и автоматики. Политехнического института (Школы) ДВФУ**

**Баранов Андрей Сергеевич  
ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ  
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСЕВЫХ  
ПАРЦИАЛЬНЫХ МИКРОТУРБИН**

*Военный учебный центр при Дальневосточном федеральном университете;  
Приморский край, г. Владивосток, ул. Экипажная 18 строение 1, 690001  
Научный руководитель – Ибрагимов Дамир Ирекович, к.т.н, доц.*

УДК 621.438.1

**Аннотация.** на основании анализа источников рассмотрен экспериментально-теоретический метод, с точки зрения использования его при исследовании газодинамических характеристик микротурбин. использование экспериментально-теоретического метода, обеспечивает высокую достоверность исходных данных при проектировании осевых парциальных микротурбин. На основе проведенного анализа, экспериментально - теоретический метод на сегодняшний день является наиболее перспективным для исследования осевых парциальных микротурбин.

**Ключевые слова.** микротурбина, эффективность, степень реактивности, сопло, турбинная ступень.

На сегодняшний день огромный интерес уделяется исследованию микротурбин. Микротурбины – это турбины имеющие ограничения по массогабаритным показателям, частоте вращения и расходу рабочего тела. Такие турбины часто используются в судостроении. Например, в военно-морском флоте микротурбины используются в качестве приводов электрогенераторов, агрегатов наддува двигателей внутреннего сгорания, а также как приводы насосов и компрессоров.

Одной из наиболее важных эксплуатационных характеристик микротурбин, является КПД. В среднем КПД микротурбины составляет 29% - 35%. [1] Так как работает она в автономном режиме с непостоянной нагрузкой – повышение эффективности микротурбины при разных режимах работы имеет особое значение.

В данной статье представлен экспериментально-теоретический метод исследования КПД осевых парциальных микротурбин.

Данный метод основан на обобщении результатов эксперимента на физических реальных моделях. После этого строят систему математических



зависимостей результатов экспериментов. В конечном счете проводят анализ полученных результатов на имитационной модели [1,2].

Применив данный метод исследования, можно достичь высокую достоверность исходных данных для проектирования осевых парциальных микротурбин. Схожие исследования на специальных стендах с каждым днем обретают все большее распространение [3,4].

Проведя эксперимент на реальных моделях и сравнив полученные результаты теоретического исследования микротурбин с результатами, которые получились в ходе эксперимента в двумерной и трехмерной постановке, была обнаружена погрешность итоговых данных. Эта погрешность обусловлена небольшими размерами проточных частей, а также вращением рабочего колеса [5,6]. Приняв во внимание данные условия делаем вывод, что результаты, полученные теоретическим методом, не удастся подтвердить экспериментами на реальных моделях. Поэтому, подобные исследования осевых парциальных микротурбин необходимо выполнять только в одномерной постановке. Это позволит учесть большинство особенностей работы осевых парциальных микротурбин. К ним относятся:

- Неравномерность параметров рабочего тела,
- Вибрация установки, которая происходит из-за вращения рабочего колеса и др.

Исключив все недочеты, а также выполнив все условия работы осевых парциальных микротурбин, результаты исследования будут иметь значительно меньшую погрешность. [7,8]

### **Список литературы**

1. Фершалов А.Ю., Фершалов Ю.Я., Поршкевич В.В., Камаев Н.А. Конструкция ступени осевой турбины с частичной интеграцией рабочего колеса в сопловой аппарат / Морские интеллектуальные технологии – 2017. №3-4(38). С 94-98
2. Fershalov, A.Y., Fershalov, Y.Y., Fershalov, M.Y. Principles of designing gas microturbine stages // Energy, 2021, 218, 119488. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119488>
3. Ибрагимов Д.И. Совершенствование эксплуатационных характеристик судовой осевой парциальной микротурбины с одиночным соплом / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дальневосточный федеральный университет. Владивосток, 2019. – 131 с.
4. Ибрагимов Д. И. Совершенствование эксплуатационных характеристик судовой осевой парциальной микротурбины с одиночным соплом. / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дальневосточный федеральный университет. Владивосток, 2019. – 24 с.
5. Ибрагимов Д. И., Камаев Н. А., Кузнецов Д. А. Экспериментальный стенд для исследования энергетической эффективности и эксплуатационных характеристик осевых микротурбин // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 4-4(42). – С. 152-155.

6. Ибрагимов Д. И. Влияние угла выхода сопел и безразмерной скорости газа на степень реактивности ступени микротурбины/ Вопросы образования и науки: теоретические и практические аспекты – 2015. С. 332-333

7. Ibragimov D. I., Mochalov A., Ilinskiy. Yu. Yu. Research data of microturbine nozzles with outlet angles under 9 degree// Procedia Engineering. International conference on industrial engineering/ ICIE 2017. P 493-498

8. Fershalov A.Yu., Fershalov M.Yu., Fershalov Yu. Ya., Sazonov T.V., Ibragimov D.I., Research data of turbine nozzle of 5-9 degree outlet angles// Applied Mechanics and Materials. 2015. 789-790. P. 203-206.

**Довгий Владимир Святославович, Ильинский Юрий Юрьевич, Фиголь  
Максим Евгеньевич  
КОЭФФИЦИЕНТ СКОРОСТИ СОПЛОВЫХ АППАРАТОВ ОСЕВЫХ  
ГАЗОВЫХ МИКРОТУРБИН**

*Военный учебный центр при Дальневосточном федеральном университете;  
Приморский край, г. Владивосток, ул. Экипажная 18 строение 1, 690001  
Научный руководитель: Ибрагимов Дамир Ирекович, к.т.н., доц.*

УДК 621.438.1

**Аннотация:** публикуемые результаты исследования направлены на увеличение коэффициента скорости сопловых аппаратов, функционирующих в составе осевых газовых микротурбин. Согласно данным, опубликованным в технической литературе, уменьшение коэффициента скорости сопловых аппаратов на 1% приводит к снижению КПД микротурбины на 2%. Кроме того, ошибка в прогнозировании свойств газа при выходе из сопел приводит к неправильному профилированию рабочих лопаток, что дополнительно уменьшает КПД микротурбины.

Эта информация определила цель исследования: изучение изменения коэффициента скорости сопловых аппаратов в зависимости от степени расширения сопел; углов установки – сопел в сопловом аппарате и входных кромок лопаток на рабочем колесе; чисел Маха, вычисленных по теоретическим параметрам газа; и безразмерной скорости газа (отношение окружной скорости рабочего колеса к скорости звука в критическом сечении сопел  $\bar{u} = \frac{u}{a_{кр}}$ ).

В результате работы была создана возможность определения оптимальных сочетаний режимных и конструктивных параметров проточной части сопел.

**Ключевые слова:** коэффициент скорости, микротурбина, сопловый аппарат, судовые турбины

**Введение**

Актуальность данного исследования обусловлена широким применением микротурбин не только в судовой энергетике, но и в различных отраслях техники и технологии. Эти устройства находят применение в качестве приводных

двигателей и вспомогательных турбоагрегатов в судостроении, авиации, а также в составе мобильных электростанций и других технических областях.

Как правило, судовые турбины функционируют в условиях переменной нагрузки, что предопределяет нестационарность условий работы. В связи с этим, вопрос определения параметров сопловых аппаратов для различных режимов приобретает особое значение. В данном контексте одним из ключевых методов решения задачи повышения эффективности микротурбин является поиск оптимальной комбинации конструктивных и режимных параметров сопловых аппаратов, направленный на увеличение их эффективности [1-3].

Актуальность вышеизложенного подтверждается исследованиями, проведенными в Дальневосточном федеральном университете в рамках совершенствования микротурбин, используемых в судовых энергетических системах, что находит отражение в разнообразии научных трудов по данной тематике [5-8]. Одной из серьезных проблем при эксплуатации микротурбин являлась необходимость обеспечения условий, при которых вал рабочего колеса способен вращаться с крайне высокой частотой, необходимой для данного типа турбин. Эта проблема была успешно решена на основе результатов исследований, представленных в работе [9].

### **Экспериментальное оборудование**

Исследования газодинамических характеристик проточной части сопел сопловых аппаратов стали возможными благодаря особенности экспериментального стенда, которая во время испытаний позволяла проводить измерения крутящего момента, создаваемого потоком газа на выходе из соплового аппарата при вращающемся рабочем колесе. Подробное описание стенда и методики определения коэффициента скорости соплового аппарата приведены в работе [4].

В качестве модельных были изготовлены девять сопловых аппаратов с соплами, имеющими следующие конструктивные характеристики: степень расширения – 2,82 ... 1,00; углы выхода  $5^{\circ}$  ...  $9^{\circ}$ ; средний диаметр – 0,17 м.

### **Обсуждение результатов**

Для проверки достоверности предложенных гипотез и анализа чувствительности значений коэффициента скорости соплового аппарата к изменениям исследуемых факторов был проведен графический анализ результатов эксперимента при различных начальных значениях факторов. Выполненный анализ подтвердил связь величины коэффициента скорости со значениями факторов, участвующих в эксперименте. На рис. 1 представлены кривые зависимостей коэффициента скорости от какого-либо одного фактора при минимальных значениях других факторов.

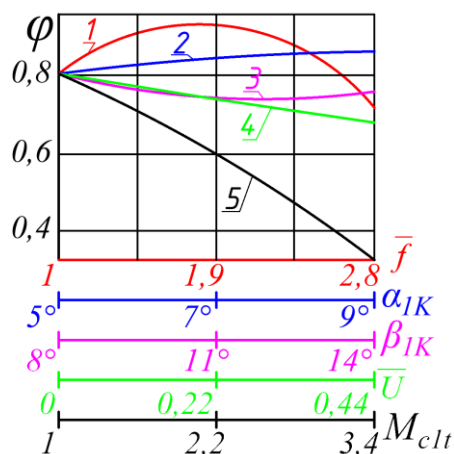


Рисунок 1. Коэффициент скорости соплового аппарата при минимальных значениях факторов

- |                                |  |                 |
|--------------------------------|--|-----------------|
| 1 – $\varphi = f(\bar{f})$     | при $\alpha_{1K} = 5^\circ$ ; $\beta_{1K} = 8^\circ$ ; $\bar{u} = 0$ ; | $M_{c1t} = 1$ ; |
| 2 – $\varphi = f(\alpha_{1K})$ | при $\bar{f} = 1$ ; $\beta_{1K} = 8^\circ$ ; $\bar{u} = 0$ ;           | $M_{c1t} = 1$ ; |
| 3 – $\varphi = f(\beta_{1K})$  | при $\bar{f} = 1$ ; $\alpha_{1K} = 5^\circ$ ; $\bar{u} = 0$ ;          | $M_{c1t} = 1$ ; |
| 4 – $\varphi = f(\bar{u})$     | при $\bar{f} = 1$ ; $\alpha_{1K} = 5^\circ$ ; $\beta_{1K} = 8^\circ$ ; | $M_{c1t} = 1$ ; |
| 5 – $\varphi = f(M_{c1t})$     | при $\bar{f} = 1$ ; $\alpha_{1K} = 5^\circ$ ; $\beta_{1K} = 8^\circ$ ; | $\bar{u} = 0$ . |

Из рис. 1 можно сделать вывод, что наибольшее изменение коэффициента скорости соплового аппарата происходит при изменении числа Маха, вычисленного по теоретическим параметрам. На втором месте по влиянию на коэффициент скорости находится отношение выходной площади сечения сопел к площади их критического сечения. Остальные факторы оказывают примерно одинаковое влияние.

На рис. 2 представлены кривые зависимостей коэффициента скорости от какого-либо одного фактора при средних значениях других факторов.

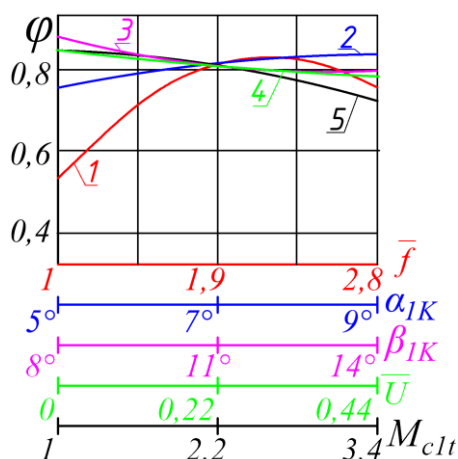


Рисунок 2. Коэффициент скорости соплового аппарата при средних значениях факторов

- |                                |  |                   |
|--------------------------------|--|-------------------|
| 1 – $\varphi = f(\bar{f})$     | при $\alpha_{1K} = 7^\circ$ ; $\beta_{1K} = 11^\circ$ ; $\bar{u} = 0,22$ ; | $M_{c1t} = 2,2$ ; |
| 2 – $\varphi = f(\alpha_{1K})$ | при $\bar{f} = 1,9$ ; $\beta_{1K} = 11^\circ$ ; $\bar{u} = 0,22$ ;         | $M_{c1t} = 2,2$ ; |
| 3 – $\varphi = f(\beta_{1K})$  | при $\bar{f} = 1,9$ ; $\alpha_{1K} = 7^\circ$ ; $\bar{u} = 0,22$ ;         | $M_{c1t} = 2,2$ ; |

$$4 - \varphi = f(\bar{u}) \quad \text{при } \bar{f} = 1,9; \quad \alpha_{1K} = 7^\circ; \quad \beta_{1K} = 11^\circ; \quad M_{c1t} = 2,2;$$

$$5 - \varphi = f(M_{c1t}) \quad \text{при } \bar{f} = 1,9; \quad \alpha_{1K} = 7^\circ; \quad \beta_{1K} = 11^\circ; \quad \bar{u} = 0,22.$$

Из рис. 2 видно, что наибольшее изменение коэффициента скорости соплового аппарата происходит при изменении отношения выходной площади сечения сопел к площади их критического сечения, остальные факторы оказывают примерно одинаковое влияние.

На рис. 3 представлены кривые зависимостей коэффициента скорости от какого-либо одного фактора при максимальных значениях других факторов.

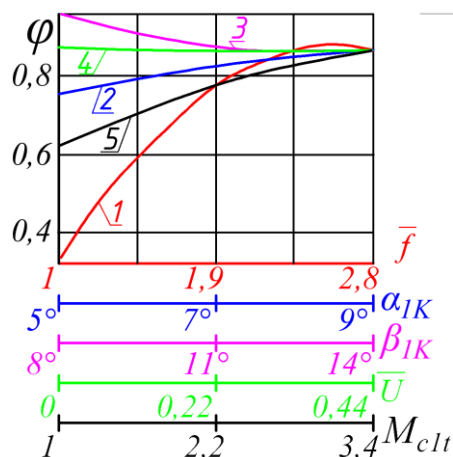


Рисунок 3. Коэффициент скорости соплового аппарата при максимальных значениях факторов

$$1 - \varphi = f(\bar{f}) \quad \text{при } \alpha_{1K} = 9^\circ; \quad \beta_{1K} = 14^\circ; \quad \bar{u} = 0,44; \quad M_{c1t} = 3,4;$$

$$2 - \varphi = f(\alpha_{1K}) \quad \text{при } \bar{f} = 2,8; \quad \beta_{1K} = 14^\circ; \quad \bar{u} = 0,44; \quad M_{c1t} = 3,4;$$

$$3 - \varphi = f(\beta_{1K}) \quad \text{при } \bar{f} = 2,8; \quad \alpha_{1K} = 9^\circ; \quad \bar{u} = 0,44; \quad M_{c1t} = 3,4;$$

$$4 - \varphi = f(\bar{u}) \quad \text{при } \bar{f} = 2,8; \quad \alpha_{1K} = 9^\circ; \quad \beta_{1K} = 14^\circ; \quad M_{c1t} = 3,4;$$

$$5 - \varphi = f(M_{c1t}) \quad \text{при } \bar{f} = 2,8; \quad \alpha_{1K} = 9^\circ; \quad \beta_{1K} = 14^\circ; \quad \bar{u} = 0,44.$$

Согласно рис. 3 можно отметить, что наибольшее изменение коэффициента скорости соплового аппарата происходит при варьировании отношения выходной площади сечения сопел к площади их критического сечения, немного меньшее влияние оказывает число Маха, вычисленное по теоретическим параметрам.

В ходе экспериментов, направленных на анализ влияния различных факторов на коэффициент скорости сопловых аппаратов, особое внимание уделялось не только изолированным исследованиям каждого фактора, но и анализу их совместного воздействия.

На рис. 4 и 5 представлены зависимости коэффициента скорости при минимальных (рис. 4) и максимальных (рис. 5) значениях исследуемых факторов. Несмотря на схожий характер поверхностей, абсолютные значения коэффициента скорости различаются.

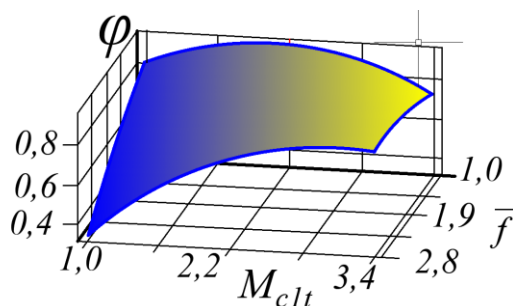


Рисунок 4. Коэффициент скорости соплового аппарата в зависимости от степени расширения сопел и числа Маха при  $\alpha_{1K} = 5^\circ$ ;  $\beta_{1K} = 8^\circ$ ;  $\bar{u} = 0$

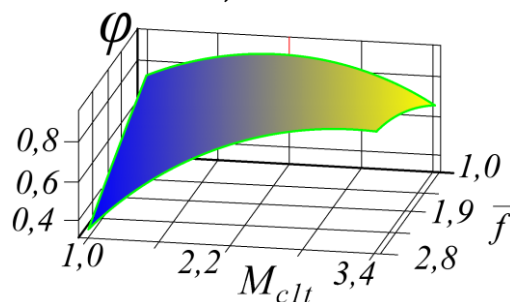


Рисунок 4. Коэффициент скорости соплового аппарата в зависимости от степени расширения сопел и числа Маха

при  $\alpha_{1K} = 9^\circ$ ;  $\beta_{1K} = 14^\circ$ ;  $\bar{u} = \frac{u}{u_{акр}} = 0,44$

### Заключение

1. Несмотря на то, что наибольшее влияние на коэффициент скорости соплового аппарата оказывают числа Маха, рассчитанные по теоретическим параметрам, и отношение выходной площади сечения сопел к площади их критического сечения, другие факторы, такие как угол установки сопел в сопловом аппарате, угол входных кромок рабочих лопаток, и безразмерная скорости газа (отношение окружной скорости рабочего колеса к скорости звука в критическом сечении сопел) нельзя пренебрегать. Именно совокупное влияние всех факторов определяет уровень энергетической эффективности сопел.

2. Максимально достижимое значение коэффициента скорости соплового аппарата экспериментально установлено в пределах 0,95...0,99 при следующих значениях факторов –  $\bar{f} = 1$ ;  $\alpha_{1K} = 5^\circ$ ;  $\beta_{1K} = 14^\circ$ ;  $\bar{u} = 0$ ;  $M_{c1t} = 2,1$ .

3. Наиболее сильно на эффективность соплового аппарата оказывает влияние  $M_{c1t}$ , так как от его значения зависит интенсивность скачков уплотнения, на образование которых тратится энергия потока. Увеличение  $M_{c1t}$  уменьшает степень влияния рабочего колеса на сопловой аппарат, что обусловлено увеличением осевой составляющей скорости потока. Это приводит к уменьшению относительной скорости движения скачка в направлении потока, что препятствует возникновению отрыва на спинке соплового профиля. Кроме того, уменьшается продолжительность воздействия скачков уплотнения на косой срез сопел вследствие увеличения относительной скорости скачка. Следует отметить, что увеличение скорости выхода

потока из сопел предполагает уменьшение окружной скорости рабочего колеса при одном и том же значении характеристического числа, что снижает потери от нестационарности.

4. Фактор  $\bar{f}$  занимает второе место по влиянию на коэффициент скорости, благодаря ему происходит ускорение потока до сверхзвуковой скорости. Недостаточная величина  $\bar{f}$  не допускает разгона газа до необходимой скорости, в то время как чрезмерное значение приводит к перерасширению потока, отрыву от профиля и снижению скорости

5. На третьем месте по влиянию на коэффициент скорости находится  $\alpha_{1K}$ . Его уменьшение увеличивает чувствительность потока, исходящего из сопел, к наличию лопаток рабочего колеса, особенно при его вращении. Это явление объясняется тем, что при малых  $\alpha_{1K}$  уменьшается осевая составляющая скорости потока и  $M_{c1t}$  становится меньше единицы. Отраженный от кромок рабочих лопаток скачок уплотнения через осевую составляющую скорости воздействует на поток, что отрицательно влияет на эффективность работы косога среза.

6. В отличие от  $M_{c1t}$  и  $\alpha_{1K}$  характеристическое число имеет двойственный характер влияния на сопла сопловых аппаратов. При его уменьшении, с одной стороны, относительная скорость движения скачка уплотнения падает, т.е. увеличивается продолжительность его воздействия на сопла, что способствует увеличению потерь кинетической энергии, с другой стороны, это препятствует возникновению отрыва на спинке косога среза.

7. Влияние на коэффициент скорости сопловых аппаратов  $\beta_{1K}$  само по себе невелико, однако его величина определяет пропускную способность межлопаточных каналов рабочего колеса. При недостаточной пропускной способности усиливается обратное влияние рабочего колеса на сопловой аппарат, снижая его коэффициент скорости.

8. Исследованные модельные сопловые аппараты с соплами, имеющие угол выхода менее  $9^\circ$  при работе в составе ступени микротурбины обладают высоким значением коэффициента скорости, что делает их конкурентно способными по сравнению с соплами, имеющими традиционные углы выхода  $16^\circ \dots 22^\circ$ , рекомендованными в технической литературе.

### Список литературы

1. Фершалов Ю.Я. Совершенствование сверхзвуковых осевых малорасходных турбин // автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербургский гос. технич. ун-т. Дальневосточ. гос. технич. ун-т. Владивосток, 1999

2. Ибрагимов Д.И. Совершенствование эксплуатационных характеристик судовой осевой парциальной микротурбины с одиночным соплом // диссертация на соискание ученой степени канд. технических наук / Дальневосточный федеральный университет. Владивосток, 2019. – 131 с.

3. Фершалов Ю.Я., Ханькович И.Н., Минаев А.Н., Карастелёв Б.Я., Якубовский Ю.В., Кончаков Е.И. Влияние режимных факторов на КПД

малорасходных турбинных ступеней // Научное обозрение. 2012. № 5. С. 425-439.

4. Акуленко В.М. Повышение эффективности сопловых аппаратов осевых малорасходных турбин // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дальневосточный федеральный университет. Владивосток, 2013.

5. Фершалов Ю.Я., Фершалов А.Ю., Фершалов М.Ю. Влияние степени расширения сопел с малым углом выхода на эффективность сопловых аппаратов малорасходных турбин // Судостроение. 2012. № 1 (800). С. 39-41.

6. Fershalov Y.Y., Fershalov A.Y., Fershalov M.Y. Microturbine with new design of nozzles // Energy. 2018. Т. 157. С. 615-624.

7. Ибрагимов Д.И., Камаев Н.А., Кузнецов Д.А. Результаты исследования влияния режимных и конструктивных факторов на энергетическую эффективность микротурбин // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 4-4(42). С. 147-151.

8. Фершалов М.Ю., Фершалов А.Ю., Ибрагимов Д.И., Камаев Н.А. Влияние угла атаки на эффективность рабочих колес сверхзвуковых микротурбин // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2018. – № 2(35). С. 43-48.

9. Грибиниченко М.В., Куренский А.В., Фершалов Ю.Я. Обобщенная математическая модель осевых подшипников с газовой смазкой элементов судовых энергетических установок // Морские интеллектуальные технологии. 2011. № S1. С. 21-23.

**Кондрашов Антон Андреевич**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОВЫХ  
ОСЕВЫХ ПАРЦИАЛЬНЫХ МИКРОТУРБИН ТЕОРЕТИЧЕСКИМИ  
МЕТОДАМИ**

*Военный учебный центр при Дальневосточном федеральном университете;  
Приморский край, г. Владивосток, ул. Экипажная 18 строение 1, 690001  
Научный руководитель – Ибрагимов Дамир Ирекович, к.т.н., доц.*

УДК 621.438.1

**Аннотация.** на основании анализа источников рассмотрен теоретический метод с точки зрения их использования при исследовании газодинамических характеристик микротурбин. У данного метода выявлены преимущества и недостатки. Недостатком использования теоретического метода, в настоящее время, является неприемлемо низкая точность результатов, а также невозможность его применения для расчёта характеристик газа при движении последнего в каналах микротурбины.

**Ключевые слова.** микротурбина, эффективность, степень реактивности, сопло, турбинная ступень.



В настоящее время микротурбины находят применение в качестве приводных двигателей и вспомогательных турбоагрегатов в судостроении, авиации и т.д. Условия эксплуатации микротурбин определяют ряд основных требований, предъявляемых к турбинам такого класса: минимальные массогабаритные показатели при высокой удельной мощности (как следствие – значительные перепады энтальпий при малом числе ступеней); пониженная частота вращения ротора; возможность работы в широком диапазоне изменения мощности и частоты вращения; технологичность конструкции; простота и невысокая стоимость изготовления; надежность в эксплуатации; снижение вредных воздействий на окружающую среду (токсичность выхлопа, вибрации, шум). Совершенствование количественных и качественных показателей является неотъемлемой частью развития осевых парциальных микротурбин. В данной статье будет рассмотрен теоретический метод исследования.

Суть данного метода состоит в том, что решение уравнения сохранения, состояния и движения рабочего тела происходит путём создания математических моделей производственных затрат по кругу исследуемых процессов и последующем анализе этих моделей [1, 2, 3].

На данный момент рассчитать движение газа в каналах турбины данным методом с достаточной точностью невозможно [4, 5, 6]. Причинами являются определенные допущения, которые содержатся в выводимых уравнениях и из-за сложности процессов в проточных частях. К ним относятся:

- Турбулентность течения, связанная с высокими скоростями потока в соплах микротурбины. Также из-за присутствия лопаток рабочего колеса с кромками, которых, выходящий из сопел поток пересекается, что приводит к значительному усложнению поставленной задачи.

- Вихри при турбулентном течении имеют случайный характер. Соответственно, и ударные волны, которые возникают при обтекании кромок лопаток также имеют случайный характер.

- Ударные волны влияют на поток рабочего тела сразу же после выхода из проточных частей сопел, значительно влияя на его газодинамические характеристики. Причиной является малый угол установки сопел.

- Ввиду малых размеров проточных частей микротурбины, на данный момент невозможно разместить датчики регистрации локальных характеристик потока так, чтобы погрешность измерения имела допустимые значения.

Указанные причины значительно увеличивают погрешность результатов, полученных расчетным методом и результатов, полученных входе проведенного эксперимента.

В работе [7, 8] приведены уравнения для расчета эффективности промежуточной ступени, составленные совместным преобразованием уравнений расхода, количества и энергии движения. В качестве допущений авторы принимали следующий ряд условий:

1. Показатели скорости сопловых аппаратов и рабочего колеса постоянны и не зависят от параметров выбранного режима;

2. При определении утечки не учитывалась радиальная неравномерность в осевом зазоре

### **Заключение**

В результате исследований экспериментальные и расчетные данные для принятых режимов имеют значительную неточность. Полученная погрешность результатов зависит от выбранного конструктором показателя скорости и утечки рабочего тела [9, 10].

### **Список литературы**

1. Ибрагимов Д.И. Совершенствование эксплуатационных характеристик судовой осевой парциальной микротурбины с одиночным соплом // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дальневосточный федеральный университет. Владивосток, 2019. – 131 с.

2. Фершалов А.Ю., Фершалов Ю.Я., Поршкевич В. В., Камаев Н.А. Конструкция ступени осевой турбины с частичной интеграцией рабочего колеса в сопловый аппарат (05.08.05) // Морские интеллектуальные технологии – 2017. № 4-3 (38). С 94-98

3. Фершалов Ю.Я. Моделирование, анализ и совершенствование газодинамических характеристик судовых осевых сверхзвуковых малорасходных турбинных ступеней // автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Дальневосточный федеральный университет. Владивосток, 2015

4. Ибрагимов Д.И. Совершенствование эксплуатационных характеристик судовой осевой парциальной микротурбины с одиночным соплом // автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дальневосточный федеральный университет. Владивосток, 2019. – 24 с.

5. Фершалов А.Ю., Фершалов Ю.Я., Фершалов М.Ю. Эффективность малогабаритных турбинных ступеней с малыми углами выхода сопел // Морские интеллектуальные технологии – 2018. № 1-1 (39). С. 57-62

6. Fershalov, A.Y., Fershalov, Y.Y., Fershalov, M.Y. Principles of designing gas microturbine stages // Energy, 2021, 218, 119488. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119488>

7. Ибрагимов Д. И., Поршкевич В. В., Камаев Н. А., Юртаев А. А. Эффективность воздушных микротурбин с углами выхода сопел меньше 9 градусов / Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. – 2017. – № 46-47. – С. 92-97.

8. Ибрагимов Д. И. Влияние угла выхода сопел и безразмерной скорости газа на степень реактивности ступени микротурбины/ Вопросы образования и науки: теоретические и практические аспекты – 2015. С. 332-333

9. Ibragimov D. I., Mochalov A., Ilinskiy. Yu. Yu. Research data of microturbine nozzles with outlet angles under 9 degree // Procedia Engineering. International conference on industrial engineering/ ICIE 2017. P 493-498.

10. Fershalov A.Yu., Fershalov M.Yu., Fershalov Yu.Ya., Sazonov T.V., Ibragimov D.I. Research data of turbine nozzles of 5-9 degree outlet angles // Applied Mechanics and Materials. 2015. T. 770. С. 547-550. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.770.547

Слесаренко Вячеслав Владимирович<sup>1</sup>, Кисель Алексей Альфредович<sup>2</sup>  
**ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ В  
СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

<sup>1</sup>Дальневосточный федеральный университет, департамент нефтегазового дела  
и нефтехимии, Владивосток, пос. Аякс;

<sup>2</sup>Институт Химии ДВО РАН, Владивосток, просп. 100-летия Владивостока,

159

**Аннотация.** В работе рассмотрены особенности применением тепловых аккумуляторов в системах теплоснабжения. Определены направления исследований, связанных с созданием высокотемпературных аккумуляторов, способных поддерживать работу теплофикационных узлов в течение длительного периода. На основе технологического расчета представлены конструкторские решения аккумуляторов теплоты. Приведены схемы подключения аккумуляторов к теплообменникам системы теплоснабжения жилищно-коммунальных объектов.

**Ключевые слова:** теплоснабжение, тепловой аккумулятор, электродкотел, термомасло, теплообменник.

### **Введение**

Аккумуляторы теплоты (АТ) предназначены для накопления значительных количеств тепловой энергии. Применение АТ в основном ориентировано на оптимизацию режимов работы систем теплоснабжения [1,2]. При определенных условиях использование АТ позволяет экономить значительные средства на оплату отопления и ГВС зданий и сооружений различного назначения.

Наиболее целесообразным является применение АТ в системах теплоснабжения, оснащаемых электродкотлами. В этом случае зарядка аккумуляторов тепловой энергией может осуществляться в ночное время – в период действия льготного тарифа [3,4].

Отсутствие энергоэффективных АТ в действующих системах теплоснабжения связано с их достаточно сложной конструкцией, невысокой аккумулирующей способностью и длительным сроком окупаемости при высокой цене оборудования и монтажа.

Однако постоянный рост тарифов на электроэнергию способствует развитию этого направления техники. Потребность в АТ может существенно возрасти при использовании новых технологий производства АТ и снижения стоимости оборудования.

**Задача исследования.** При разработке высокотемпературных аккумуляторов возникает ряд сложных технических проблем [5,6]. Для эффективной и экономичной работы системы теплоснабжения необходимо использовать АТ с высокой аккумулирующей способностью. Конструкция АТ должна обеспечивать работу системы теплоснабжения в ночное время (с 23-00 до 7-00) в режиме отопления и аккумуляции теплоты. В дневное время (с 7-00 до 23-00) потреблением теплоты на отопление и ГВС должно осуществляться

преимущественно от теплового аккумулятора. Конструкция АТ должна отвечать условиям промышленной безопасности при эксплуатации оборудования с высокими температурами рабочей среды. Тепловые аккумуляторы должны подключаться к типовым системам теплоснабжения зданий и сооружений без существенной модернизации тепловых сетей. Пример подключения АТ к системе теплоснабжения с электродкотлами представлен на рис. 1.

**Конструкторская часть.** На первом этапе для разработки эскизного проекта АТ предлагается использовать ряд технологических требований: количество аккумулированной теплоты составит 160 кВт·час., температура рабочей среды в АТ: 50 – 250 °С, температура теплоносителя в системе теплоснабжения: 45 – 90 °С, объем рабочей среды в баке АТ - до 3 м<sup>3</sup>. Предполагается установка электронагревателей в АТ мощностью до 30 кВт. Давление в баке АТ: 0,1 МПа (атмосферное). Допустимая температура поверхности изолированного бака АТ – 45 °С.

Важным условием эффективной и безопасной эксплуатации системы теплоснабжения является выбор рабочей среды в АТ. Определяющим параметром рабочей среды в баке АТ является теплоемкость материала. Следует учитывать также такие параметры как температурная стойкость, пожаробезопасность, вязкость, плотность, температура застывания, коэффициент объемного расширения.

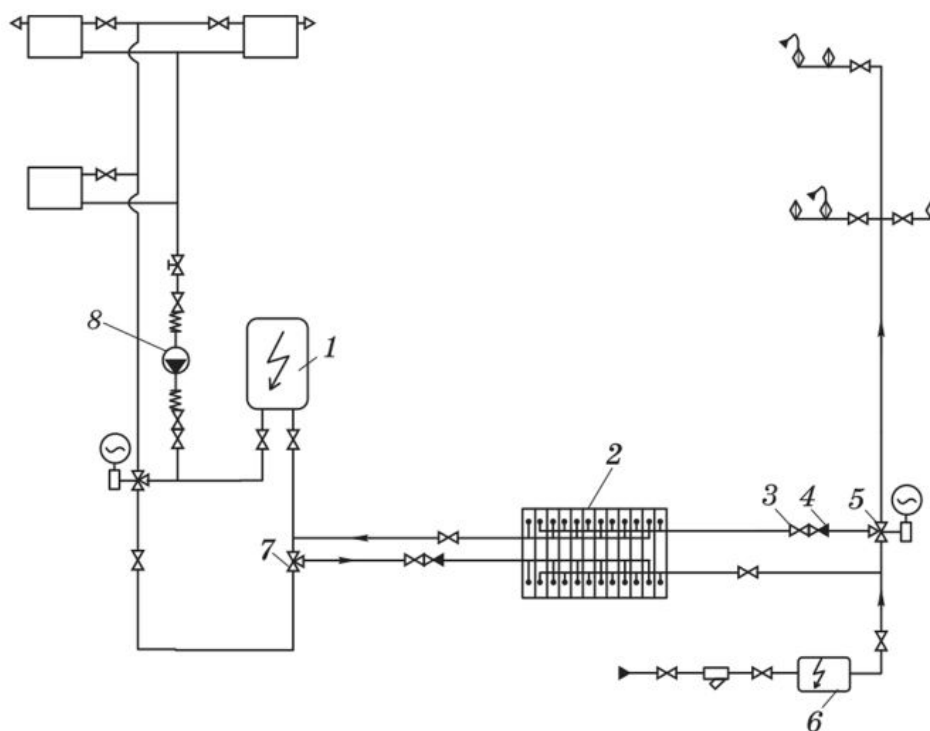


Рисунок 1 - Схема подключения АТ к системе теплоснабжения с электродкотлами: 1 – электродкотел системы отопления; 2 – аккумулятор теплоты; 3 – запорный вентиль; 4 – обратный клапан; 5, 7 – регулирующий клапан; 6- электродкотел системы ГВС; 8 - циркуляционный насос

В качестве рабочей среды в тепловых аккумуляторах можно использовать различные материалы [7,8]:

- вода или водные растворы солей;
- вещества с фазовым переходом (например, парафины).
- синтетические термомасла.

Вода имеет максимальную теплоемкость (4,19 КДж/кг) среди жидких сред, однако температура нагрева воды без повышения давления (без кипения) не может превышать 100 °С.

Парафины могут использоваться для повышения аккумулирующей способности системы, но это требует усложнения конструкции АТ. Предельная температура нагрева парафинов ограничена 200-250 °С. Теплоемкость парафинов 1,9 - 2,1 КДж/кг, скрытая теплота плавления – до 218 КДж/кг при температуре плавления 50 – 55 °С

Синтетические масла имеют предельную температуру нагрева до 350 °С. Теплоемкость масел от 1,8 до 2,4 КДж/кг.

По предварительной оценке, имеется возможность применения термомасел для аккумуляции теплоты. На основе анализа теплофизических свойств в качестве рабочей среды выбрано термомасло АМТ-300, теплофизические параметры которого удовлетворяют принятым ранее технологическим требованиям [9].

#### **Методика теплового расчета АТ**

Задача теплового расчета бака АТ связана с необходимостью определения объема бака при известном количестве запасаемой теплоты и мощности электронагревателей.

Из уравнения теплового баланса определяем объем бака АТ:

$$V = Q_m / (c_{m2} \cdot \rho_{m2} \cdot T_{m2} - c_{m1} \cdot \rho_{m1} \cdot T_{m1}),$$

где, аккумулируемая теплота равна  $Q_m$ ; температуры масла до и после подогрева  $T_{m1}$  и  $T_{m2}$ ; плотность масла  $\rho_{m1}$  и  $\rho_{m2}$ ; теплоемкость масла  $c_{m1}$  и  $c_{m2}$ .

Объем бака АТ с учетом коэффициента объемного расширения  $b_m$  масла при нагреве рабочей среды в баке до 250 °С:

$$V_m = V \cdot (1 + b_m \cdot T_{m2}).$$

Исходя из технических условий рекомендуемый объем бака: 1,7 – 2,0 м<sup>3</sup>. Общий вид бака АТ с частью дополнительного оборудования представлен на рис. 2. Бак АТ (негерметичный) может быть изготовлен из листовой стали толщиной 3-4 мм., исходя из технологических возможностей. Соединение боковых частей производится внахлест, шов проваривается с двух сторон. Днище бака – стальной лист толщиной 4-5 мм.

Сборка боковых частей с днищем производится сваркой по линии контакта, верхняя крышка может быть съемной (с применением болтового соединения через высокотемпературную прокладку) или несъемной (сварочное

соединение по линии контакта корпусом бака). В крышке бака имеются отверстия для ввода трубопровода циркуляции рабочего тела, установки датчика температуры, заливной горловины.

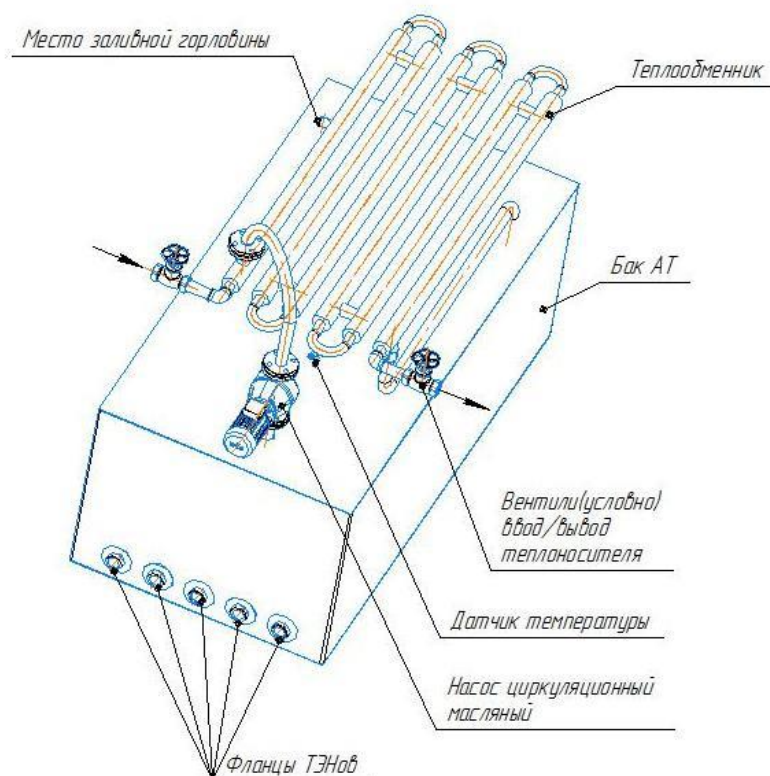


Рисунок 2 - Общий вид бака АТ без кожуха теплообменника.

**Использование тепловой изоляции бака АТ.** Для обеспечения температуры поверхности бака  $T_6 = 45 \text{ }^\circ\text{C}$  необходимо применить тепловую изоляцию из минеральной ваты или ее заменителей [10]. Нижняя часть бака устанавливается на кирпичную кладку или бетонную плиту.

Тепловые потери через стенки и дно бака могут быть рассчитаны по уравнению:

$$Q_{\text{п}} = K_t \cdot l_{\text{п}} / [h_{\text{п}} \cdot (T_{\text{м2}} - T_0) \cdot S_6],$$

где  $l_{\text{п}}$  - теплопроводность изоляционного материала;  $T_0$  - температура окружающей среды. Толщина изоляции равна  $h_{\text{п}}$ , площадь поверхности дна, крышки и стенок бака -  $S_6$ . Коэффициент неравномерности изменения температуры в баке в течение суточного цикла работы АТ  $K_t = 0,8$ .

Расчет показывает, что при применении эффективной изоляции суммарные тепловые потери в окружающую среду  $Q_{\text{п}}$  не будут превышать 0,65 кВт, что составляет 9,75% от объема аккумулируемой теплоты в течение суток.

**Использование системы электронагрева масла.** При применении АТ в системе теплоснабжения целесообразно устанавливать электронагреватели (ТЭН в колбовой оболочке) непосредственно в баке АТ. Узел нагрева можно разделить на две группы ТЭН. Первая группа обеспечивает непрерывный нагрев

масла для дальнейшей передачи теплоты циркуляционной воде системы отопления через теплообменник. Мощность  $W_1$  этой группы ТЭН определяется через величину аккумулируемой теплоты и составляет 10 кВт:

Работа второй группы ТЭН будет обеспечивать, нагрев масла в ночной период (с 23-00 до 7-00) для увеличения температуры масла в маслобаке до требуемого уровня  $T_{м2} = 250$  °С. Мощность  $W_2$  второй группы ТЭН зависит от объема залитого масла и массы металлоконструкций бака, получающих аккумулируемую теплоту. Длительность зарядки теплотой АТ равна 8 часам, что соответствует длительности льготного ночного тарифа электроснабжения. Расчетное значение  $W_2 = 22$  кВт. С учетом необходимого запаса получаем требуемую мощность ТЭН:  $W = 1,1(W_1 + W_2) = 35$  кВт. Количество ТЭН в группах будет зависеть от мощности индивидуального нагревателя.

При конструировании узла нагрева масла следует обеспечить принудительное движение рабочей среды в узле нагрева, чтобы не происходило перегрева поверхности теплоотдачи ТЭН (колбовой оболочки).

**Разработка технологической схемы.** Для подключения АТ к системе теплоснабжения необходимо выполнить ряд условий. Запас теплоты, накопленной в АТ, должен быть предан теплоносителю (воде) для отопления потребителя в течение 16 дневных часов при мощности теплового потока в 10 кВт и в ночное время за счет работы первой группы нагревателей при той же мощности в 10 кВт. Передача теплоты от масла к воде обеспечивается через теплообменный аппарат пластинчатого типа или группу аппаратов кожухотрубчатого типа. Технологические схемы подключения АТ к отопительной системе потребителя через теплообменники приведены на рис. 3 и рис. 4.

**Схема с теплообменником типа «труба в трубе».** Работа схемы основана на циркуляции масла двумя потоками (схема рис. 3).

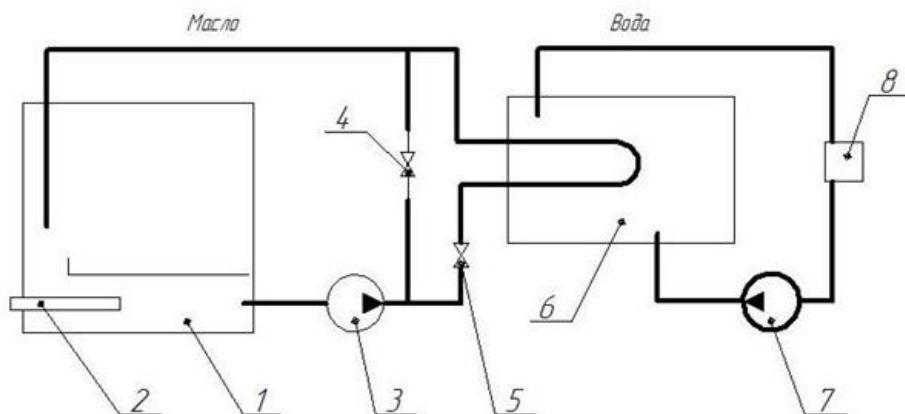


Рисунок 3 - Схема с теплообменником типа «труба в трубе»:

1- маслобак; 2 – электронагреватели; 3 – циркуляционный насос масла; 4 – байпасный клапан; 5 – регулирующий клапан теплообменника; 6 – теплообменник типа «труба в трубе»; 7 – циркуляционный насос отопительного контура; 8 – тепловой потребитель

Первый поток масла проходит через теплообменный аппарат для нагрева теплоносителя отопительной системы. Второй поток проходит по байпасной линии, обеспечивая циркуляцию масла в баке АТ. Оба потока нагреваются в узле ТЭН до максимально достигаемой температуры ( $T_{M2} = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

В ночной период нагреватели ТЭН работают с мощностью 35 кВт. 10 кВт отдается теплоносителю в теплообменнике, 25 кВт обеспечивает нагрев масла в баке. В дневной период нагреватели ТЭН отключаются и вся тепловая нагрузка отопительной системы (10 кВт) передается от нагретого масла через теплообменник. Температура масла в баке АТ при этом снижается до начального значения  $T_{M1} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Скорость уменьшения температуры масла составляет около 12,5 градусов в час. При необходимости группа ТЭН мощностью 10 кВт может быть включена и в дневное время.

Регулирование температурного режима работы теплообменника обеспечивают два клапана, изменяющие расход масла через теплообменник и байпасную линию.

Исходя из структуры рассмотренной схемы (рис. 3) для организации процесса теплопередачи необходимо подобрать теплообменное оборудование и насос для обеспечения прокачки масла через теплообменник и байпасную линию. Для регулирования расхода масла требуется подобрать два клапана, подключаемые к системе автоматики теплового узла.

**Схема с теплообменником пластинчатого типа.** При установке в тепловой схеме пластинчатого теплообменника масло из бака подается циркуляционным насосом на регулирующий клапан (или струйный элеватор), при этом температура масла снижается за счет смешения с обратным теплоносителем из теплообменника (схема рис. 4).

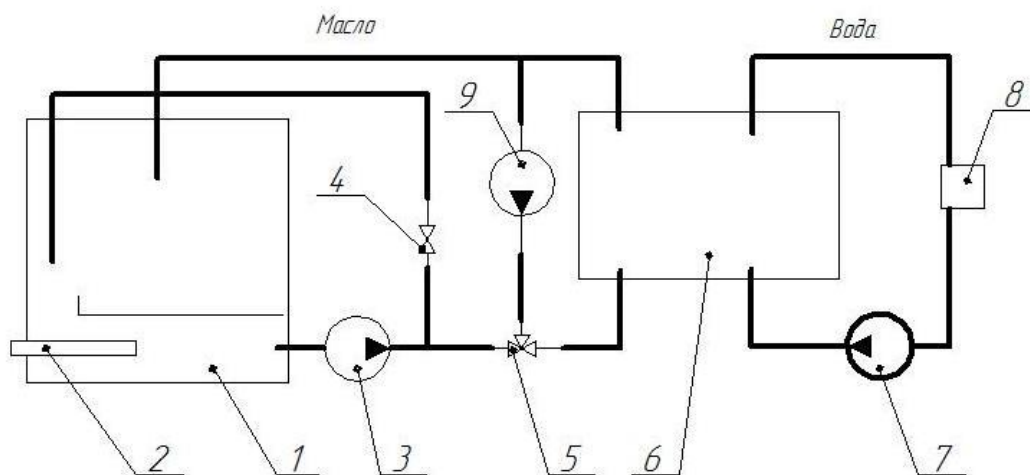


Рисунок 4 - Схема с теплообменником пластинчатого типа:

- 1- маслобак; 2 – электронагреватели; 3 – циркуляционный насос масла;
- 4 – байпасный клапан; 5 – регулирующий клапан теплообменника;
- 6 – теплообменник пластинчатого типа; 7 – циркуляционный насос отопительного контура; 8 – тепловой потребитель; 9 – подпорный насос масла



При применении регулирующего клапана необходим дополнительный подпорный насос. Снижение температуры масла до 150 °С за клапаном обеспечивает надежную работу теплообменного аппарата. Расход масла регулируется также клапаном на байпасной линии.

По второй схеме для организации процесса теплопередачи необходимо подобрать пластинчатый теплообменник, насосы для обеспечения прокачки масла через теплообменник и байпасную линию. Для регулирования расхода масла требуется подобрать два клапана, подключаемые к системе автоматики теплового узла с АТ.

Вода из системы холодного водоснабжения подается в контур отопления, нагревается в теплообменнике, циркуляционным насосом отопительной системы подается в батареи отопления, по обратному трубопроводу возвращается в теплообменник. При необходимости, вода отопительной системы пополняется через насос подпитки. Исходя из технологической схемы управление и контроль за состоянием контура отопления производится ручным или автоматическим способом.

**Подбор оборудования теплового узла с АТ.** В качестве теплообменника в системе теплоснабжения с АТ могут быть предложены рекуперативные теплообменники типа ТТОН «Труба в трубе» (соединенные последовательно) или теплообменник пластинчатого типа. Поверочный расчет теплообменников выполняется для уточнения температурных параметров рабочей среды (масла), подаваемой в теплообменник и площади теплопередачи.

Пластинчатые теплообменники всегда имеют значительный запас по теплопередаче. Поэтому их подбор в основном определяется площадью пластин и передаваемой тепловой нагрузкой. В качестве образца можно использовать теплообменники типа Е8-S-32 или Теплотекс-32М. Площадь теплопередачи в пластинчатых теплообменниках определяется количеством установленных пластин. Следует учесть, что гидравлическое сопротивление пластинчатых теплообменников значительно больше чем у ТТОН. Кроме того, при небольшой толщине пластины перепад давлений в аппарате может быть ограничен. В разрабатываемом АТ перепад давления между маслом и контуром подогрева воды может превышать 0,6 МПа.

Циркуляционный насос масла должен работать при высокой температуре среды (не менее 300 °С). Развиваемое давление – от 0,05 до 0,1 МПа.

**Основные компоненты системы автоматики и контроля АТ.** Для надежной работы системы теплоснабжения необходимо обеспечить поддержание или регулирование заданных параметров ее эксплуатации. Для этого необходимо оснастить тепловой узел с АТ следующими датчиками: температуры масла в баке (2-3 точки); температуры масла за циркуляционным насосом; температуры нагретой воды за теплообменником; уровня масла в баке; давления воды в контуре отопления.

Система автоматического управления и контроля состоит из трех основных узлов:

- защиты от аварийных ситуаций питающей трехфазной сети (броски напряжений, обрыв и перекос фаз);
- при необходимости часового (тарифного) графика работы специальный таймер управляет измерительно-регулирующими приборами;
- измерение и поддержание необходимой температуры рабочей среды в баке АТ производится измерителем-регулятором и датчиками температуры, который управляет контакторами для включения/выключения нагревателей и работой циркуляционного насоса масла.

Для поддержания необходимой температуры теплоносителя в контуре отопления используется измеритель-регулятор, который через контактор управляет циркуляционным насосом и при необходимости, насосом подпитки контура отопления.

При необходимости, в схему автоматики может быть включен модуль диспетчеризации, при помощи которого вся информация о работе системы теплоснабжения с АТ передается на компьютер пользователя, управляющую сеть или в «облако» для удаленного контроля и управления.

### **Заключение**

Применение тепловых аккумуляторов в системах теплоснабжения объектов жилищно-коммунального назначения обеспечивает снижение затрат на отопление и ГВС (в 2 – 2,5 раза при замещении электродкотлов) и повышает надежность работы тепломеханического оборудования.

Наиболее энергоемкими и малогабаритными являются высокотемпературные АТ, использующие в качестве рабочей среды термомасло или вещества с низкими температурами фазового перехода.

Эффективность применения АТ значительно зависит от организации технологической схемы системы теплоснабжения с АТ и уровня автоматизации процессов эксплуатации тепломеханического оборудования.

### **Список литературы**

1. Серов С.Ф. Теплоаккумулирующие системы в теплоснабжении индивидуальных домов // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 10-2. С. 40–45.
2. Сотникова О.А., Турбин В.С., Григорьев В.А. Аккумуляторы теплоты теплогенерирующих установок систем теплоснабжения // АВОК, №5 / 2003, с. 40-45.
3. Дзюба А.П. Применение тепловых аккумуляторов в качестве инструментов ценозависимого электропотребления для бытовых потребителей // Вестник НГУЭУ • 2019 • № 4 с. 256 -261
4. Кузнецова Е.С., Кузнецова В.А., Балицкая Н.В. Анализ тарифов электроэнергии на территории Российской Федерации // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: тр. Седьмой Всерос. науч.-практ. конф. Новокузнецк, 2016. С. 258–263.

5. Сенцов И.В., Постникова П.А., Цыгвинцев И.В., Козлова К.С. Аккумуляция тепла в тепловом аккумуляторе для дежурного отопления индивидуального дома // Синергия наук. 2017. № 9. С. 353–365.

6. Теплоаккумулятор – важный элемент отопления комфортного и безопасного дома // TopClimat.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.topclimat.ru/publications/teploaccumulator\\_vazhnyi\\_element\\_systey\\_otopleniya.html](http://www.topclimat.ru/publications/teploaccumulator_vazhnyi_element_systey_otopleniya.html). – Дата доступа: 12.04.2020

7. Галковский В.А., Ручкина С.А. Анализ применения аккумуляторов теплоты фазового перехода в системе вентиляции зданий // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №6 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/97TVN616.pdf>.

8. Цымбалюк Ю.В. Интегрированная система отопления современных теплиц с применением фазопереходных тепловых аккумуляторов // Перспективы развития строительного комплекса. 2016. № 1. С. 102–106.

9. Назначение и классификация тепловых аккумуляторов // Научная электронная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://monographies.ru/ru/book/section?id=16892>. – Дата доступа: 12.04.2020

10. Аллахвердян Н.Л. Аккумуляторы тепловой энергии и их применение // Молодой ученый. -2016. - №8 (112) с 174-176.

11. Недвига П.Н. Возможности использования тепловых аккумуляторов и низкопотенциального тепла земли при отоплении индивидуальных домов // Инженерностроительный журнал. 2010. № 3. С. 11–14.

12. Тепловой аккумулятор // РосТепло.ру – всё о теплоснабжении в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=844](https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=844). – Дата доступа: 12.04.2020

**Струлев Максим Анатольевич, Ильинский Юрий Юрьевич, Баранов  
Андрей Сергеевич**

**КОЭФФИЦИЕНТ СКОРОСТИ РАБОЧИХ КОЛЕС  
ОСЕВЫХ ГАЗОВЫХ МИКРОТУРБИН**

*Военный учебный центр при Дальневосточном федеральном университете;  
Приморский край, г. Владивосток, ул. Экипажная 18 строение 1, 690001  
Научный руководитель – Ибрагимов Дамир Ирекович, к.т.н., доц.*

УДК 621.438.1

**Аннотация:** вопрос повышения КПД тепловых двигателей всегда был и остается актуальным. Согласно технической литературе, увеличение коэффициента скорости в решетке турбины всего на 1% может увеличить мощность ступени на 0,73%, для микротурбин эта пропорция гораздо больше. В данной работе представлены результаты исследований по эффективности преобразования кинетической энергии потока в рабочих колесах микротурбин.

Область исследования охватывала углы установки передней кромки лопаток рабочего колеса в пределах  $\beta_{1к} = 8^\circ \dots 14^\circ$ , а также углы установки выходной кромки лопаток рабочего колеса в пределах  $\beta_{2к} = 8^\circ \dots 15^\circ$  (соответственно); значения чисел Маха в интервале  $M_{w2t} = 0,38 \dots 2,82$ ; углы входа потока в межлопаточные каналы рабочего колеса в пределах  $\beta_1 = 3^\circ \dots 32^\circ$ .

На основе экспериментов с последующим анализом и обработкой результатов была разработана математическая модель регрессионного типа, позволяющая рассчитывать значения коэффициента скорости рабочего колеса в зависимости от его геометрических характеристик и режимных параметров. Модель может использоваться для оптимизационных вычислений с целью определения оптимальных значений исследованных факторов с точки зрения максимизации коэффициента скорости рабочего колеса.

Полученные результаты могут быть применены при создании высокоэффективных микротурбин, работающих в рамках исследованных значений факторов.

**Ключевые слова:** газодинамика, лопатки, микротурбина

## **Введение**

Эффективность работы газовых турбомашин имеет стратегическое значение для морского сектора отечественной энергетики. Особую актуальность она приобретает в транспортной энергетике, включая автономные подводные и надводные аппараты, где требуется обеспечение высокой мобильности и автономности при минимальном расходе газа. Решение таких задач часто связано с ограниченными размерами сопел и межлопаточных каналов. В настоящее время для преодоления этих ограничений активно применяется создание микротурбин с частичным подводом газа к рабочему колесу. Однако при таком подходе рабочие лопатки микротурбины вентилируют газ в неактивной области дуги, что снижает эффективность их работы и уровень полезной мощности.

Согласно данным [1, 2], снижение степени парциальности в осевых паровых и газовых турбинах существенно снижает их КПД, влияя на общую эффективность энергетических установок. Это особенно критично для морских аппаратов, так как уменьшение автономности турбины оказывает прямое влияние на их целесообразность.

Предлагается использовать микротурбины с сопловыми аппаратами, где сопла установлены под малыми углами [3, 4]. Это позволяет создать микротурбины с полным подводом газа к лопаткам рабочего колеса и исключить упомянутые потери. Тем не менее, прежде чем использовать такие конструкции, необходимо оценить преимущества уменьшения потерь от парциальности по сравнению с потерями кинетической энергии из-за концевых явлений. Исследования в данной области ослаблены недостаточным количеством данных по поведению рабочих колес с большим

поворотом потока в их проточной части. Поэтому актуальным становится изучение оптимального профилирования межлопаточных каналов для микротурбин с большим углом установки лопаток. Это может существенно повысить КПД турбинной ступени в целом.

На основании проведенного анализа результатов исследований, освещенных в технической литературе, для исследования эффективности работы рабочих колес были выбраны следующие факторы – угол установки входной кромки рабочих лопаток ( $\beta_{1к}$ ), реальный угол входа потока газа в межлопаточные каналы ( $\beta_1$ ) и число Маха в выходной плоскости рабочего колеса, вычисленный по теоретическим параметрам ( $M_{w2t}$ ).

### Экспериментальное оборудование

Результаты эксперимента по определению газодинамических характеристик рабочих колес были получены на экспериментальном стенде (рис. 1) который обладал рядом возможностей:

- одновременно выполнять замеры моментов, создаваемые потоком газа при выходе его из сопел и измерители крутящего момента, размещенном за рабочим колесом;
- обеспечения точности измерений, таких параметров как: расход газа, давление и температуру торможения перед соплами, статическое давление в области между соплами и рабочими лопатками (и на выходе из ступени тоже), а также крутящие моменты.

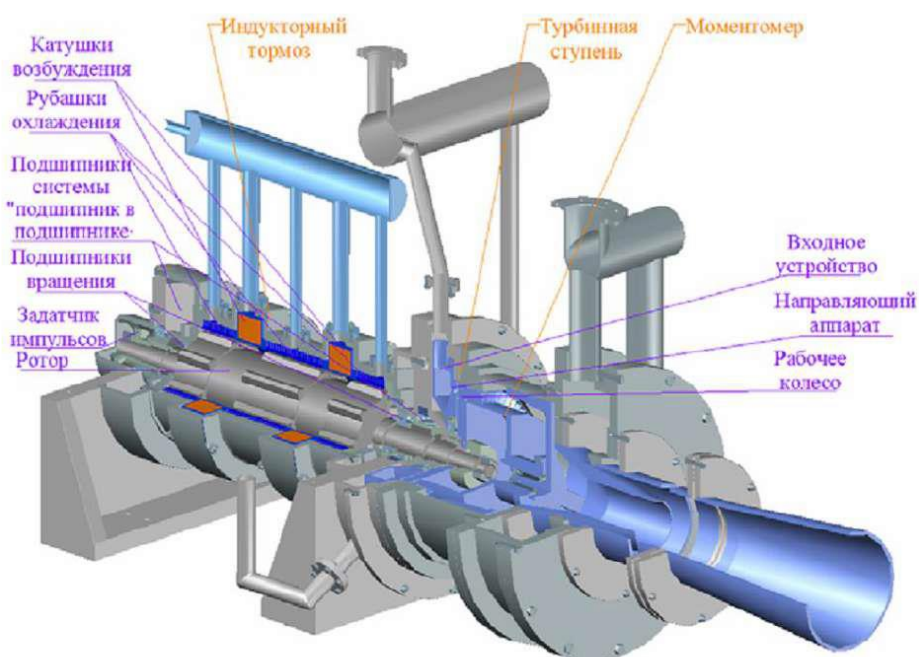


Рисунок 1 – Экспериментальный стенд

### Обсуждение результатов

После проведения полного комплекса экспериментальных исследований и обработки результатов была получена зависимость, отражающая формализованную математическую модель коэффициента скорости РК, являющегося показателем эффективности рабочего колеса [5, 6]. Это

открыло обширные возможности для анализа газодинамических характеристик рабочих колес. Особая ценность состояла в том, что стенд позволял одновременно проводить измерения моментов, создаваемых потоком газа, и измерять крутящий момент, что является ключевым для понимания эффективности рабочего колеса.

Анализ влияния различных факторов на коэффициент скорости рабочих колес был проведен на основании разработанной математической модели. На рис. 2 приведена функция коэффициента скорости в зависимости от угла натекания потока газа на кромки рабочих лопаток ( $\beta_1$ ) и числа Маха ( $M_{w2t}$ ), при  $\beta_{1K} = 8^\circ$ . При других углах натекания характер кривых оставался идентичен приведенному. Отличия составляли только абсолютные значения.

Постоянное значение  $\beta_{1K}$  было выбрано для получения возможности проведения сравнительных анализов с результатами при других углах.

Визуализация влияния угла натекания ( $\beta_1$ ) при постоянном значении  $\beta_{1K}$  позволяет оценить влияния угла атаки на коэффициент скорости. Это важная информация при оптимизации профиля рабочих лопаток.

Зависимость коэффициента скорости от числа Маха также отражает важные характеристики работы колеса. Это позволяет определить качества работы проточной части при различных скоростях газа.

Упомянутый анализ влияния различных факторов на коэффициент скорости стал важным индикатором эффективности колеса и ключевым шагом в оптимизации процесса работы рабочего колеса.

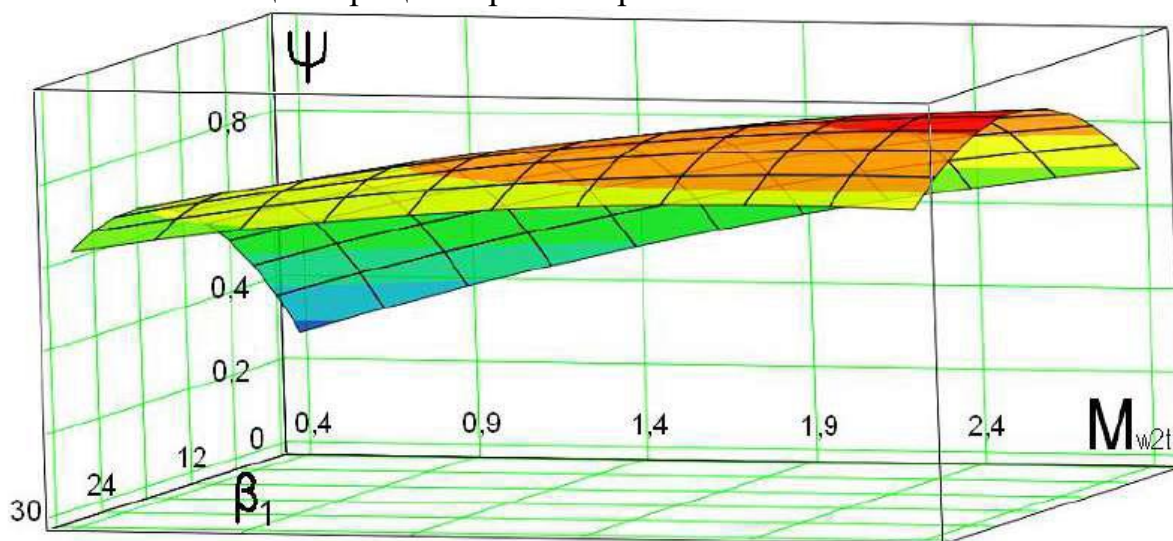


Рисунок 2 – Коэффициент скорости рабочего колеса в зависимости от  $\beta_1$  и  $M_{w2t}$

Анализ подтвердил идентичность кривых при различных углах установки передней кромки рабочих лопаток. А сам факт того, что характер кривых остался идентичным при различных углах натекания и чисел Маха (за исключением абсолютных значений), говорит о стабильности зависимости и возможности обобщения результатов для различных условий эксплуатации. Все эти наблюдения представляют важную информацию для проектирования эффективных газодинамических систем с использованием

рабочих колес. Результаты эксперимента и математическая модель могут быть применены для оптимизации производительности и эффективности турбомашин.

На рис. 3 представлена зависимость функции коэффициента скорости от угла натекания потока газа на кромки рабочих лопаток ( $\beta_1$ ) и  $\beta_{1k}$  при числе Маха  $M_{w2t} = 2,82$ . При других значениях числа Маха общий характер кривых оставался неизменным по сравнению с представленным. Отличия проявлялись лишь в абсолютных значениях.

Выбор постоянного значения  $M_{w2t}$  был обоснован необходимостью проведения сравнительных анализов с результатами при различных числах Маха. Визуализация влияния угла натекания ( $\beta_1$ ) при постоянном значении  $M_{w2t}$  позволяет оценить воздействие угла атаки на коэффициент скорости при различных числах Маха.

Зависимость коэффициента скорости от  $\beta_1$  и  $\beta_{1k}$  отражает, среди прочего, влияние изменения углов, причем  $\beta_1$  зависит от  $\beta_{1k}$ .

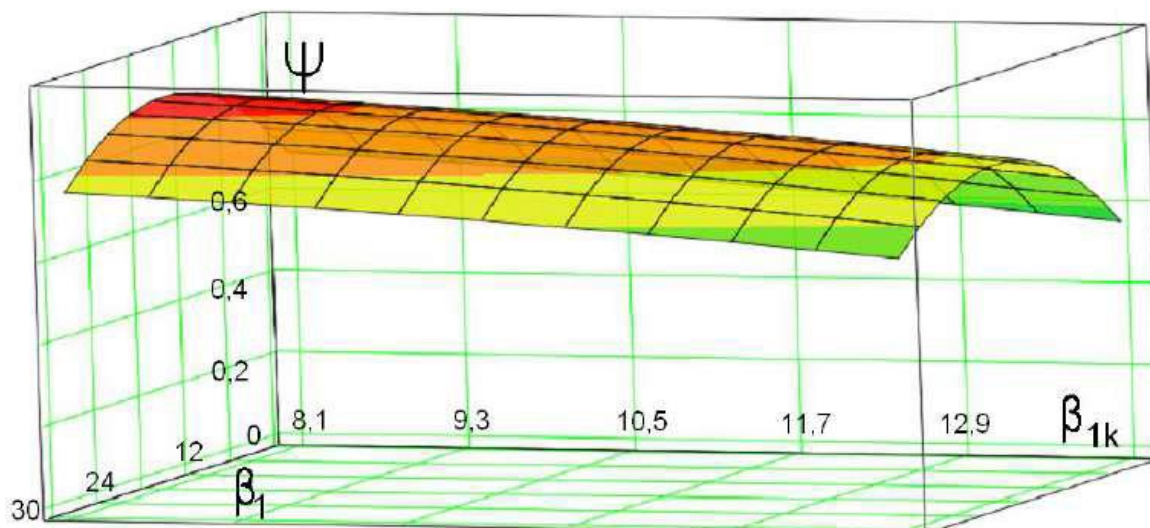


Рисунок 3 – Коэффициент скорости рабочего колеса в зависимости от  $\beta_1$  и  $\beta_{1k}$

Проведенный анализ для определения оптимального угла атаки показал (рис. 4), что его значение должно находиться в зоне отрицательных значений. При малых конструктивных углах входа у кромок рабочих лопаток угол атаки должен быть максимально отрицательным [7]. С увеличением конструктивного угла оптимальный угол атаки смещается в сторону положительных значений, однако он все равно должен оставаться отрицательным.

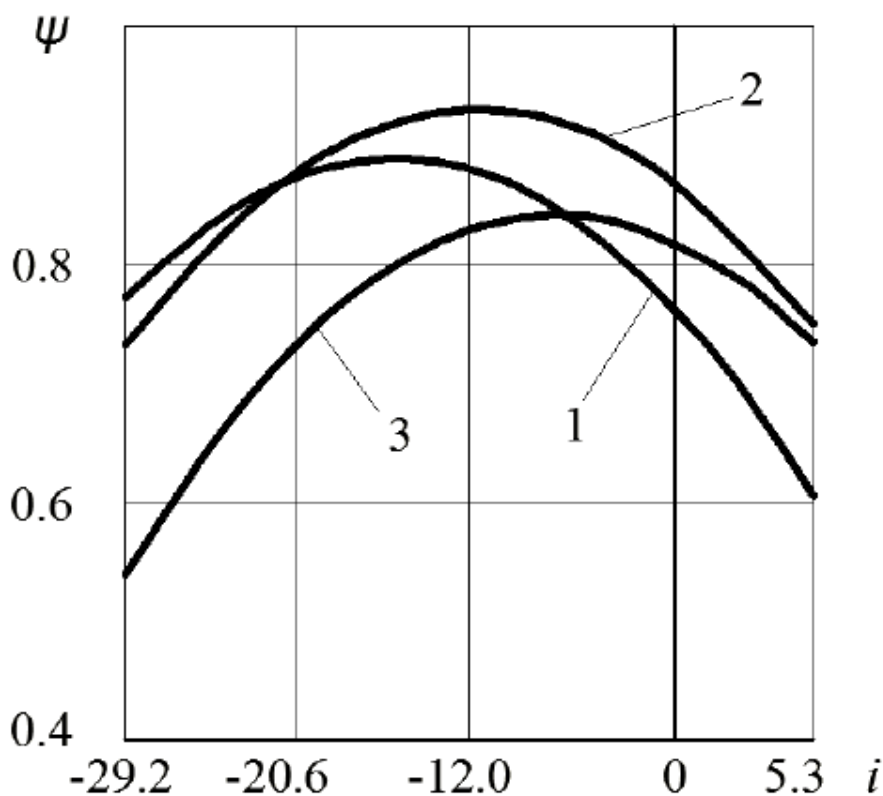


Рисунок 4 – Влияние угла атаки на коэффициент скорости рабочего колеса  $\beta_{1K} = 8^\circ$ ;  $\beta_{2K} = 8^\circ$   
 при: 1 –  $M_{w2t} = 0,38$ ; 2 –  $M_{w2t} = 1,6$ ; 3 –  $M_{w2t} = 2,82$ ;

### Заклучение

1. Результаты имитационного моделирования подтвердили существование оптимального угла атаки для коэффициента скорости рабочих колес.

2. Значение оптимального угла атаки оказалось в области малых отрицательных значений.

3. Положительные углы атаки сопровождаются увеличением профильных потерь, в то время как при росте числа Маха наблюдается увеличение коэффициента скорости рабочего колеса.

4. Результаты оптимизационных исследований позволили получить максимально возможное значение коэффициента скорости рабочего колеса в рассмотренном диапазоне изменения факторов, которое составило –  $\Psi=0,92$ .

5. Результаты работы позволили сделать вывод о конкурентоспособности исследованных конструкций рабочих колес по сравнению с колесами традиционного исполнения.

6. Проблема обеспечения высокой частоты вращения вала рабочего колеса, необходимой для данного типа микротурбин, может быть успешно преодолена благодаря полученным результатам исследований, представленным в работе [8].



## Список литературы

1. Фершалов Ю.Я., Ханькович И.Н., Минаев А.Н., Карастелёв Б.Я., Якубовский Ю.В., Кончаков Е.И. Влияние конструктивных факторов на КПД малорасходных турбинных ступеней // Научное обозрение. 2012. № 5. С. 440-450.
2. Фершалов Ю.Я. Моделирование, анализ и совершенствование газодинамических характеристик судовых осевых сверхзвуковых малорасходных турбинных ступеней // автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Дальневосточный федеральный университет. Владивосток, 2015.
3. Ибрагимов Д.И. Совершенствование эксплуатационных характеристик судовой осевой парциальной микротурбины с одиночным соплом // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дальневосточный федеральный университет. Владивосток, 2019. – 131 с.
4. Fershalov Y.Y., Fershalov A.Y., Fershalov M.Y. Microturbine with new design of nozzles // Energy. 2018. Т. 157. С. 615-624.
5. Fershalov A.Yu., Fershalov M.Yu., Fershalov Yu.Ya., Sazonov T.V. Results of the study rotor wheels supersonic microturbines with a large angle of rotation of the flow // Applied Mechanics and Materials. 2015. Т. 752-753. С. 884-889.
6. Фершалов М. Ю., Фершалов А. Ю., Ибрагимов Д. И., Камаев Н. А. Влияние угла атаки на эффективность рабочих колес сверхзвуковых микротурбин // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2018. – № 2(35). С. 43-48.
7. Фершалов А.Ю., Грибиниченко М.В., Фершалов Ю.Я. Газодинамические характеристики рабочих колес осевых турбин с большим углом поворота проточной части // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение. 2012. № 1 (86). С. 88-98.
8. Грибиниченко М.В., Куренский А.В., Фершалов Ю.Я. Обобщенная математическая модель осевых подшипников с газовой смазкой элементов судовых энергетических установок // Морские интеллектуальные технологии. 2011. № S1. С. 21-23.

**Фиголь Максим Евгеньевич**

## **ПРАВОМОЧНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КПД ОСЕВЫХ ПАРЦИАЛЬНЫХ МИКРОТУРБИН**

*Военный учебный центр при Дальневосточном федеральном университете;*

*Приморский край, г. Владивосток, ул. Экипажная 18 строение 1, 690001*

*Научный руководитель – Ибрагимов Дамир Ирекович, к.т.н., доц.*

УДК 621.438.1

**Аннотация.** В данной статье рассмотрен численный метод с точки зрения их использования при исследовании газодинамических характеристик микротурбин. Проанализировав литературу, делаем вывод, что данный метод является менее рациональным и перспективным для исследования КПД осевых парциальных микротурбин, так как он не обеспечивает высокую достоверность исходных данных, точность расчета.

**Ключевые слова.** микротурбина, эффективность, степень реактивности, сопло, турбинная ступень.

Осевые парциальные микротурбины используются во многих отраслях, например, в нефтедобывающей промышленности, электроснабжении и т.д. В нашем случае мы будем говорить о тех из них, которые используются преимущественно на судах и кораблях. Их устройство принципиально не отличается от используемых в других областях техники. При проектировании любой энергетической установки, в первую очередь, стараются достичь максимально возможного КПД.

Численный метод является одним из трёх методов исследования КПД осевых парциальных микротурбин. Проанализировав литературу, были определены определённые проблемы, связанные с данным методом.

Решение уравнений сохранения, состояния и движения рабочего тела, как аналитическими, так и численными методами, представляют собой численный метод [1,2].

Для оценки эффективности сопловых аппаратов используются программы, такие как: STAR-CD, FLUENT, CFX, NUMECAFINE, TASCflow и др. Коммерческие программы дают возможность проанализировать течение рабочего тела и рассчитать интегральные характеристики решеток в широком диапазоне режимов обтекания, но для решения конкретных задач, перечисленные пакеты не являются универсальным. На конечные результаты влияют следующие параметры:

1. Точности дискретизации;
2. Модели турбулентности.
3. Тип расчётной сетки;
4. Число ячеек;
5. Степени турбулентности;

При расчёте осевых парциальных микротурбин выделен ряд особенностей, который ограничивает использование существующих численных методов на практике. К ним относятся:

- *Низкая достоверность результатов*, приводящая к использованию схем расчета, которые не обеспечивают наилучшие результаты.

- *Точность расчётов* не гарантирует применение единственной полученной модели ко всем возможным частным случаям. Например, моделей турбулентности насчитывается более десятка. Исходя из этого делаем вывод что на данный момент невозможно построить модель турбулентности, на которой можно выполнить расчеты с учетом всех рабочих условий.

- *Длительность времени расчёта*, в том числе при использовании суперкомпьютеров.

- *Невозможность идентификации*, так как в результате использования программных пакетов математического обеспечения расчётов, предоставляется несколько схем, которые не являются достаточно верифицированными.

Анализ течения газа в проточной части осевых парциальных микротурбин, можно выполнить в одномерной, двумерной и трехмерной постановке. Сущность перечисленных постановок предполагает получение значений эффективности по интегральным характеристикам. Дальнейший расчет КПД основан на рассчитанных характеристиках потока рабочего тела в любой плоскости узлов сетки, представленных в виде векторов, и расчет эффективности потока рабочего тела по всей проточной части узлов сетки в виде векторов. Например, существуют методы расчёта двумерного и трёхмерно течения газа в проточных частях турбин. На основе этого исследования была разработана технология для проектирования турбин, давшая возможность сократить затраты на создание турбин в 3-5 раз.

По теме численных методов газовой динамики, имеются рекомендации по созданию расчётной модели, но для исследования эффективности осевых турбин они не всегда применимы [3]. Также при применении граничных условий для профилей сопел со значительными углами поворота, появляется перекося конечных элементов около выходной кромки, который отрицательно сказывается на результатах расчета. Исходя из этого, разработать окончательную методику возможно исключительно совместным анализом результатов и экспериментальных исследований [4].

В исследовании представлен расчет течения рабочего тела в проточных частях турбин. В расчетную область включается вся проточная часть, так как исходная система уравнений имеет эллиптический тип. Эта особенность позволяет учесть взаимное влияние венцов вверх и вниз по потоку в рамках осесимметричного приближения. Реализация описанной задачи на практике имеет ряд проблем [5]:

1. Малая вероятность получения решения поставленной задачи для околосвуковых ступеней с заданными параметрами на выходе и суммарным расходом, так как при определении перепада энтальпий необходима максимально высокая точность иначе малейшая неточность может привести к существенной погрешности расчетов;

2. Не учитывается смещение потока в модели, что влечет за собой большую погрешность расчета, в частности на долевых режимах и при непостоянных потерях;

3. Плохое уплотнение радиальных зазоров, приводящее к значительным расхождениям экспериментальных данных и расчетных.

4. Вращающееся рабочее колесо в расчетной части ухудшает сходимость решения задачи из-за нелинейных членов в уравнениях исходной системы;

Расчет потока рабочего тела в проточных частях осевых парциальных микротурбин заключен в решении уравнения Навье-Стокса при учете вращения рабочего колеса [6]. Однако на сегодняшний день сделать это аналитическим методом невозможно, в особенности, если рассчитывается сверхзвуковая турбина, поскольку к имеющейся турбулентности добавляется неравномерность потока по причине вращения рабочего колеса [7].

Исследователи сверхзвуковых осевых парциальных микротурбин на неустойчивых режимах работы для получения уравнений методом последовательных приближений учитывают только влияние степени реактивности и не основываются на эксперименты. При этом они не учитывают массу протечки и влияние ее на скачкообразность давления по высоте лопатки, однако при численном моделировании учитываются влияние на степень реактивности. По итогу для определения КПД турбинной ступени, а также достаточно большой точности расчета нужно использовать эмпирические зависимости. Кроме того, нужно учитывать отклонения потока в косых срезах сопел на режимах, которые отличаются от расчетного [8].

Конечный результат зачастую не достигается, так как, при введении полученных данных в ходе эксперимента, в расчете методом последовательных приближений наблюдается изменение функции. Она перестает быть гладкой и непрерывной. Это негативно сказывается на сходимости процесса.

На основе анализа литературы делаем вывод, что численный метод исследования является менее рациональным и перспективным для исследования КПД осевых парциальных микротурбин, так как он не обеспечивает высокую достоверность исходных данных, точность расчета, а также занимает очень длительное время, в том числе при использовании суперкомпьютеров.

### **Список литературы**

1. Фершалов А.Ю., Фершалов Ю.Я., Поршкевич В.В., Камаев Н.А. Конструкция ступени осевой турбины с частичной интеграцией рабочего колеса в сопловой аппарат (05.08.05) // Морские интеллектуальные технологии – 2017. № 3-4 (38). С 94-98

2. Ибрагимов Д.И. Совершенствование эксплуатационных характеристик судовой осевой парциальной микротурбины с одиночным соплом // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дальневосточный федеральный университет. Владивосток, 2019. – 131 с.

3. Fershalov, A.Y., Fershalov, Y.Y., Fershalov, M.Y. Principles of designing gas microturbine stages // Energy, 2021, 218, 119488. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119488>

4. Ибрагимов Д.И. Совершенствование эксплуатационных характеристик судовой осевой парциальной микротурбины с одиночным соплом // автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дальневосточный федеральный университет. Владивосток, 2019. – 24 с.

5. Ибрагимов Д.И., Камаев Н.А., Кузнецов Д.А. Результаты исследования влияния режимных и конструктивных факторов на энергетическую эффективность микротурбин // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 4-4(42). С. 147-151.

6. Ибрагимов, Д. И. Влияние угла выхода сопел и безразмерной скорости газа на степень реактивности ступени осевой микротурбины / Вопросы образования и науки: теоретический и практический аспекты: Международная научно-практическая конференция, // Самара, 25 декабря 2015 года. – Самара: Общество с ограниченной ответственностью "Офорт", 2015. – С. 332-333.

7. Ibragimov D. I., Mochalov A., Plinskiy. Yu. Yu. Research data of microturbine nozzles with outlet angles under 9 degree// Procedia Engineering. International conference on industrial engineering/ ICIE 2017. P 493-498

8. Fershalov A.Yu., Fershalov M.Yu., Fershalov Yu. Ya., Sazonov T.V., Ibragimov D.I., Research data of turbine nozzle of 5-9-degree outlet angles// Applied Mechanics and Materials. 2015. 789-790. P. 203-206.

## **Секция № 4. Водоснабжение и водоотведение**

**Руководитель секции: Федюк Роман Сергеевич, д.т.н., доц.,  
профессор Военного учебного центра при ДВФУ**

**Котовская Елена Евгеньевна, Высоцкий Артем Андреевич**  
**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**  
**ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ НА ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ**  
**ЭКСПЛУАТАЦИИ**

*Институт «Академия строительства и архитектуры», ФГАОУ ВО КФУ  
им. В.И. Вернадского», Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181*

**Аннотация:** В работе представлены методика адаптации электронной цифровой модели водопроводной сети, позволяющая осуществлять решение различных коммутативных задач, направленных на устранение существующих технических сдвигов системы, вызывающих учащенное количество аварийных ситуаций, способствующая корректной разработке рекомендаций по совершенствованию работы системы.

**Ключевые слова:** водопроводная сеть, гидравлический расчет, цифровая электронная модель водопроводной сети, балансы потоков распределения, элементы системы водоснабжения, аварийные ситуации, технологические отказы.

### **Введение**

В Российской Федерации все большие обороты набирает цифровизация в рамках которой эксплуатационные предприятия заказывают цифровую паспортизацию сетей водопровода, канализации, теплоснабжения, газоснабжения, электросетей, паспортизации объектов коммунального городского хозяйства, выполняемую на базе программы «Zulu», разработанную компанией «Политерм» [1]. Финальные электронные цифровые модели систем водоснабжения и водоотведения, подготовленные как специалистами эксплуатационных организаций, так и специалистами фирм-партнеров компании «Политерм» носят информационно-справочный характер [2], но недостаточно пригодны для решения коммутационных задач, решение которых жизненно-необходимы для эксплуатационных организаций.

### **Материалы и методы**

В качестве объекта исследования была принята система водоснабжения микрорайона одного из городов Республики Крым, состоящая из распределительных трубопроводов, и подкачивающей насосной станции, размещенной в центральном тепловом пункте (ЦТП).

Рассматриваемый микрорайон ограничен рядом улиц (*в целях защиты информации, наименование улиц обезличены*): улица №1; улица №2 и улица №3 всего 21 многоэтажный жилой дом этажностью 5, 9, 10. Квартал расположен на геодезических отметках 50,000...28,000; ЦТП – на отметке 31,000; при этом

водопровод от городской магистрали заведен в ЦТП а далее после ВНС в распределительную сеть микрорайона.

Перечень объектов водоснабжения рассматриваемого микрорайона представлен в таблице 1.

Таблица 1

**Перечень объектов водоснабжения на территории рассматриваемого микрорайона**

№	Адрес	Количество этажей	Количество абонентов	Количество жильцов
1	улица №1, 7	10	117	304
2	улица №1, 7/1	5	40	83
3	улица №1, 8/1	5	60	133
4	улица №1, 8/2	5	21	53
5	улица №1, 9	10	120	270
6	улица №1, 9/1	5	40	87
7	улица №1, 11	5	40	99
8	улица №1, 13	5	50	110
9	улица №1, 21	10	119	296
10	улица №1, 21/1	5	40	90
11	улица №1, 23	10	80	180
12	улица №1, 27	10	280	587
13	улица №3, 13	5	40	52
14	улица №3, 15	10	119	246
15	улица №3, 17	5	88	200
16	улица №3, 19	5	101	231
17	улица №3, 21	5	80	181
18	улица №3, 23	10	160	374
19	улица №3, 25	5	160	358
20	улица №1, 6	10	120	266
21	улица №1, 10	10	120	266
	Суммарное количество			4466

После сбора данных о водопотреблении закрытого контура участка водопроводной сети, в первую очередь, было необходимо установить связь между коэффициентами сезонной неравномерности, часовой неравномерности и фактическими значениями, что вызывало определенные затруднения, поскольку водопроводная система микрорайона объединена. Для достижения данных показателей выполнили статистическую обработку суточного водопотребления микрорайона за многолетний период наблюдений.

В результате статистической обработки математических данных были выявлено, что распределение случайной величины значений удельного водопотребления подчинено закону распределения Вейбулла-Гнеденко. и получено аналитическое выражение распределения случайной величины, с соответствующими параметрами: математическое ожидание удельного среднесуточного водопотребления для рассматриваемого микрорайона составляет равное  $0,090 \text{ м}^3 \cdot \text{сутки}/\text{человека}$ , дисперсия случайной величины удельного водопотребления  $0,00673 \text{ (м}^3 \cdot \text{сутки}/\text{человека)}^2$  и

среднеквадратическое отклонение  $0,08202 \text{ м}^3 \cdot \text{сутки}/\text{человека}$ . Проверка сходимости полученных результатов осуществлялась по критерию Пирсона. Выполнено выравнивание функции с построением дифференциальной и интегральной кривой распределения [3-4].

### Результаты

Для интерпретации полученных данных в ходе математической обработки нанесли дифференциальный график распределения диапазонов удельного водопотребления рассматриваемого микрорайона, совместно с дифференциальной кривой распределения удельного водопотребления, построенной в соответствии с рекомендацией *СП 31.13330.2021*.

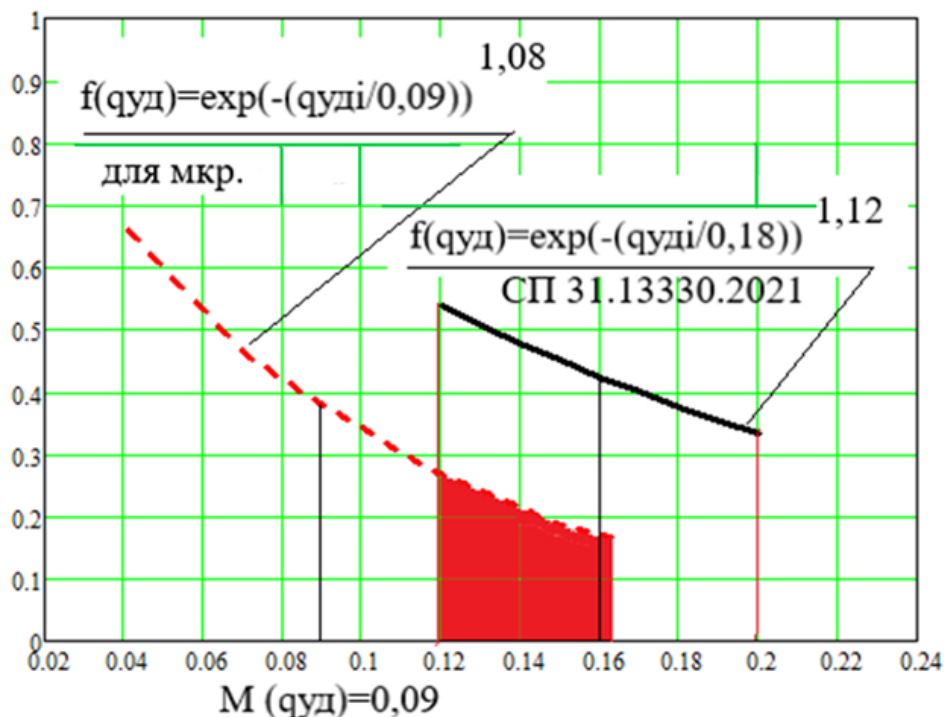


Рисунок 1 - Сводный график дифференциальных кривых распределения значений удельного водопотребления

На графике (рисунок 1) кроме дифференциальных кривых распределения, указаны границы области их распространения, а также математическое ожидание удельного водопотребления. Заштрихованная область под кривой показывает период времени удельного водопотребления, в границах, рекомендованных *СП 31.13330.2021*. Количественную оценку периода времени водопотребления в рекомендованных границах провели при помощи функции Лапласа [5] и вероятность удельного водопотребления для рассматриваемого микрорайона в диапазоне, рекомендованном *СП 31.13330.2021* составляет 19,8%.

Одним из факторов, оказавшим влияние на выбор направления исследования, являлась необходимость в организации системы учёта потерь воды при нарушении целостности трубопровода, а также подготовка аналитической базы для формирования возможных причин возникновения аварий.



Первоначально в работе рассматривалась база данных аварийных ситуаций всего города в период с 2018 года по октябрь 2023 года из которой подготовили выборку непосредственно аварийных ситуаций на территории рассматриваемого микрорайона. Затем полученную выборку количественно классифицировали по годам и видом аварийной ситуации в рассматриваемом микрорайоне. В таблице 2 представлено количественное распределение аварий на рассматриваемых кольцевых водопроводных сетях микрорайона. Больше количество аварийных ситуаций соответствовало 2020 году. Значительное количество аварий соответствует повреждению «Свиц», что хорошо коррелирует с ранее опубликованными данными [6-7].

Таблица 2

**Количественные сведения по авариям на водопроводных сетях рассматриваемого микрорайона**

Наименование вида повреждения	2019	2020	2021	2022	2023
«Нарушение стыкового соединения»	1				
«Трещина продольная»	1	7	3	6	
«Трещина поперечная»		3	2	1	
«Свиц»	5	33	27	15	3
«Течь из раструба»		7	1	3	1
«Течь из под фланца»		1	1		
«Течь из сальников»		1	2		
«Течь из под хомута»			2		1
«Разрыв стенки трубы вследствие просадки грунта»				1	
Суммарно	7	52	38	26	4

Данные таблицы 2 графически представили на рисунке 2.

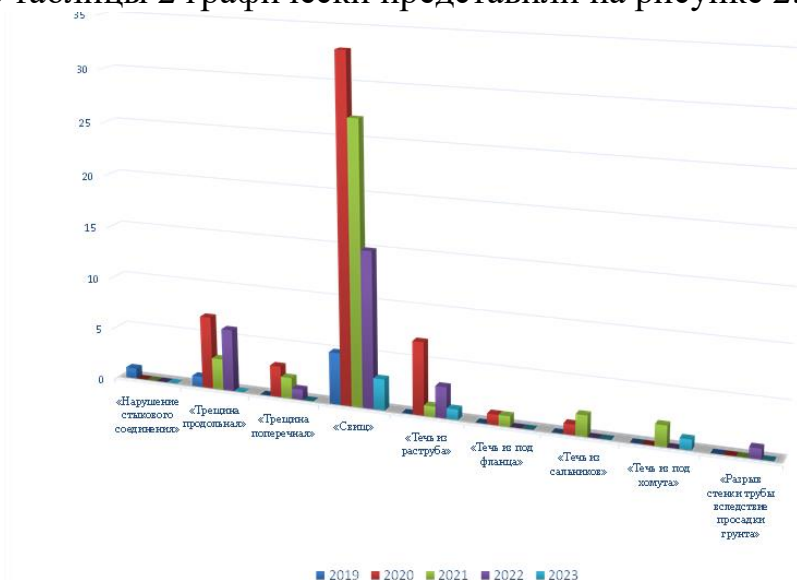


Рисунок 2 - Данные аварийных ситуаций на водопроводной сети рассматриваемого микрорайона

При анализе сведений базы аварийных ситуаций и их группировке было выявлено, что наибольшее количество аварий соответствует классификации «свищ», «трещина продольная», «трещина поперечная», «течь из раструба», «нарушение стыкового соединения». Для графического восприятия была разработана система условных обозначений аварийных ситуаций с последующим размещением на карте-плане, рассматриваемого микрорайона. Затем аварийные ситуации были нанесены по адресам на карте микрорайона, с классификацией по видам аварийных ситуаций (рисунок 3).

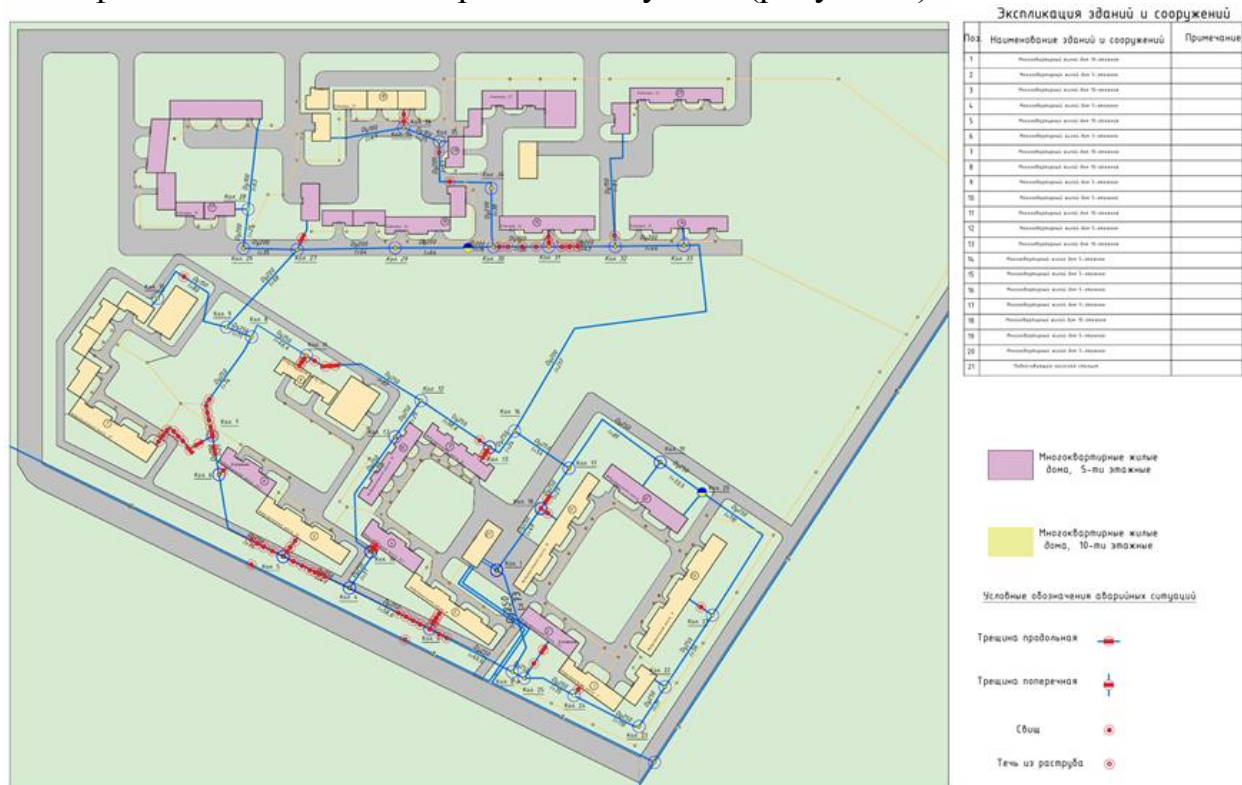


Рисунок 3 - Карта - план водопроводных сетей рассматриваемого микрорайона с нанесенными аварийными ситуациями

Графический анализ показал, что аварийные ситуации на сети сосредоточены по определенным адресам. Для анализа причин возникновения аварийных ситуаций и выявления всех гидравлических характеристик в момент возникновения аварии необходимо было выполнить гидравлический расчет системы водоснабжения рассматриваемого микрорайона.

Предварительно ознакомившись с составом оборудования и обвязкой водопроводной подкачивающей насосной станции (рисунок 4).

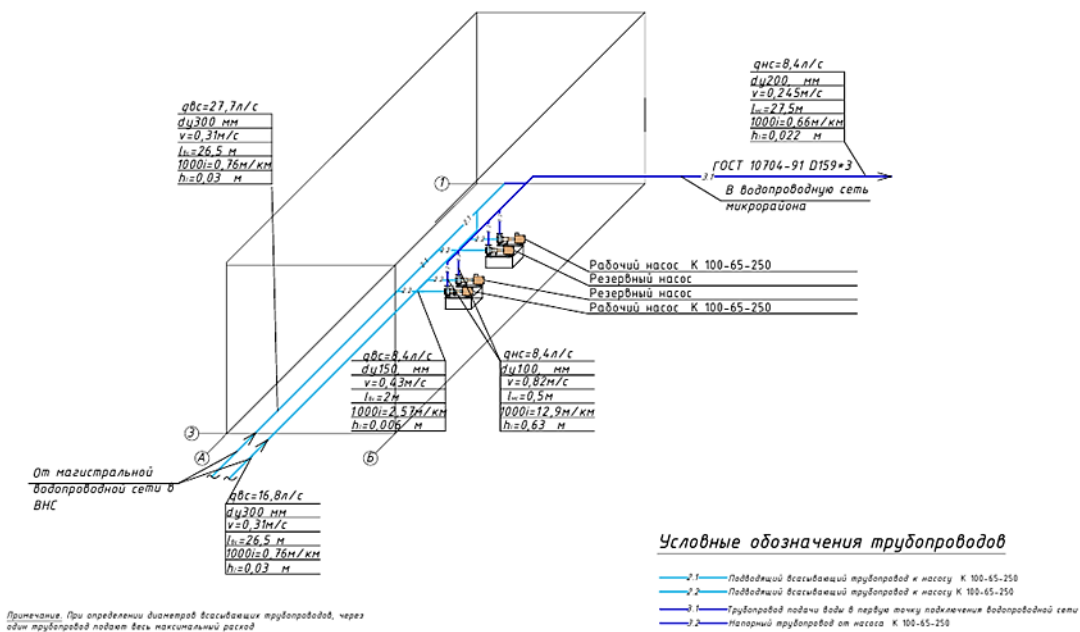


Рисунок 4 - Аксонометрическая схема обвязки подкачивающей водопроводной насосной станции

Состав оборудования в ВНС за рассматриваемый период несколько раз сменили, что нашло отражение в наших расчетах. Предприятием были предоставлены данные по часам работы насосного оборудования по месяцам каждого года, по затраченной мощности по перечисленному временному периоду. В данный момент установлены для эксплуатации насосы К 100-65-250.

Получив сведения по насосному оборудованию, действующему в разные временные периоды, зная расход по абонентам и выполнив все необходимые предварительные этапы, приступили к выполнению гидравлического расчета с целью получения свободных напоров в узловых точках, на участках которых наиболее часто происходили аварийные ситуации (рисунок 5-6).

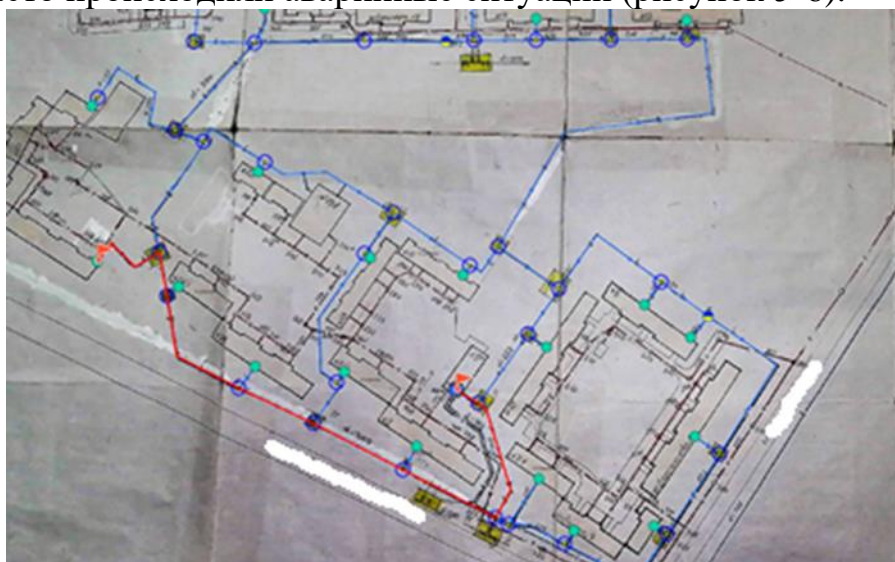


Рисунок 5 – Схема движения потока воды от ВНС до участка с наиболее частым возникновением аварийных ситуаций

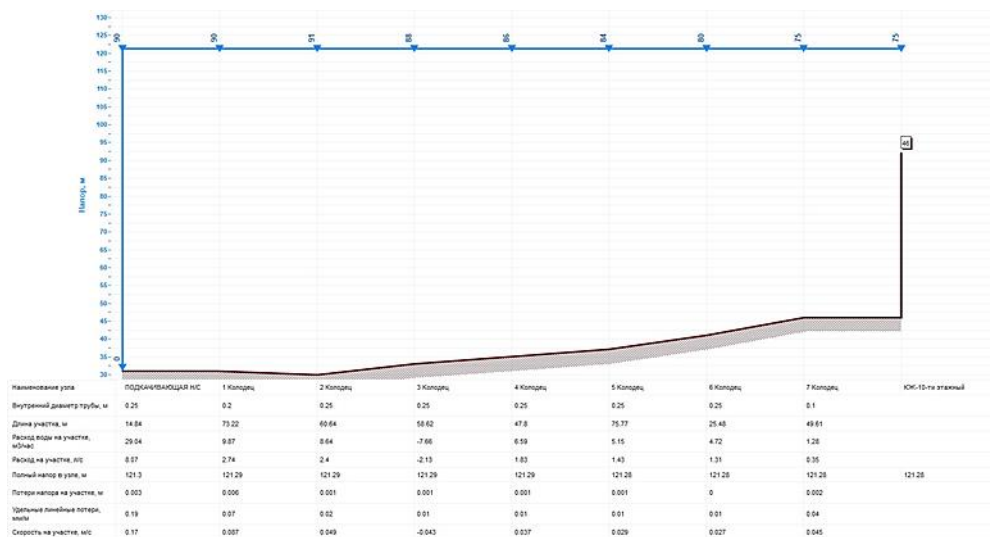


Рисунок 6 – График свободных напоров от ВНС до участка с наиболее частым возникновением аварийных ситуаций

Получив сведения о свободном напоре в узловых точках - местах возникновения аварийных ситуаций появилась возможность определить объемы утраченной воды при возникновении аварий.

В таблице обобщены сводные данные по расходам воды, которые подает подкачивающая водопроводная насосная станция в водопроводную сеть рассматриваемого микрорайона (4), сводные данные по потреблению жильцами многоквартирных жилых домов (3), сводные данные по годовым утечкам воды (5), данные по естественной убыли воды (6), рассчитанной согласно Приказа МИНЖКХ РФ №640 от 17.10.2014. В столбце (7) определена невязка по потреблению воды; (8)-столбец – количество жильцов, проживающих в рассматриваемом микрорайоне, (9) столбец – суточный расход воды, приходящийся на одного потребителя, что хорошо согласуется с данными статистической обработки.

Таблица 2

**Сводные данные обобщения расходов воды, потребления абонентами, работы насосной станции, расходов воды на утечки, расходов воды на естественную убыль, и расход, приходящийся на одного абонента в рассматриваемом микрорайоне за период 2018 - 2023 год**

Возможное количество воды, подаваемой в микрорайоне	Год наблюдений	Годовое потребление абонентами, м³	Сведения по подаче воды подкачивающей водопроводной насосной	Потери воды от момента подачи заявки до момента начала восстановления	Объем годовой естественной убыли воды, на водопроводных сетях	Невязка, м³	Количество абонентов	Расход, приходящийся на одного абонента, м³/сутки
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2018	125996					4280	0,082

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Согласуется со временем наработк и	2019	122635,924	417615	3373,95	1946,796	289 658	4232	0,079
	2020	138293,935	860800	504182,53	1946,796	56376,6	4232	0,090
379600	2021	145218,892	860518	88534,53	1946,796	143899	4232	0,094
Согласуется со временем наработк и	2022	140289,169	688200	17595,84	1946,796	528 368	4232	0,091
24000	2023	108026,85*		978,96	1946,796		4232	0,070

На рисунке 7 представлена графическая интерпретация балансов расходов воды по рассматриваемому микрорайону, показывающая разность между подаваемой водой в сеть микрорайона, потребляемой водой абонентами, расходами воды при естественной убыли, и расходами воды при аварийных утечках.

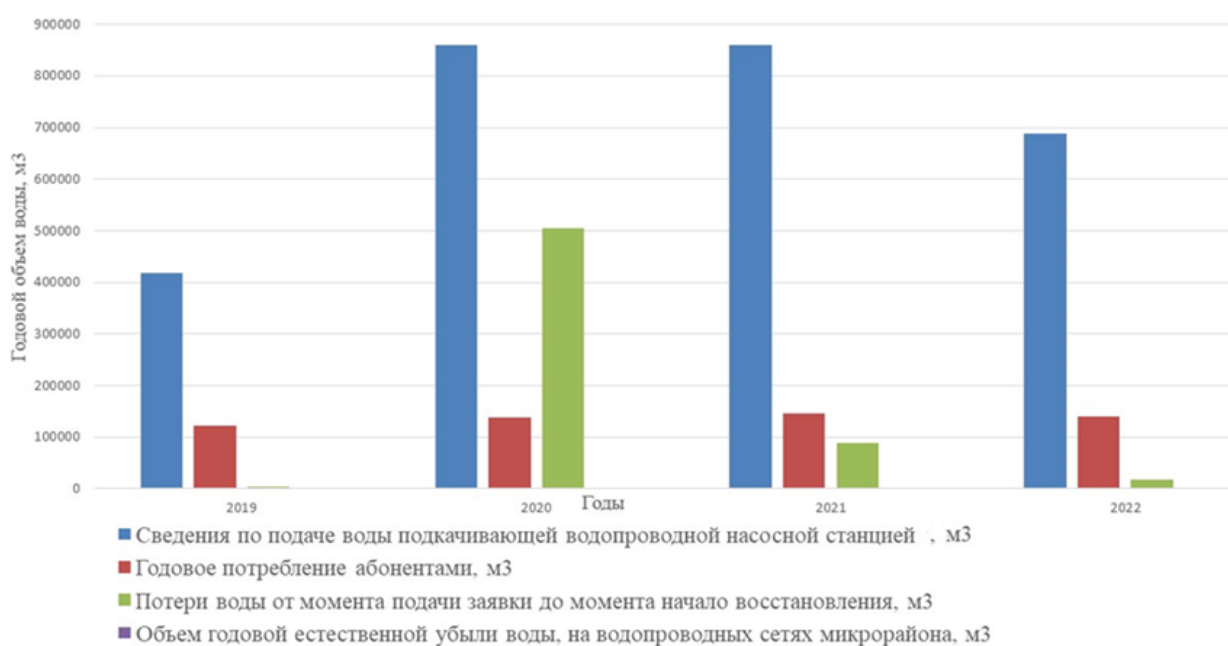


Рисунок 7 – Графическая интерпретация балансов расходов воды рассматриваемого микрорайона

Полученную разность можно объяснить, как несовершенство методики определения потерь воды при утечках, в которых временной интервал, участвующий в расчетной формуле, согласно Приказа МИНЖКХ РФ №640 от 17.10.2014 принят от времени начала фиксации аварии до момента ее

устранения, возможно следует учитывать некоторый период времени до фиксации аварии.

### **Заключение**

Проведенные исследования позволили сформировать алгоритм поиска влияния параметров водопотребления на отказы системы «насосная станция – водопроводная сеть».

1. Выполнить сбор и систематизацию информации о системе водоснабжения рассматриваемого микрорайона с последующим составлением гидравлической схемы и выполнением всех подготовительных этапов для гидравлических расчетов.

2. Выполнить сбор и статистическую обработку данных по водопотреблению рассматриваемой водопроводной сети с получением дифференциальной плотности вероятности распределения случайной величины водопотребления.

3. Выполнить сбор и систематизацию аварийных ситуаций с нанесением на план схему водоснабжения рассматриваемого гидравлического контура.

4. Выполнить гидравлические расчеты для определения свободных напоров в местах наиболее частого возникновения аварий.

5. Выполнить расчет объемов утечек воды при возникновении аварийных ситуаций.

### **Список литературы**

1. Компания «Политерм». Электронный ресурс: режим доступа <https://https://www.politerm.com>

2. Степанова, Е. А. Проблемы, возникающие при реализации гидравлических электронных моделей централизованных систем водоснабжения / Е. А. Степанова, И. В. Лапшакова // Материалы 73-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ, Уфа, 28–30 апреля 2022 года. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2022. – С. 216. – EDN OIXEUN.

3. Николенко, И. В. Анализ водопотребления жилого массива и обоснование параметров гидравлических агрегатов при проектировании квартальных насосных станций / И. В. Николенко, Е. Е. Котовская, А. В. Липатенков // Водоснабжение, водоотведение и системы защиты окружающей среды, Уфа, 01–30 апреля 2022 года. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2022. – С. 100-111. – EDN BDEZKV.

4. Николенко, И. В. Анализ режимов работы насосных агрегатов при возникновении аварийных ситуаций в системах подачи и распределения воды / И.В. Николенко, Е.Е. Котовская, О. В. Росовская // Яковлевские чтения-2022: Системы водоснабжения и водоотведения. Современные проблемы и решения : Сборник докладов участников XVII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева, Москва, 17–18 марта 2022 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский

государственный строительный университет, 2022. – С. 133-143. – EDN LPQQOK.

5. Бурмкулов, Ф.Х. Основы теории вероятностей и математической статистики [Текст] / Ф.Х. Бурмкулов, Е.А. Мировская. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 164 с.

6. Николенко, И.В. Анализ отказов трубопроводных сетей систем водоснабжения городов Крыма с целью обоснования параметров реконструкции [Текст] / И.В. Николенко, Р.С. Крымов, К.А. Жилин // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. — Симферополь : АСиА, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», 2017. — Вып. 7(59). — С. 61—72.

7. Степанцова, Н.А. Техничко-экономический анализ отказа трубопроводов системы водоснабжения [Текст] / Н.А. Степанцова // Экономика строительства и природопользования. Сб. науч. трудов. — Симферополь : АСиА, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», 2017. — Вып. 1(2). — С. 32—37.

**Сарган Дмитрий Леонидович, Дудурич Богдан Богданович, Иванов Александр Николаевич**

**ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ЛИСТОВ С АНКЕРНЫМИ РЕБРАМИ ПРИ РЕМОНТЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЕМКОСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННОГО, ОБЩЕСТВЕННОГО И ЖИЛОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения, г. Санкт Петербург, ул. Захарьевская, д.22, 191123*

**Аннотация.** В статье рассматривается применение полимерных листов с рельсовидными анкерными ребрами для защиты внутренней поверхности железобетонных конструкций инженерных сооружений от агрессивных воздействий.

**Ключевые слова:** первичная защита, вторичная защита, емкостные сооружения, полимерные листы.

Для обеспечения водоснабжения объектов промышленного, общественного и жилого назначения необходимо обеспечить бесперебойную эксплуатацию емкостных сооружений водозабора и водоочистки, в том числе: резервуаров для хранения питьевой воды, отстойников, фильтров, осветлителей. Существующие емкостные сооружения, эксплуатируемые в течение более 10 лет, преимущественно выполнены из железобетонных монолитных, сборных и сборно-монолитных конструкций в наземном обсыпном или заглубленном исполнении.

Нормативный срок эксплуатации данных емкостных сооружений составляет 50 лет. Выборочный осмотр внутренней поверхности железобетонных конструкций ряда емкостных сооружений водоснабжения

эксплуатирующихся более 10 лет, показал их ограниченно-работоспособное техническое состояние.

Выявлены малозначительные повреждения, которые хотя и несущественно, но ухудшают эксплуатационные характеристики рассматриваемых сооружений, однако при их дальнейшей эксплуатации могут развиваться до значительных размеров. К таким дефектам относятся: повышенная пористость; поверхностные раковины и сколы бетона защитного слоя без обнажения арматуры, температурно-усадочные трещины с раскрытием до 0,2 мм.

Вместе с тем выявлен ряд значительных дефектов, влияющих на надежность, прочностные характеристики и несущую способность железобетонных конструкций, в том числе: трещины с раскрытием более 0,2 мм; поверхностная коррозия бетона и арматуры.

Причинами возникновения выявленных дефектов являются механические, физические и химические воздействия на железобетонные конструкции.

Механическое воздействие обусловлено абразивным износом, осадками, перегрузкой и ударными воздействиями.

Физические воздействия связаны с температурно-усадочными деформациями, износом и старением, замерзанием и оттаиванием бетона. Кроме того, невысокая деформативность бетона может приводить к образованию микротрещин при температурных деформациях днища, стенок и покрытия емкости, а также деформациям всего сооружения, вызванным неравномерной осадкой грунта.

Химические воздействия вызваны агрессивными веществами. На внутренние поверхности железобетонных конструкций емкостных сооружений водоснабжения воздействуют, растворенные в воде, химически активные вещества. Бетон имеет пористую структуру и шероховатую поверхность, поэтому ему присущи высокое водопоглощение, проницаемость для газов, подверженность коррозии и абразивному гидроизносу. При эксплуатации на бетон подводной зоны воздействуют растворенные в воде сульфаты и хлориды, щелочные среды, хлор, озон, гипохлорид натрия, а в надводной зоне - углекислый газ из воздуха.

При воздействии органических и неорганических сред на бетон можно выделить следующие виды коррозии:

- коррозия I вида, которая вызывается фильтрацией мягкой воды сквозь бетон и характеризуется выщелачиванием гидроксида кальция, разрушением других гидратов (гидросиликатов, гидроалюминатов, гидроферритов), появлением белого налета на поверхности от выпадения в осадок растворенных солей бикарбоната кальция;

- коррозия II вида, которая вызывается обменными реакциями между компонентами цементного камня и щелочными растворами и характеризуется образованием растворимых соединений;

- коррозия III вида, которая вызывается взаимодействием сульфатов с трехкальциевым гидроалюминатом цемента и характеризуется образованием и



накоплением в бетоне малорастворимых солей, увеличением объема при переходе в твердую фазу с образованием кристаллов.

Вместе с тем вышеуказанные среды также воздействуют на арматуру железобетонных конструкций, а именно:

- коррозия арматуры, которая вызывается воздействием хлора на гидроксиды, гидросиликаты и гидроалюминаты кальция цементного камня и характеризуется образованием растворимого в воде хлорида кальция, разрушением поверхностного слоя бетона и коррозией стальной арматуры;

- коррозия арматуры, которая вызывается карбонизацией бетона углекислым газом воздуха в надводной зоне и характеризуется переходом гидроксида кальция в карбонат кальция, снижением величины рН приводит к образованию гальванической пары на поверхности арматуры с последующей активизацией ее электрохимической коррозии.

Для защиты от механических, физических и химических воздействий необходима надежная защита внутренней поверхности железобетонных конструкций емкостных сооружений водоснабжения. Первичная защита путем обеспечения высокой химической стойкости, водонепроницаемости, износостойкости цементобетона недостаточно надежна. Поэтому при капитальном ремонте и реконструкции емкостных сооружений водоснабжения используют вторичную защиту бетона специальными покрытиями [1]. Комбинированное применение первичной и вторичной защиты является наиболее надежным способом.

Покрyтия для защиты внутренних поверхностей емкостных сооружений должны удовлетворять следующим требованиям (рис. 1):

- быть стойкими к агрессивной среде, прочными, устойчивыми к абразивному истиранию, механическим нагрузкам;

- обеспечивать безремонтную эксплуатацию защищаемых емкостей в течение всего срока их службы;

- быть технологичными при эксплуатации и техническом обслуживании.

Материалы для защитных покрытий должны обеспечивать совместную работу с основной конструкцией в течение всего срока эксплуатации, быть водонепроницаемыми, водостойкими, механически прочными, пластичными и упругими, химически стойкими и долговечными. Кроме того, технологические свойства материалов должны способствовать минимизации материальных и трудовых затрат при устройстве вторичной защиты бетонных и железобетонных конструкций.



Рисунок 1 –Требования к защитным покрытиям

При ремонте емкостных сооружений водоснабжения применяют следующие материалы для защитных покрытий: торкретбетон, составы проникающего действия, полимерные пленки из поливинилхлорида, жидкую резину, полимерно-битумные мастики, цементные, полимерцементные и полимерные составы, а также полиэтиленовые, полипропиленовые, стеклопластиковые листы. Характеристики применяемых способов вторичной защиты при выполнении ремонтных работ приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Характеристики применяемых способов вторичной защиты**

Способы ремонта	Наименование материалов	Достоинства	Недостатки
Нанесение окрасочных и мастичных составов	Органические, полимерные, битумно-полимерные, цементно-полимерные составы	Простота устройства, доступность материалов, легко наносится	Недолговечность при воздействии жидких сред, деформациях
Нанесение составов проникающего действия	Гидрофобизирующие составы, инъекционные цементные растворы, цементные составы проникающего действия	Простота устройства, доступность материалов, легко наносится	Недолговечность, низкая механическая прочность, плохая адгезия к сырым поверхностям, токсичность, низкая трещиностойкость
Оклейка рулонными материалами	Рулонные и листовые материалы на основе	Сохранение своей сплошности, при деформациях	Недолговечность, слабая стойкость к механическим

	битумных и полимерных материалов		воздействиям, высокая стоимость
Металлоизоляция	Металлический лист	Высокие механические характеристики и долговечность	Неоднородность с основанием, высокая стоимость материала, большие трудозатраты, для проведения работ необходимы специалисты высоких разрядов
Торкретирование	Цементные растворы, полимеррастворы, асфальтовые растворы, торкретрастворы	Высокие механические характеристики	Относительная недолговечность, неоднородность с основанием, низкая адгезия к основанию
Футеровки полимерными пленками и листами	Металлические, полимерные и бентонитовые листы, полимерные пленки	Долговечность сравнима с металлоизоляцией, ремонтпригодность,	Неоднородность с основанием
Шовная	Герметизирующие составы, прокладки, шнуры, гидрошпонки	Возможность обеспечения надежной защиты	Недолговечность при неправильном подборе материалов

Помимо всех поверхностей конструкций необходимо тщательно герметизировать температурные швы, примыкания стенок ко дну и покрытию, вводы трубопроводов, зоны технологических люков и смотровых площадок.

Ремонтно-восстановительные работы включают технологические операции по очистке поверхности от слабого бетона, заделке трещин, восстановлению поверхностного слоя бетона и устройству вторичной гидроизоляции.

Ремонтируемые бетонные поверхности очищают от слабосвязанных и осыпающихся частиц аппаратами гидродинамической очистки, а в случае недостаточной шероховатости насекают с последующей промывкой напорной струей воды. Заделку трещин выполняют после предварительной расшивки металлическими шпателями до их оснований, последующей продувки сжатым воздухом и смачивания, а заполнение выполняют вручную с поверхности или инъектированием полимерцементными или полимерными составами. Металлическая арматура подлежит очистке от ржавчины металлическими щетками.

Инъектирование глубоких трещин выполняют с использованием поверхностных или глубинных инъекторов. Поверхностные инъекторы нагнетают ремонтный состав непосредственно в трещину. Предварительно с поверхности трещину заделывают жестким цементным раствором, чтобы инъекционный состав не выливался. Глубинные пакеры, размещают в наклонные отверстия, пробуренные на расстоянии 200 мм с обеих сторон от трещины так,

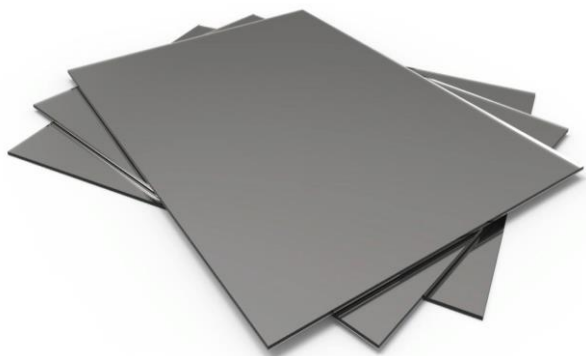
чтобы они ее пересекали.

Восстановление поверхностного слоя выполняют пропиткой и составами проникающего действия для снижения пористости поверхности, уменьшения водопоглощения бетона и повышения механической прочности. Наносят составы кистью, валиком или распылителем в зависимости от вязкости материала. После нанесения происходит быстрое впитывание состава в бетонное основание с покрытием стенок пор, испарение жидкой фазы и высыхание. Составы проникающего действия на определенной глубине взаимодействуют со свободной окисью кальция, коагулируют микропоры в бетоне.

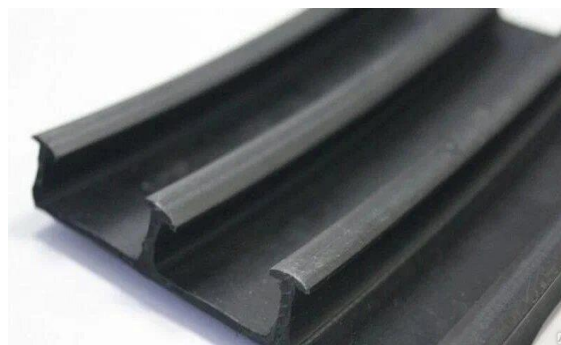
Опыт применения существующих типов вторичной защиты (табл. 1) показывает, что наиболее надежной среди них является монтируемая футеровка. Футеровка — это облицовка поверхности бетона различными материалами (в данном случае — полимерными листами), предохраняющая от возможных механических, физических и химических повреждений. Основными преимуществами полимерных футеровочных листов являются: исключительная химическая стойкость; сопротивление растрескиванию и тепловому старению; эластичность; срок эксплуатации не менее 50 лет; экологическая безопасность и ремонтпригодность полимерного покрытия. Этот материал и его компоненты производится в Российской Федерации, что является решением не менее острой проблемы импортозамещения. Полимерные листы могут быть плоскими или с анкерными элементами, погружаемыми в свежесделанную бетонную смесь.

Плоские полимерные листы (рис. 2а) закрепляют к поверхности бетона на клею или мастике. Недостатком такого крепления является незначительное сцепление с бетоном и большинством клеев. Анкерные листы с выступами в виде анкерных ребер имеют Т-образные (рис. 2б) или цилиндрические утолщения (рис. 2в), обеспечивающие анкеровку в бетоне, жесткость футеровки и плотное прилегание к поверхности. Полимерные листы также могут иметь анкерные элементы, выполненные в виде «ласточкиного хвоста» (рис. 2г) равномерно распределенные по поверхности [2-5].

а)



б)



в)



г)



Рисунок 2 – Виды полимерных листов, используемых для вторичной защиты бетонных и железобетонных конструкций

При устройстве защитных покрытий железобетонных конструкций футеровочные листы монтируют анкерными ребрами к поверхности конструкции, закрепляют их анкерами к основанию. После фиксации листов производят экструзионную сварку вертикальных и горизонтальных швов. Места установки анкеров закрывают полимерными накладками и обваривают по периметру. Пространство между полимерным листом и внутренней поверхностью железобетонной конструкции заполняют цементными, полимерными или полимерцементными составами. Заполнение производится поярусно, не доходя 5-10 мм до верхней кромки листа [6].

Выявленные мелкие дефекты полимерного покрытия, порезы (не более 3 мм) устраняют сварочным экструдером. Для устранения повреждений шириной более 15 мм применяют накладки из полиэтиленового листа с последующей обваркой по ее периметру.

При футеровке как сборных, так и монолитных железобетонных конструкций обеспечивается надежная защита конструкций в течение всего срока эксплуатации от любых агрессивных сред, в том числе кислот, щелочей, нефтепродуктов. Полимерное покрытие обеспечивает полную водонепроницаемость, низкое водопоглощение, высокую морозостойкость, экологичность и хорошие диэлектрические свойства. Футеровка обладает эластичностью, высоким сопротивлением растрескиванию и тепловому старению, она экологична и инертна к агрессивным средам. Температурный интервал, при котором обеспечивается надежная эксплуатация гидроизоляции на основе полимерных футеровочных листов, от -20 до +40°C. Срок эксплуатации футерованных конструкций емкостных сооружений более 50 лет. К преимуществам этой технологии относится небольшой вес футеровочного покрытия, его прочное сцепление с бетоном, возможность получения герметичного, прочного и цельного покрытия в сжатые сроки в ходе железобетонных работ.

Оценивая преимущества использования футеровки бетонных и железобетонных конструкций инженерных сооружений, становится очевидным, что применение футеровочных листов это один из наиболее перспективных

путей решения задач обеспечения бесперебойной эксплуатации емкостных сооружений объектов промышленного общественного и жилого назначения.

### **Список литературы**

1. СП 72.13330.2016 Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии. – М.: Госстрой РФ, 2016.

2. ТУ 2246-003-56910145-2014 Бетонозащитный лист с V-образными дискретными анкерными элементами, расположенными в шахматном порядке, изготавливается из полиэтилена высокой плотности (HDPE).

3. ТУ 2246-002-56910145-2014 Полимерный лист с T-образными анкерными элементами для защиты монолитных железобетонных конструкций.

4. ТУ 2291-001-66001828-2013 Облицовочные панели (вкладыши) «ЭКОВЭЛЛ» из полиэтилена низкого и среднего давления высокой плотности с анкерными элементами крепления для гидроизоляции и антикоррозионной защиты железобетонных канализационных колодцев, канализационных насосных станций, а также для резервуаров чистой воды.

5. ТУ 22-4600-9-001-11146988-2015 Футеровочный лист с анкерными ребрами.

6. Футеровка полимерными листами железобетонных конструкций при строительстве и реконструкции объектов АПК / В.Н. Денисов, Б.Б. Дудурич, Д.Л. Сарган, А.П. Грицук // Приоритеты развития АПК в условиях цифровизации и структурных изменений национальной экономики : Материалы международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, посвященной 190-летию со дня рождения И.А. Стебута, Санкт-Петербург – Пушкин, 24–26 мая 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2023. – С. 260-265. – EDN ICJRJC.

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.

## **Секция № 5. Строительные материалы и изделия**

**Руководитель секции: Вавренюк Светлана Викторовна, д.т.н.,  
член-корреспондент РААСН, заместитель директора по научной  
работе ДальНИИС**

**Вавренюк Светлана Викторовна<sup>1</sup>, Федюк Роман Сергеевич<sup>1,2</sup>, Салил  
Мурад Яхья Мохаммед<sup>3</sup>, Шарипов Ленар Рашидович<sup>3</sup>  
ФАСАДНЫЕ ОТДЕЛОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ С ПОЗИЦИИ ИХ  
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

*<sup>1</sup>Филиал ФГБУ "ЦНИИП Минстроя России" Дальневосточный научно -  
исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт  
по строительству*

*<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет*

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

### **Аннотация**

В настоящее время строительство жилья с высокими требованиями по энергосбережению является для России одной из важнейших задач. Теплоизоляция наружных стен в значительной степени определяет потребление энергии на теплофикацию и обеспечение в помещениях комфортных условий. Все это требует создания эффективных теплоизоляционных материалов и конструкций с точки зрения их технических, экономических и экологических свойств.

**Ключевые слова:** фасад; отделка; покрытие; энергоэффективность.

Активизация в сфере строительства недвижимости диктует новые требования, выдвигаемые к строительным объектам. Так, постоянное подорожание энергоносителей вынуждает отечественные компании-застройщики обращать особое внимание на энергоэффективность зданий, применяя энергосберегающие технологии и стройматериалы, обладающие высокими теплоизоляционными свойствами.

Реализацию поставленных задач невозможно представить без грамотного использования в облицовке и отделке зданий и сооружений как традиционных, так и современных отделочных материалов. За последние годы рынок отделочных строительных материалов получил значительное пополнение в связи с их импортом из зарубежных стран, где достигнуты ощутимые успехи в технологии их производства (Германия, Италия, Испания, Финляндия и др.).

Среди импортируемых материалов следует отметить сухие строительные смеси готовые к употреблению отделочные составы на основе полимерных связующих, лакокрасочные материалы, погонажные изделия (сайдинги, плинтусы и др.), гипсокартон и гипсоволокнистые плиты, рулонные отделочные материалы (рисунок 1).



Рисунок 1. Импортируемые отделочные материалы

Рынок отделочных материалов в России переживает период активного роста. Основным катализатором развития рынка является активность строительной отрасли. Согласно данным статистики (рисунок 1.2), строительный комплекс Российской Федерации, объединяющий более 170 тыс. организаций и промышленных предприятий и более 16 тыс. проектно-изыскательных фирм различной формы собственности, обеспечил в 2021 году ввод нового жилья в объеме 145 млн. кв. м, что составило 110,7% к 2020 году. Активность населения в сфере строительства и ремонта также остается высокой и, по мнению ряда экспертов, весьма вероятно, продолжит свой рост в будущем [1].

Благоприятная ситуация, сложившаяся на российском рынке отделочных материалов, привлекает внимание зарубежных производителей, которые по многим позициям теснят отечественную промышленность. По различным оценкам, импорт составляет более 60 % рынка отделочных материалов в России. В условиях острой необходимости импортозамещения очень важно разрабатывать отечественные сухие строительные смеси.





Рисунок 2. Объем ввода нового жилья в России (млн. м<sup>2</sup>)

Несмотря на это, большинство отделочных материалов выпускаются в России, в том числе на совместных предприятиях с использованием импортных технологий и компонентов. Для материалов, импортируемых в страну и производимых по фирменным технологиям, характерны стабильность составов, высокие физико-механические и декоративные качества. Применение таких отделочных материалов позволяет существенно повысить производительность труда и добиться уменьшения материалоемкости отделочных работ.

Вместе с тем, не следует забывать, что импортируемые материалы для наружной отделки и облицовки зданий созданы с учетом их эксплуатации в климатических условиях стран-производителей и не могут быть использованы в нашей стране без специальной проверки по показателям долговечности. Необходимость такой проверки обусловлена существенным отличием климатических условий России от условий стран Западной Европы. Эти отличия касаются, в первую очередь, осенне-весеннего периода года. Переход температуры наружного воздуха от отрицательной к положительной приводит к обильному увлажнению облицовочных слоев тающим снегом, а зачастую и дождевой водой. Такие условия эксплуатации создают дополнительную агрессивную нагрузку на облицовочные покрытия, что и сокращает, в ряде случаев, срок их надежной эксплуатации, задекларированный производителем. Классификация фасадных систем приведена в таблице 1.

Таблица 1.

### Классификация фасадных систем

Вид покрытия	Преимущества	Недостатки	Применение в России
Система на основе сэндвич-панелей (многослойные панели) [2]	Незначительный вес, что позволяет снизить нагрузки на фундамент, не прочной основы, облегчает транспортировку, монтаж, демонтаж и хранение материала. Хорошая теплоизоляция.	Низкая прочность по сравнению с кирпичами и бетонными блоками. Промерзание панелей в сильный мороз в местах их стыка друг с другом. Не подходят для создания красивых архитектурных форм	Чаще всего с помощью данных конструкций: Складские, помещения, магазины, спортивные центры, торгово-развлекательные комплексы, заправки, жилые дома
Светопрозрачная (стекло) [3]	Эстетичность, освещенность, атмосферостойкость, звукопоглощение, легкая ремонтпригодность	Сложность монтажа, дороговизна, необходимость мытья, хрупкость	Офисные комплексы, центры продаж, торговые учреждения, частные дома в стиле лофт.
Штукатурная [4]	Эстетичность, влагостойкость, звукоизоляция, хорошая паропроницаемость, многообразие расцветок, простота нанесения	Небольшой срок эксплуатации, притягивание пыли	Жилые и общественные здания
Облицовка искусственным и натуральным камнем [5]	Долговечность Практичность, Износостойкость, широкая палитра цветов, высокая устойчивость к загрязнениям и низким температурам, практически не впитывает влагу, легко поддается полировке, долго сохраняет декоративные свойства	Дороговизна	Элитная недвижимость

Слоистая каменная кладка [6]	Прочность, долговечность	Большая трудоемкость возведения; малая воздухопроницаемость; возможность конденсации влаги между разнородными слоями такой стены	Элитная недвижимость
Навесная вентилируемая (сайдинг, блок-хаус, фасадные панели, плитка) [7]	Звуко-теплоизоляция, широкий ассортимент материалов,	и Высокая стоимость, сложность монтажа	Для городского строительства

Таким образом, правильный выбор отделочных материалов возможен на основе всестороннего учета реальных условий их службы в сочетании с действительными физико-механическими и строительно-технологическими свойствами. Такие подходы реализуются в отечественной системе нормативных документов, включающей строительные нормы и правила, государственные стандарты, технические условия, своды правил и др. Эта система сформировалась на основе многолетнего опыта применения материалов в различных условиях их службы и огромного объема научных и инженерно-технических разработок, выполненных в нашей стране за многие десятилетия.

### Список литературы

1. Murali G., Fediuk R. A Taguchi approach for study on impact response of ultra-high-performance polypropylene fibrous cementitious composite // *Journal of Building Engineering*. 2020. Т. 30. С. 101301.
2. Терлецкий И.А., Фершалов Ю.Я. Физические основы процессов горения // Учебное электронное издание / Владивосток, 2016.
3. Amran M., Fediuk R., Abdelgader H.S., Murali G., Ozbakkaloglu T., Lee Y.H., Lee Y.Y. Fiber-reinforced alkali-activated concrete: a review // *Journal of Building Engineering*. 2022. Т. 45. С. 103638.
4. Fediuk R., Mochalov A., Timokhin R. Review of methods for activation of binder and concrete mixes // *AIMS Materials Science*. 2018. Т. 5. № 5. С. 916-931.5. Лесовик В.С., Федюк Р.С. Теоретические предпосылки создания цементных композитов повышенной непроницаемости // *Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии*. 2016. № 1 (47). С. 65-72.6. Amran M., Al-Fakih A., Haruna S., Chu S.H., Fediuk R., Azevedo A., Vatin N. Long-term durability properties of geopolymers concrete: an in-depth review // *Case Studies in Construction Materials*. 2021. Т. 15. С. e00661.
7. Abid S.R., Ali S.H., Kadhum A.L., Al-Gasham T.S., Gunasekaran M., Fediuk R., Vatin N., Karelina M. Impact performance of steel fiber-reinforced self-compacting concrete against repeated drop weight impact // *Crystals*. 2021. Т. 11. № 2. С. 1-17.

**Вавренюк Светлана Викторовна<sup>1</sup>, Федюк Роман Сергеевич<sup>1,2</sup>, Рамазанов  
Рустам Габтилфаритович<sup>3</sup>, Чжан Сюань<sup>3</sup>**

## **СОВРЕМЕННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ФАСАДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

*<sup>1</sup>Филиал ФГБУ "ЦНИИП Минстроя России" Дальневосточный научно -  
исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт  
по строительству*

*<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет*

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

### **Аннотация**

Фасадная система - система облицовки фасадов и кровли зданий, предназначенная для защиты поверхностей от внешнего воздействия. Система на основе сэндвич-панелей (многослойные панели) - строительный материал, имеющий трёхслойную структуру, состоящую из двух листов жёсткого материала и слоя утеплителя между ними. Все детали сэндвич-панелей склеиваются между собой с помощью горячего или холодного прессования. В зависимости от назначения выделяются кровельные и стеновые панели.

**Ключевые слова:** фасад; отделка; покрытие; энергоэффективность, сэндвич-панель

У фасадных сэндвич-панелей (рисунок 1) отмечается низкая прочность по сравнению с кирпичами и бетонными блоками. Кроме того, в условиях сурового российского климата часто происходит промерзание панелей в сильный мороз в местах их стыка друг с другом. Помимо этого, сэндвич-панели не подходят для создания красивых архитектурных форм.

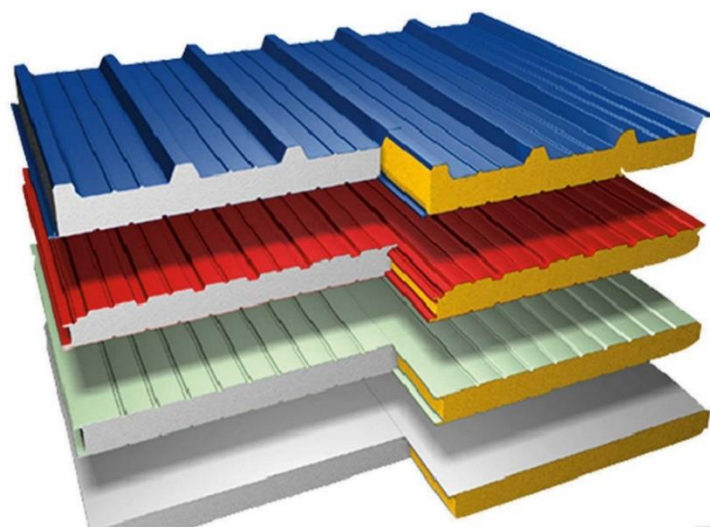


Рисунок 1. Сэндвич-панели

Светопрзрачный фасад - ограждающая конструкция, предназначенная для освещения естественным светом помещений зданий (рисунок 2). В этом случае фасадом здания служит система из профилей или без профилей, а также заполнения из стеклопакетов из различного архитектурного и строительного

стекла. Системные профили могут быть выполнены из алюминиевых сплавов, стеклокомпозита и стали. Поливинилхлоридные профили для фасадов использоваться не могут в силу свойств материала [1].

Светопрзрачным фасадам свойственна сложность монтажа, что увеличивает сметную стоимость. В ходе эксплуатации стеклянные фасадные системы требуют частого и сложного мытья, а также являются достаточно хрупкими [2].



Рисунок 2. Светопрзрачные фасады

Облицовка искусственным и натуральным камнем придает зданию презентабельный внешний вид (рисунок 3). Поэтому материал дорогой, но благодаря этому – долговечный, практичный, износостойкий, с широкой палитрой цветов, с высокой устойчивостью к загрязнениям и низким температурам, практически не впитывающий влагу, легко поддающийся полировке, долго сохраняющий декоративные свойства.



Рисунок 3. Облицовка камнем

Слоистая каменная кладка ещё называются трёхслойной, что обусловлено конструктивными особенностями. Её устройство включает несущую стену из кирпича или другого материала, теплоизоляционный слой и облицовку из кирпича. В качестве теплоизоляционного материала в конструкции слоистой кладки часто используют засыпку из гранулированной минеральной ваты, плиты из каменной ваты или пенопласта (рисунок 4).

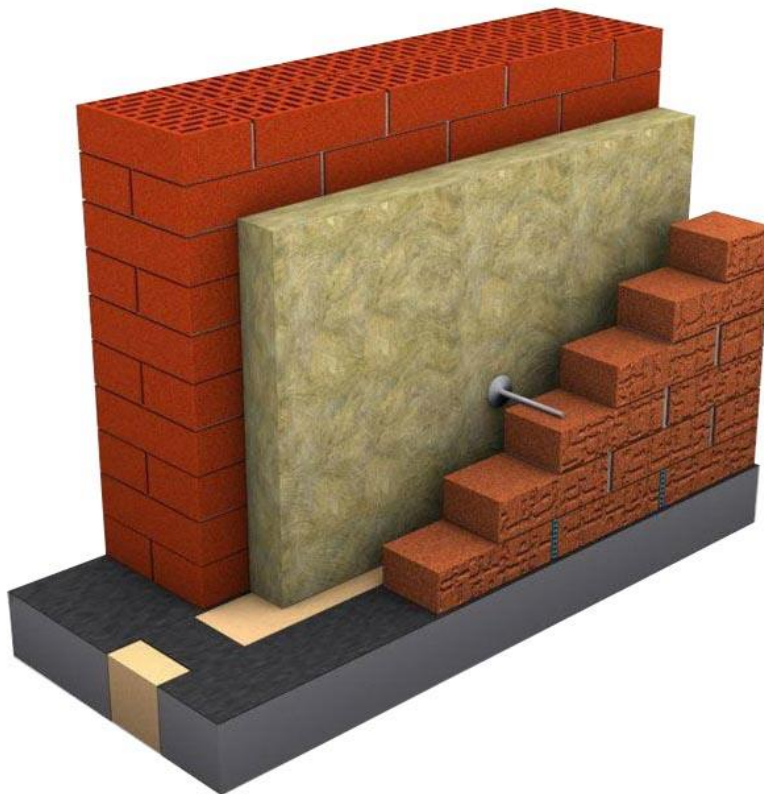


Рисунок 4. Слоистая каменная кладка

Несмотря на энергоэффективность фасадной конструкции, монтаж системы слоистой кладки – очень трудоемкий процесс. Как и любые каменные работы, он требует аккуратности, внимательности и профессионализма. Проблем добавляет тот факт, что после завершения проверить качество конструкции и что-то исправить невозможно – система уже полностью закрыта от посторонних глаз [3].

Навесная вентилируемая фасадная система является достаточно распространенной в последние 20 лет (рисунок 5). Одна из таких систем - сайдинг, выполняющий две функции: утилитарную (защита здания от внешних воздействий, таких, как дождь, ветер, снег, солнце) и эстетическую (декорирование фасада дома). Другая система - блок-хаус - строганая доска типа вагонки, выполненная в виде сегмента оцилиндрованного бревна или профилированного бруса. Также в качестве наружного слоя, закрывающего воздушную прослойку, могут применяться фасадные панели и плитка [[4].



Рисунок 5. Вентилируемый фасад

Несмотря на хорошие эксплуатационные характеристики, для вентилируемых фасадов характерна высокая стоимость и сложность монтажа [5].

Фасадная штукатурка – это самый распространенный и простой способ защитить здание и обеспечить его привлекательность (рисунок 6). Кроме того, «теплые» составы для наружных работ и отделки фасада позволяют повысить теплоизоляцию строения, не нагружая его каркаса.

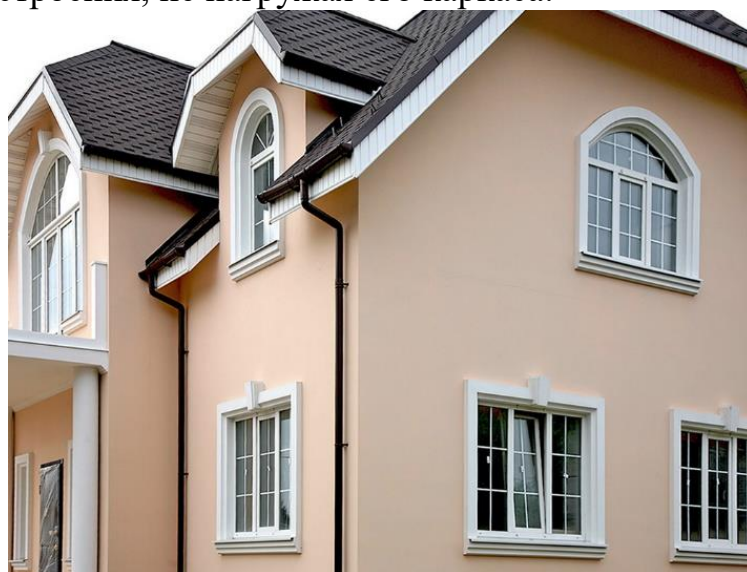


Рисунок 5. Штукатурный фасад

Однако, традиционные составы обладают небольшим сроком эксплуатации. Необходима разработка новых составов, обладающих повышенной долговечностью [6-7].

Таким образом, установлено, что штукатурные составы являются наиболее эффективными материалами для отделки фасадов. При этом, вопрос применения различных модифицирующих добавок в сухих строительных смесях требует отдельного рассмотрения.

## Список литературы

1. Murali G., Fediuk R. A Taguchi approach for study on impact response of ultra-high-performance polypropylene fibrous cementitious composite // Journal of Building Engineering. 2020. Т. 30. С. 101301.
2. Терлецкий И.А., Фершалов Ю.Я. Физические основы процессов горения // Учебное электронное издание / Владивосток, 2016.
3. Amran M., Fediuk R., Abdelgader H.S., Murali G., Ozbakkaloglu T., Lee Y.H., Lee Y.Y. Fiber-reinforced alkali-activated concrete: a review // Journal of Building Engineering. 2022. Т. 45. С. 103638.
4. Fediuk R., Mochalov A., Timokhin R. Review of methods for activation of binder and concrete mixes // AIMS Materials Science. 2018. Т. 5. № 5. С. 916-931.5. Лесовик В.С., Федюк Р.С. Теоретические предпосылки создания цементных композитов повышенной непроницаемости // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2016. № 1 (47). С. 65-72.6. Amran M., Al-Fakih A., Haruna S., Chu S.H., Fediuk R., Azevedo A., Vatin N. Long-term durability properties of geopolymer concrete: an in-depth review // Case Studies in Construction Materials. 2021. Т. 15. С. e00661.
7. Abid S.R., Ali S.H., Kadhum A.L., Al-Gasham T.S., Gunasekaran M., Fediuk R., Vatin N., Karelina M. Impact performance of steel fiber-reinforced self-compacting concrete against repeated drop weight impact // Crystals. 2021. Т. 11. № 2. С. 1-17.

## **Золотарева Светлана Васильевна<sup>1</sup>, Аюбов Нарман Аюбович<sup>2</sup> ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ НА ТЕХНОГЕННОМ СЫРЬЕ ДОРОЖНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

<sup>2</sup>Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова  
Российской академии наук, г. Грозный, Россия

Научные руководители: д.т.н., доц. Ключев Сергей Васильевич (Белгородский  
государственный технологический университет им. В.Г. Шухова)  
д.т.н., доц. Федюк Роман Сергеевич (Дальневосточный федеральный  
университет)

## **Аннотация**

Технологические особенности дорожного строительства выдвигают соблюдение требований к дорожно-строительным материалам в отношении физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик. Управление процессами структурообразования в цементных композиционных системах может быть осуществлено различными методами и подходами, включая выбор оптимального состава, добавление специальных добавок, регулирование условий гидратации и применение специальных методов обработки. Это позволяет улучшить свойства и характеристики конгломератных материалов, а также устранить или замедлить разрушение их структур. Целью настоящей статьи является разработка композиционных вяжущих дорожного назначения.



Установлено, что у композиционных вяжущих с заменой 50% портландцемента отходами мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов при выявленной рациональной удельной поверхности 500 м<sup>2</sup>/кг активность практически сохраняется на том же уровне, как и у контрольных бездобавочных составов, что позволяет рекомендовать данный вид вяжущего для разработки составов бетонов для дорожного строительства. Добавление выявленного рационального содержания суперпластификатора ПФМ-НЛК (0,6 мас. %) в совместно помолотую систему «портландцемент-отходы ММС» позволило создать широкую номенклатуру композиционных вяжущих, обладающих сроками схватывания от 3 мин. 5 сек. (начало) до 6 мин. 35 сек. (конец), активностью на изгиб до 9,3 МПа и на сжатие 60,7 МПа (их отношение до 0,16).

**Ключевые слова:** вяжущее; цемент; покрытие; энергоэффективность, композит

Технологические особенности дорожного строительства выдвигают соблюдение требований к дорожно-строительным материалам в отношении физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик [1]. Комплексное достижение поставленных задач возможно путем разработки композиционных вяжущих с контролем процессов управления структурообразованием на нано-, микро- и макроуровне [2]. Синергетический эффект достигается путем выбора полиминерального сырья природного и техногенного происхождения с учетом его химического, минерального и гранулометрического составов [3]. Также важно выбрать комплекс органических добавок и определить методологические подходы к их применению [4]. Разработка научно обоснованного подхода к соединению различных структур в бетонной матрице позволяет определить оптимальные рецептуры дорожных материалов на основе композиционных вяжущих (КВ) [5]. Это улучшает формирование необходимых технологических характеристик сырьевых смесей и позволяет управлять физико-механическими свойствами строительного композита [6].

Анализ мировой литературы [1-7], показал, что для получения эффективных дорожных материалов необходимо использовать композиционные вяжущие с активными минеральными компонентами природного и техногенного происхождения, с удельной поверхностью от 450 до 600 м<sup>2</sup>/кг. Эффективное проектирование такого КВ достигается выполнением ряда условий:

1. Все компоненты в составе композиционного вяжущего должны быть химически совместимыми. Это важно для обеспечения эффективной реакции между компонентами, образования стабильной структуры и достижения требуемых свойств материала. Если компоненты несовместимы, это может привести к непредсказуемым результатам, таким как плохая связность, низкая прочность или нестабильность материала.

2. Высокая адгезия между заполнителями / наполнителями и вяжущей матрицей важна для обеспечения эффективного переноса нагрузок и предотвращения отслаивания или разрушения внутри материала. Если адгезия

низкая, заполнители / наполнители могут отделяться от матрицы, что приведет к ухудшению механических свойств и структурной целостности композита. Поэтому при выборе компонентов композиционного вяжущего важно учитывать их совместимость с вяжущей матрицей и их способность образовывать прочное соединение.

3. Компоненты композиционного вяжущего должны иметь близкие значения коэффициентов линейного температурного расширения. Когда композиционное вяжущее содержит компоненты с разными значениями коэффициентов линейного температурного расширения, возникают напряжения и деформации в материале при изменении температуры. Это может привести к микротрещинам, разрушению или деформации конструкции. Поэтому при проектировании композиционного вяжущего важно выбирать компоненты с близкими значениями коэффициентов линейного температурного расширения, чтобы минимизировать такие нежелательные эффекты.

Управление процессами структурообразования в цементных композиционных системах может быть осуществлено различными методами и подходами, включая выбор оптимального состава, добавление специальных добавок, регулирование условий гидратации и применение специальных методов обработки. Это позволяет улучшить свойства и характеристики конгломератных материалов, а также устранить или замедлить разрушение их структур.

Многие свойства вяжущих, в том числе активность, скорость твердения, определяются не только химическим и минералогическим составом клинкера, формой и размером кристаллов минералов, наличием тех или иных добавок, но и в большей степени тонкостью помола продукта, его гранулометрическим составом и формой частичек порошка.

Основная идея при создании композиционного вяжущего заключается в использовании активных минеральных добавок и наполнителей, которые имеют более мелкую дисперсность, чем частицы цемента. Это позволяет улучшить свойства КВ и конечного материала. Активные минеральные добавки и наполнители включают в себя широкую номенклатуру кремнеземсодержащего и алюмосиликатного природного и техногенного сырья. Более мелкая дисперсность активных добавок и наполнителей обеспечивает их лучшую реакцию с вяжущими компонентами и более равномерное распределение в матрице материала. Это позволяет достичь более плотной структуры и более эффективного использования ресурсов, так как меньшее количество вяжущего может быть использовано для достижения тех же или даже лучших свойств материала.

Использование активных минеральных добавок и наполнителей с мелкой дисперсностью также может способствовать улучшению технологических свойств смеси, таких как подвижность, возможность заполнения сложных форм и повышение устойчивости к разделению компонентов (сегрегации и водоотделения).

Большой потенциал для применения в композиционных вяжущих имеют отходы горнообогаительных предприятий, что позволяет утилизировать многотоннажные ресурсы, улучшая экологическую обстановку региона при сохранении требуемых физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик цементных материалов (а по некоторым показателям и даже превосходя их исходные значения). В нашей стране огромные отвалы попутно добываемых горных пород образуются в разработки Курской магнитной аномалии. Дорожно-строительные материалы имеют свои специфические требуемые характеристики, поэтому разработка цементных материалов (с применением отходов горнодобывающей промышленности Курской магнитной аномалии) для них является актуальной и важной научной и практической задачей.

Целью настоящей статьи является разработка композиционных вяжущих дорожного назначения. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: подбор исходных компонентов, проектирование из них композиционных вяжущих, изучение влияния суперпластификатора на свойства КВ, исследование важных характеристик вяжущего (нормальная плотность, сроки схватывания, активность на изгиб и на сжатие).

### **Список литературы**

1. Murali G., Fediuk R. A Taguchi approach for study on impact response of ultra-high-performance polypropylene fibrous cementitious composite // *Journal of Building Engineering*. 2020. Т. 30. С. 101301.

2. Терлецкий И.А., Фершалов Ю.Я. Физические основы процессов горения // Учебное электронное издание / Владивосток, 2016.

3. Amran M., Fediuk R., Abdelgader H.S., Murali G., Ozbakkaloglu T., Lee Y.H., Lee Y.Y. Fiber-reinforced alkali-activated concrete: a review // *Journal of Building Engineering*. 2022. Т. 45. С. 103638.

4. Fediuk R., Mochalov A., Timokhin R. Review of methods for activation of binder and concrete mixes // *AIMS Materials Science*. 2018. Т. 5. № 5. С. 916-931.5.

Лесовик В.С., Федюк Р.С. Теоретические предпосылки создания цементных композитов повышенной непроницаемости // *Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии*. 2016. № 1 (47). С. 65-72.6.  
Amran M., Al-Fakih A., Haruna S., Chu S.H., Fediuk R., Azevedo A., Vatin N. Long-term durability properties of geopolymer concrete: an in-depth review // *Case Studies in Construction Materials*. 2021. Т. 15. С. e00661.

7. Abid S.R., Ali S.H., Kadhum A.L., Al-Gasham T.S., Gunasekaran M., Fediuk R., Vatin N., Karelina M. Impact performance of steel fiber-reinforced self-compacting concrete against repeated drop weight impact // *Crystals*. 2021. Т. 11. № 2. С. 1-17.

**Карамов Андрей Аркадьевич**

## **ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЛЛАСТОНИТА КАК ПЕРСПЕКТИВНОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

*Донской государственный технический университет, кафедра «Строительные материалы», 344000, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162.*

*Научный руководитель – Котляр Владимир Дмитриевич, д.т.н., профессор*

**Аннотация:** сырьевая отрасль страны испытывает серьезные трудности с качественными глинами для производства светлого керамического кирпича. Их дефицит привел к снижению на рынке доли кирпича соломенного, бежевого и белого цветов. Активные исследования по осветлению керамического черепка показали, что одним из вариантов является введение в состав массы синтетического волластонита. Он позволяет не только получить более светлый оттенок при обжиге, но и существенно повысить эксплуатационные характеристики изделий.

**Ключевые слова:** волластонит, керамический кирпич, прочность, цвет, сырье.

Волластонит – это минерал из группы силикатов, который получил свое название в честь британского геолога и минералога Уильяма Хайда Волластона. Он характеризуется своими уникальными физическими и химическими свойствами, делая его ценным сырьем для различных отраслей промышленности [1].

Волластонит может быть как природным, так и синтетическим. Природный волластонит формируется в гидротермальных условиях под воздействием высокой температуры и давления. Он обычно встречается в мелких пластинчатых кристаллах или в виде ярко-белых, сероватых или коричневатых масс. Синтетический волластонит, в свою очередь, получается путем обработки минералов, богатых кальцием и кремнием.

Особенно интересно, что в Китае и США волластонит внесен в список стратегического сырья. Это свидетельствует о важности этого материала для развития и безопасности данных стран [2-3].

К сожалению, в России существует только одно разведанное месторождение волластонита – Слюдянское. Однако, оно не работает уже более 10 лет, и все поставки этого сырья в нашу страну являются импортными – из Китая, США, Европы и стран СНГ.

Таким образом, волластонит является важным и востребованным материалом в различных отраслях промышленности. Его уникальные свойства придают прочность и стойкость различным материалам и изделиям, а присутствие в списке стратегического сырья в Китае и США подчеркивает его значимость для экономики и безопасности этих стран. Однако, из-за недостатка разведанных месторождений в России, приходится полностью полагаться на импорт волластонита.

На международном рынке стоимость волластонитовой руды варьируется от 60 до 80 долларов США за тонну, однако после процесса обогащения цена на волластонитовый концентрат значительно повышается и составляет от 200 до 600 долларов США за тонну. Компания АО "Геоком", базирующаяся в Калужской области, гордится тем, что является единственным производителем микроволластонита в России. Их продукция под брендом "Миволл" проходит специальную модификацию и очистку перед тем, как поступать в продажу. Средняя стоимость одной тонны составляет около 72 тысяч рублей. В то время как другие компании, предлагающие волластонит в своем ассортименте, преимущественно импортируют его из Китая, цены у них варьируются от 65 до 212 тысяч рублей за тонну [4-5].

Волластонит широко используется в различных отраслях промышленности благодаря своим свойствам. Он обладает высокой термостойкостью и изоляционными характеристиками, что делает его идеальным материалом для производства огнеупорных изделий. Благодаря своей щелочной природе, волластонит также применяется в производстве стекла и керамики. Он может использоваться как наполнитель для улучшения физических свойств полимерных материалов, а также служить сырьем для получения керамических изделий.

Однако, несмотря на свою ценность и широкий спектр применения, в России на данный момент нет действующих карьеров по добыче волластонита. Несмотря на то, что в российской геологической литературе описываются месторождения этого минерала, экономическая нецелесообразность его добычи на данный момент не позволяет осуществить активное использование этих ресурсов.

Однако, с учетом растущего спроса на инновационные материалы в различных сферах промышленности, волластонит может стать предметом внимания исследователей и предпринимателей в будущем. Его уникальные свойства и широкий спектр применения позволяют предположить, что в будущем в России может появиться интерес к интенсивной добыче и использованию этого ценного минерала.

Таким образом, волластонит является важным минералом с уникальными свойствами и широким спектром применения. Несмотря на отсутствие действующих карьеров в России на данный момент, его ценность и потенциал позволяют предположить, что в будущем волластонит может стать объектом активного изучения и добычи в стране [2-3].

Одним из основных применений волластонита является производство плитки и керамогранита. Благодаря его специфической структуре, этот материал обеспечивает повышенную прочность и стойкость к износу покрытиям из керамики и гранита.

Кроме того, волластонит широко используется в производстве лакокрасочных материалов. Он добавляется в состав таких материалов для улучшения их адгезии, устойчивости к истиранию и высокотемпературным воздействиям.

Пластмассы – еще одна сфера применения волластонита. Этот материал обладает высокой абразивной стойкостью, что делает его идеальным для использования в пластмассовых изделиях, которые подвергаются трению и износу.

Кроме того, волластонит также широко применяется на заводах, занимающихся производством ангобов и глазурей. Благодаря своим уникальным свойствам, он обеспечивает повышенную адгезию и улучшенную стойкость к различным химическим веществам. Это делает волластонит незаменимым компонентом процесса производства, гарантирующим высокое качество и долговечность конечной продукции.

Волластонит также широко применяется в производстве электродов для сварки и электромагнитов. Благодаря своим электрическим и термическим свойствам, волластонит обеспечивает стабильность процессов сварки и эффективное функционирование электромагнитных устройств.

Металлургические комбинаты являются еще одним значимым потребителем волластонита. Этот материал применяется в обработке металлических поверхностей, обеспечивая их долговечность и стойкость к коррозии. Большим преимуществом волластонита является его высокая теплоотдача и теплоизоляционные свойства, что делает его идеальным для использования в металлургических процессах [6].

Введение в состав массы керамической плитки от 20 до 40% волластонита является одним из ключевых факторов, позволяющих добиться высокого качества и функциональности изделий. Волластонит – это естественный минерал, который обладает рядом уникальных свойств, делающих его ценным ингредиентом в производстве керамических плиток.

Одним из основных преимуществ использования волластонита является возможность получить практически безусадочные изделия. Волластонит обладает низким коэффициентом термического расширения, что позволяет компенсировать усадку материала при обжиге. Это особенно важно для производителей, поскольку позволяет получать более точные размеры и формы плиток, что значительно улучшает эстетический вид и качество конечного продукта [7].

Еще одним значимым преимуществом введения волластонита в состав массы плиток является возможность проведения одностадийного обжига. Благодаря уникальным свойствам этого материала, процесс обжига может быть сокращен до одного этапа, что значительно экономит время и ресурсы производства. Более того, одноэтапный обжиг способствует лучшему сохранению цвета и текстуры плитки, что важно для обеспечения ее долговечности и привлекательного внешнего вида.

Таким образом, введение в состав массы керамической плитки от 20 до 40% волластонита является эффективным решением для производителей, стремящихся к достижению высокого качества, эстетики и эффективности производства плиток. При использовании волластонита, производители могут получать безусадочные изделия и проводить обжиг в один этап, что способствует

улучшению конечного результата и повышению удовлетворенности потребителей.

С каждым днем растет спрос на клинкерную строительную продукцию, однако запасы качественного тугоплавкого сырья ограничены. Чтобы решить эту проблему, на помощь приходит минерал волластонит, который отличается от других материалов своей способностью снижать температуру спекания. Благодаря этому свойству, изделия, произведенные с использованием волластонита, обладают низким водопоглощением и высокой прочностью. Еще одной важной и бесценной характеристикой этого материала является его способность осветлять массу, благодаря высокой степени белизны мелкодисперсного порошка. Волластонит также становится альтернативой дорогостоящему диоксиду титана и заменителем асбеста [8].

С учетом высоких логистических и таможенных расходов на импорт природного волластонита в Россию, его использование в различных отраслях промышленности, включая керамическую, становится нерентабельным. Однако, перспективным направлением является применение искусственно синтезированного волластонита, получаемого из опал-кристобалитовых известняков. Такой подход открывает новые возможности его использования в высокомаржинальной продукции, такой как кирпич мягкой формовки, стеновой клинкер и брусчатка, ригельный кирпич, фасадные керамические плиты, террасные керамогранитные плиты и аксессуары, включая подоконники, накрывочные шляпы на столбы и профильный кирпич для заборов [9].

Процесс исследования синтетического волластонита представляет собой перспективную и весьма актуальную задачу, особенно в условиях дефицита светлых глин. Его области применения значительно шире, включая производство лакокрасочных материалов, пластмасс и изделий из резины, фрикционных изделий, металлургию, огнеупоры, и так далее. Исследования и разработка наиболее оптимальной технологии синтеза волластонита, а также изучение его влияния на свойства керамических изделий будут продолжаться. Кроме того, требуется подбирать составы сырья для получения изделий с заданной цветовой гаммой и определенными техническими характеристиками.

### **Список литературы**

1. Абдрахимов В.З. Волластонит в керамических материалах // Огнеупоры и техническая керамика. 2006. № 7. С. 41–47.
2. Будников П.П., Полубояринов Д.Н. Химическая технология керамики и огнеупоров. М.: Строй-издат, 1972. 551 с.
3. Чистяков Б.З. Волластонит. М.: Наука, 1982. 212 с.
4. Ильичева Е.С., Готлиб Е.М., Пашин Д.М., Буданова Т.В. Волластонит как эффективный наполнитель полимерных материалов // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2013. № 2. Вып. 1. С. 49–53.
5. ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2012. – 40 с.

6. Езерский В.А. Клинкер. Технология и свойства. / В.А. Езерский // - Строительные материалы. – 2011. – № 4. – С. 79-82.
7. Гусев А.И. Минерально-сырьевая база волластонита Горного Алтая // Современные наукоемкие технологии. 2011. № 2. С. 11–16.
8. Корнеев В.И. Еще раз о волластоните // Стройпрофиль. 2002. № 2. С. 38–40.
9. Быков Е.А., Самсонова Т.Е. Использование современных материалов ЗАО «Геоком» для производства керамических изделий // Стеклокерамика. 2006. № 9. С. 36–39.

**Лисейцев Юрий Леонидович**  
**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИБРОБЕТОНОВ**  
*Приамурский государственный университет им. Шолом Алейхема*  
*Научный руководитель: д.т.н. Федюк Р.С., профессор Дальневосточного*  
*федерального университета*

**Аннотация**

Эффективным средством снижения трещинообразования в фасадных покрытиях является применение фибры. В Европе используется более 150 тыс. т. фибры или 3 млн. т. фибробетона в год, что составляет 15 % от общего количества приготовленного бетона. А в Японии объемы фибробетона составляют 85-90 %. В отделочных покрытиях волокно в определённой степени снижает проницаемость материала, защищая его от атмосферных воздействий, а также повышает остаточную прочность и морозостойкость, повышает шероховатость поверхности.

**Ключевые слова:** фибра; фасад; отделка; покрытие; энергоэффективность, сухая строительная смесь

Иностранные и отечественные разработки [1-2] подтвердили, что стабильность является наиболее важной реологической характеристикой для успешного использования дисперсноармированного бетона в дорожной практике. Различают динамическую (способность сохранять однородность распределения всех составляющих материалов, противостоять их сегрегации и вовлечению воздуха под действием любого вида энергии вибрации во время транспортировки и укладки материала) и статическую стабильность (способность противостоять водоотведению и сегрегации после укладки смесей под влиянием силы нагрузки со временем).

Нестабильность затворенной штукатурной смеси может привести к распаду, то есть дифференциальному накоплению легких компонентов (цементно-песчаного раствора) в верхней части, а также фибры в нижней части смеси [89]. При неоднородности распределения заполнителя может ослабляться взаимодействие между заполнителем и цементной матрицей, а также между фиброй и штукатурной смесью. Сегрегированная штукатурная смесь



характеризуется высоким риском трещинообразования, что обусловлено большой концентрацией цементного теста, которое более чувствительно к усадке. Известно, что трещинообразование вследствие сегрегации может уменьшить сопротивление цементного материала к проникновению воды и агрессивных ионов, а при действии знакопеременных температур влияет на дополнительный рост системы трещин, что приводит к снижению физико-механических свойств и ухудшению долговечности.

В связи с этим, производство качественных сухих строительных смесей требует обеспечения тщательного контроля качества во время производства и устройства, использования материалов, имеющих схожие деформативные характеристики с базовой поверхностью фасада, а также соответствующий уход за отделочным покрытием во время твердения, с учетом условий окружающей среды [3].

Сложность проектирования отделочных составов состоит в обеспечении, как высоких технологических свойств штукатурных смесей, так и необходимых эксплуатационных характеристик фасадных покрытий на их основе. За счет введения фибры улучшаются реологические показатели цементного состава – подвижность, вязкость, уменьшается сегрегация, ускоряется удаление вовлеченного воздуха, что достигается взаимодействием волокон с другими химическими и минеральными добавками и наполнителями [4].

Важным фактором обеспечения стабильных характеристик сухих строительных смесей является плотность упаковки заполнителей. На основании данных гранулометрического распределения частиц по размерам всех твердых компонентов смеси должна быть обеспечена плотная упаковка заполнителей, как самых дешевых компонентов смеси, пустоты между которыми будут заполняться вяжущим [5].

Согласно исследованиям [6] в составах отделочных смесей существенно возрастает роль порошковой части с размером зерен меньше 40 мкм. Портландцемент определяет прочность штукатурной смеси и скорость ее набора, а также реологические свойства. Для обеспечения высокой вязкости с целью предупреждения расслоения смеси важно обеспечить равномерное распределение фибры.

Рациональным объединением всех составляющих обеспечивается повышенная плотность и прочность затвердевшего цементного камня, высокое качество сцепления вяжущего с поверхностью зерен заполнителей, а в результате – формирование микро- и макроструктуры отделочной смеси с минимальным количеством дефектов. Высокая плотность цементного камня и отделочной смеси обеспечивает повышенную прочность на растяжение и изгиб, трещиностойкость, ударную вязкость, морозостойкость, водонепроницаемость, износостойкость, то есть долговечность фасадных покрытий из дисперсноармированных цементных составов [7].

Для дисперсного армирования фасадного покрытия наиболее часто используют базальтовую или полипропиленовую фибру [8]. Определение ее оптимального содержания в сухой строительной смеси и обеспечивает

повышенные эксплуатационные характеристики отделочного покрытия. Упрочнение цементного покрытия фиброй обеспечивается тем, что материал матрицы передаёт на фибру приложенную нагрузку с помощью касательных сил, которые действуют на поверхности разделения, и если деформативность волокна меньше деформативности матрицы, то основную часть приложенного напряжения воспринимает фибра, а общая прочность композиции пропорциональна её объёмному содержанию.

При возникновении трещин фибра блокирует её со всех сторон, препятствует её дальнейшему развитию и росту. Особенности развития трещин в дисперсно-армированных строительных смесях с позиций механики разрушения, показывают, что увеличение радиуса кривизны вершины трещины при её контакте с поверхностью волокна закономерно ведёт к повышению прочности материала. Способность волокон противостоять распространению трещин продолжается пока не преодолено сопротивление волокнуистой арматуры на разрыв или не нарушено её сцепление с цементной матрицей.

Качество работы дисперсно-армированной смеси в фасадной конструкции зависит от факторов, которые обеспечивают общую работу элементов структуры: сцепление фибры с матрицей и обеспечение инертности их один к другому. В цементных материалах сцепление фибры с матрицей происходит как за счёт физической адгезии, обусловленной неровностями на поверхности волокон, так и за счёт механического заклинивания фибры частичками матрицы.

Критические напряжения трещинообразования зависят от объёмного содержания волокон и расстояния между ними. Качественные показатели бетона, армированного волокнами, зависят от длины волокон и отношения длины к диаметру. Так, более длинные волокна и с большим отношением длины к диаметру лучше противостоят нагрузкам, чем короткие. Зато длинные волокна практически невозможно применять в отделочном покрытии.

### **Заключение**

При использовании дисперсного армирования эффективно повышается морозостойкость отделочного покрытия, несмотря на некоторый рост при этом количества капиллярных пор. Фибра воспринимает растягивающие усилия, которые возникают при замораживании воды в порах материала. Также проявляется «сдерживающий» эффект фибры, который препятствует отслоению и откалыванию фрагментов штукатурного покрытия при замораживании – оттаивании. Введением фибры значительно увеличивается остаточная прочность штукатурного покрытия, а его разрушение происходит при более высоких значениях деформации.

Вместе с этим, важной проблемой при использовании фибры в цементном материале возможно образование так называемых «ежей» и неравномерного распределения фибры в смеси, что требует устройства специальных приспособлений для равномерной подачи фибры в отделочную смесь.

## Список литературы

1. Wencai Zhao, Jiang Zhang, Jinxing Lai, Xinghao Shi, Zexin Xu. Skid resistance of cement concrete pavement in highway tunnel: A review // *Construction and Building Materials*. Volume 406, 24 November 2023, 133235. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133235>
2. Murali G., Fediuk R. A Taguchi approach for study on impact response of ultra-high-performance polypropylene fibrous cementitious composite // *Journal of Building Engineering*. 2020. Т. 30. С. 101301.
3. Терлецкий И.А., Фершалов Ю.Я. Физические основы процессов горения // Учебное электронное издание / Владивосток, 2016.
4. Abid S.R., Ali S.H., Kadhum A.L., Al-Gasham T.S., Gunasekaran M., Fediuk R., Vatin N., Karelina M. Impact performance of steel fiber-reinforced self-compacting concrete against repeated drop weight impact // *Crystals*. 2021. Т. 11. № 2. С. 1-17.
5. Amran M., Fediuk R., Abdelgader H.S., Murali G., Ozbakkaloglu T., Lee Y.H., Lee Y.Y. Fiber-reinforced alkali-activated concrete: a review // *Journal of Building Engineering*. 2022. Т. 45. С. 103638.
6. Fediuk R., Mochalov A., Timokhin R. Review of methods for activation of binder and concrete mixes // *AIMS Materials Science*. 2018. Т. 5. № 5. С. 916-931.7. Лесовик В.С., Федюк Р.С. Теоретические предпосылки создания цементных композитов повышенной непроницаемости // *Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии*. 2016. № 1 (47). С. 65-72.8. Amran M., Al-Fakih A., Haruna S., Chu S.H., Fediuk R., Azevedo A., Vatin N. Long-term durability properties of geopolymer concrete: an in-depth review // *Case Studies in Construction Materials*. 2021. Т. 15. С. e00661.

**Мишнёв Максим Владимирович, Королев Александр Сергеевич, Задорин Александр Александрович**

### **СТРУКТУРНАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА С ПАМЯТЬЮ НА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ**

*ФГАОУ ВО "ЮУрГУ (НИУ)", Южно-Уральский государственный университет, кафедра «Строительные конструкции и сооружения» г. Челябинск, пр. Ленина 76, 454080*

**Аннотация:** Предложена многоэлементная структурная математическая модель, с памятью на термомеханическое воздействие, позволяющая учитывать накопление остаточных термических напряжений. Накопление напряжений может происходить при циклическом термомеханическом воздействии в условиях стесненности деформаций в элементах конструкций из полимерных и композиционных материалов (например, стеклопластиковых или бипластмассовых дымовых и вентиляционных труб, газоходах, нефтепроводах и т. п.). В настоящей работе проведена верификация

предложенной модели путем сопоставления результатов моделирования и экспериментального определения напряженного состояния стержня из эпоксидного полимера, подвергнувшегося совместному воздействию статической механической нагрузки и циклам нагрева – охлаждения. Получено хорошее совпадение результатов моделирования с результатами экспериментального определения напряжений при сложном циклическом термомеханическом воздействии (разница составляет от 1 до 6%).

**Ключевые слова:** термические напряжения, остаточные напряжения, вязкоупругость, эпоксидные полимеры, стеклопластики, структурная модель

В конструкциях и изделиях из полимерных материалов наблюдаются специфические эффекты, обусловленные неупругим характером их деформирования при циклическом нагреве и охлаждении в условиях стесненности деформаций. Важную роль здесь играет наличие памяти о температурной предыстории, связанной с так называемой «замораживаемой» деформацией, появляющейся при снижении температуры в элементе, на который одновременно действует механическая нагрузка. В результате образуются внутренние остаточные напряжения, меняющиеся в процессе эксплуатации и влияющие на работу конструкции.

Для прогнозирования вязкоупругого поведения полимеров и композитов при циклическом термомеханическом воздействии предлагается подход с использованием структурной многоэлементной модели, которая была предложена и описана в работе [1]. Экспериментальная проверка данной модели проводилась на примере термопластичного полимера [2].

Настоящая работа направлена на получение в будущем результатов необходимых для проектирования крупногабаритных оболочечных конструкций из полимерных композиционных материалов, применяемых в газоотводящих трактах промышленных предприятий (дымовых трубах и газоходах). На данном этапе объектом исследования являлся эпоксидный полимер на ангидридном отвердителе, широко применяемый в качестве матрицы для изготовления намоткой стеклопластиковых конструкций дымовых труб и газоходов. Эпоксидная смола относится к термореактивным полимерам, поэтому в данном случае применение предлагаемой модели является новым.

Основной задачей являлось проведение экспериментальных исследований напряженного состояния исследуемого полимера при циклическом термомеханическом воздействии, сопоставление результатов моделирования напряженного состояния образца с экспериментом.

Экспериментальные исследования проводились на стержневых образцах, изготовленных из эпоксидной смолы горячего отверждения. Использовался состав эпоксидного связующего со следующим массовым соотношением компонентов: эпоксидная смола (ЭД-20) – 52.5%; отвердитель (ИЗОМТГФА) – 44.5%, ускоритель отверждения (Алкофен) – 3%.

При экспериментальных исследованиях проводились испытания на растяжение в сочетании с циклическим нагревом и охлаждением. Целью данных

испытаний было исследование изменения напряженного состояния образца со временем в результате термомеханического воздействия, ползучести и релаксации. Испытания на растяжение в сочетании с термическим воздействием, а также определены вязкоупругих характеристик выполнялись на разрывной машине Tinius Olsen h100ku в специально разработанной и изготовленной термокамере (рис. 1), позволяющей проводить испытания стержневых образцов на растяжение – сжатие при повышенных температурах с фиксацией напряжений и деформаций на фиксированной базе (по типу экстензометров).

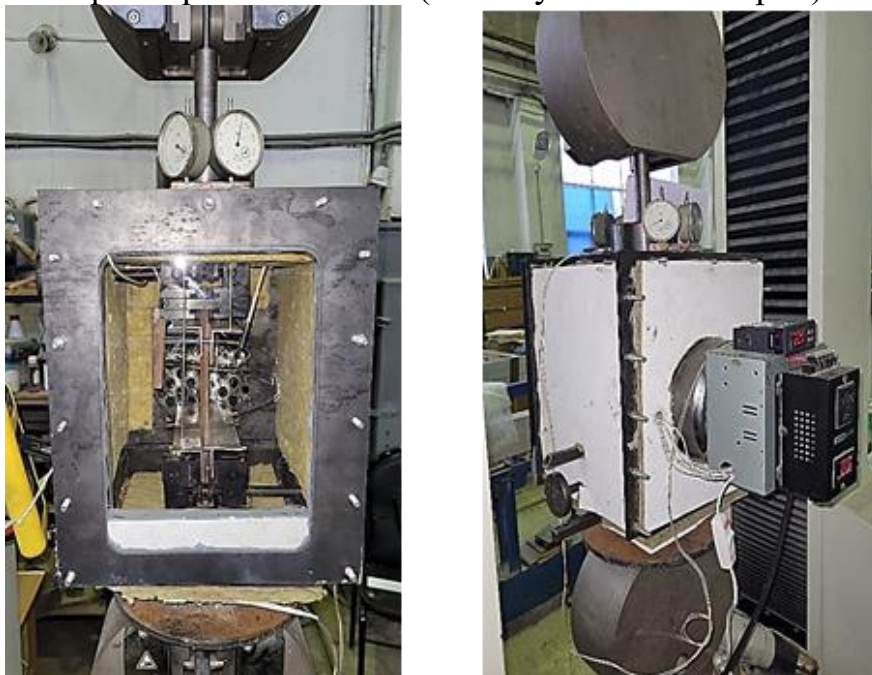


Рисунок 1. Общий вид изготовленной термокамеры

Предлагаемая структурная модель базируется на использовании трехэлементной вязкоупругой структурной модели материала (рис. 2), известной в литературе как трехэлементная модель Кельвина – Фойгта [3].

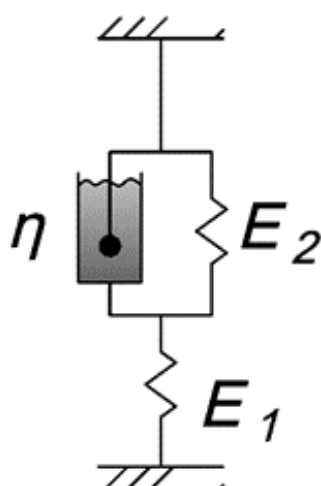


Рисунок 2. Схема вязкоупругой модели Кельвина – Фойгта ( $E_1$ ,  $E_2$  – упругие параметры,  $\eta$  – коэффициент вязкости)

Задача определения механических параметров для модели Кельвина – Фойгта решалась в пакете MathCAD. Для этого предварительно строилась экспериментальная кривая релаксации напряжений при растяжении образца, в пакет вносились массивы значений напряжений и времени, которому эти напряжения соответствуют. Численным методом решалась система экспоненциальных уравнений и подбирались значения  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $\eta$ .

Эксперимент на циклическое термомеханическое воздействие состоял из следующих этапов:

1. Стержневой образец из эпоксидной смолы зажимался во внутренних захватах установки, термокамера и установленный в нее образец прогревались до начальной постоянной температуры  $30^{\circ}\text{C}$ .

2. К образцу прикладывалась начальная растягивающая нагрузка  $1800\text{ Н}$  (напряжения  $9.211\text{ МПа}$ ). После достижения нагрузки захваты оставались в одном положении, и деформация образца от механической нагрузки не менялась, при этом нагрузка снижалась в результате релаксации.

3. В момент достижения нагрузки  $1800\text{ Н}$  включался режим нагрева образца. Образец нагревался до  $100^{\circ}\text{C}$ . При нагреве в образце нарастали температурные напряжения сжатия, которые накладывались на растягивающие механические напряжения и снижали их, что отражалось на кривой зависимости напряжений от времени.

4. В момент достижения температурой на контрольной термопаре значения  $100^{\circ}\text{C}$  включался режим охлаждения образца. Образец охлаждался со  $100^{\circ}\text{C}$  до  $30^{\circ}\text{C}$ , при охлаждении в образце снижались температурные напряжения сжатия, которые образовались при нагреве.

5. Циклы нагрева и охлаждения образца повторялись необходимое количество раз, при этом фиксировались значения нагрузок на силоизмерителе испытательной машины, соответствующие пиковым значениям температуры.

Предлагаемая структурная модель полимерного материала является многоэлементной, она состоит из некоторого числа параллельно соединенных элементарных ячеек, каждая из которых представляет собой модель Кельвина – Фойгта с одинаковыми для всех ячеек упругими и вязкими элементами. Основной особенностью, отличающей ее от других известных нам моделей, является то, что каждая ячейка снабжена температурным тормозом, который срабатывает при определенной температуре и включает или выключает ячейку из работы. Ячейки выключаются при повышении температуры и включаются при снижении, при этом после выключения ячейка, находящаяся в напряженно-деформированном состоянии, не исчезает, а продолжает работать по закону обратной ползучести. Это позволяет моделировать эффект «памяти».

Изменение с температурой упругих и реологических свойств описывается только изменением числа работающих ячеек, обладающих одинаковыми механическими параметрами, что позволяет их просто идентифицировать и задавать. Мы в своей работе делили каждый из механических параметров материала ( $E_1$ ,  $E_2$ ,  $\eta$ ) на количество ячеек на которое поделена модель.

При тепловом воздействии нереализованная в шаге приращения температуры деформация  $\varepsilon_0$  создает в элементарной ячейке напряжения  $\sigma$ , которые впоследствии релаксируют во времени  $\tau$  по закону [3]:

$$\sigma(\tau) = H\varepsilon_0 + (\sigma_0 - H\varepsilon_0)\exp\left(\frac{-\tau}{m}\right), (1)$$

После отключения ячейки в момент времени  $\tau^*$ , т.е. после срабатывания тормоза, происходит перераспределение усилий на другие работающие ячейки, а деформации в ячейках изменяются по закону обратной ползучести (можно назвать такую деформацию виртуальной):

$$\varepsilon v(\tau) = \left(\varepsilon_0 - \frac{\sigma_0}{E_1}\right) \cdot \exp\left(-(\tau - \tau^*) \cdot \frac{H}{E_1 m}\right), (2).$$

При этом напряжения в отключенной ячейке становятся равными нулю, упругие деформации  $\varepsilon_e$ , предшествующие моменту срабатывания тормоза мгновенно становятся равными нулю и по абсолютному значению переходят в деформацию проскальзывания  $\varepsilon_s$ , а вязкая (реологическая) составляющая деформации  $\varepsilon_r$  изменяется во времени, изменяя  $\varepsilon_s$ , так что общая деформация на шаге  $\varepsilon$ , равная нереализованной величине нетепловой деформации, остается постоянной.

При снижении температуры выключенные ячейки включаются обратно, при этом виртуальные деформации, которые нарастали в выключенном состоянии, перейдут в напряжения и будут суммироваться с механическими и температурными напряжениями, равномерно распределенными между включенными ячейками. При этом в каждой включаемой ячейке напряжения от замороженных деформаций будут отличаться, поскольку их включение и выключение происходит при разных температурах в разные моменты времени. Накопленные напряжения, вызванные виртуальными деформациями и будут являться остаточными напряжениями, сформированными в результате циклического термомеханического воздействия.

Таким образом, если после достижения некоторой повышенной температуры осуществляется охлаждение стержня, то постепенно «замораживаются» вынужденно-эластические деформации, возникшие при нагреве стержня. При повторном нагреве «замороженные» вынужденно-эластические деформации по мере повышения температуры постепенно размораживаются, как бы частично компенсируя тепловые деформации стержня. Кривая напряжений при этом не совпадает с кривой напряжений первичного нагрева. Схема работы модели показана на рис. 3.

В результате эксперимента были получены графики изменения суммарных напряжений в образцах на стадиях нагрева и охлаждения в течение 17340 секунд (около 5 часов). Всего было выполнено 9 полных циклов нагрева и охлаждения, каждый цикл нагрева до 100°C продолжался 8 минут, охлаждения до 30°C – 16 минут. Результаты экспериментальных и расчетных напряжений показаны на рис. 4.

Наилучшее совпадение с экспериментом (разница составляет от 1 до 6%) показали расчеты с использованием подхода, когда при выключении ячейки

реализуется только обратная упругая деформация, которая не развивается во времени и не дает постоянного значительного прироста напряжений от замораживаемых деформаций, уменьшающих основные температурные напряжения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 23-29-00425.

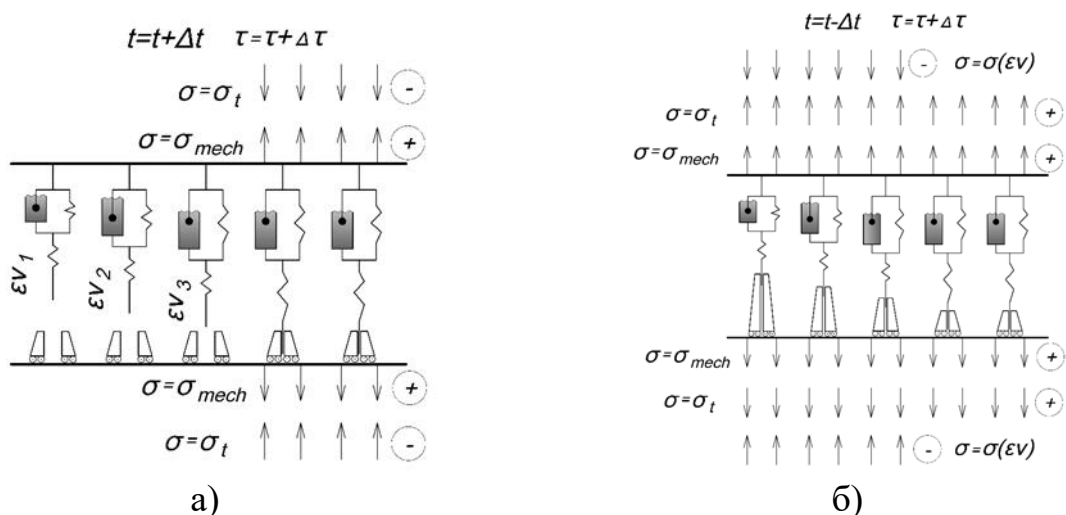


Рисунок 3. Схема работы модели: а) при нагреве; б) при охлаждении

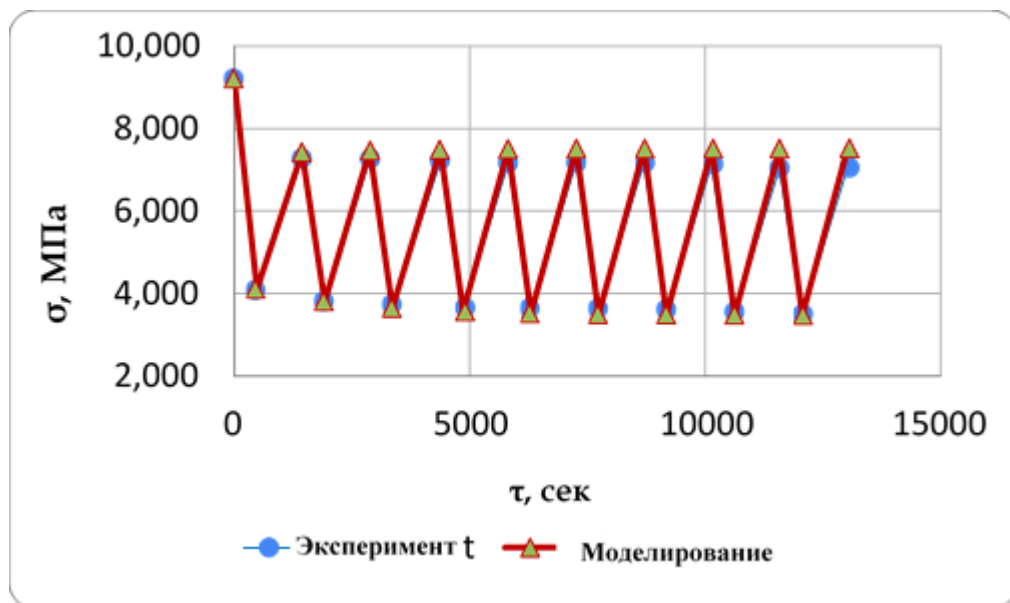


Рисунок 4. Результаты определения напряжений при эксперименте и моделировании циклического термомеханического воздействия

### Список литературы

1. Асташкин В.М., Лихолетов В.В. Формирование остаточных напряжений в пластмассовых элементах конструкций при теплосменах в условиях стесненной деформации // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. 1985. Vol. 10. P. 128–131.



2. Асташкин В.М., Терещук С.В. Методы описания напряженного состояния конструкций из слоистых пластиков при осесимметричном переменном тепловом воздействии. Челябинск: ЧГТУ, 1991. 21–26 р.

3. Ржаницын, Алексей Руфович. Теория ползучести [Текст] / А.Р. Ржаницын, проф., д-р техн. наук. - Москва : Стройиздат, 1968. - 416 с. : черт.

**Потапенко Ярослав Вадимович<sup>1</sup>, Рахимова Галия Мухамедиевна<sup>2</sup>,  
Столбоушкин Андрей Юрьевич<sup>3</sup>, Вышарь Ольга Викторовна<sup>2</sup>,  
Никифорова Валентина Геннадьевна<sup>1</sup>, Рахимов Мурат Аманжолович<sup>2</sup>**  
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛ ТЭС В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ  
КЕРАМИКИ**

*<sup>1</sup>Торайгыров университет, 140008, Республика Казахстан, г. Павлодар,  
Ломова, 64*

*<sup>2</sup>Карагандинский технический университет, 100032, Республика Казахстан,  
г. Караганда, проспект Н.Назарбаева, 56*

*<sup>3</sup>Сибирский государственный индустриальный университет, 654041, Россия,  
г. Новокузнецк, пр. Бардина, 25*

*Научный руководитель: Станевич Виктор Тадеушевич, к.т.н., профессор*

**Аннотация:** Исследовано использование золошлаковых отходов в производстве строительных керамических изделий. Выявлено влияние степени помола золоотходов и глинистого сырья на качественные характеристики полученного строительного продукта.

Установлены физико-механические свойства керамических изделий в зависимости от дисперсности и гранулируемости компонентов, а также их количественного присутствия в зологлиняной смеси.

**Ключевые слова:** дисперсность, компонент, золоотходы, композит, прочность.

**THE USE OF TPP ASH IN THE PRODUCTION OF BUILDING CERAMICS**

**Potapenko Yaroslav Vadimovich<sup>1</sup>, Rakhimova Galiya Mukhamedievna<sup>2</sup>,  
Stolboushkin Andrey Yuryevich<sup>3</sup>, Vyshar Olga Viktorovna<sup>2</sup>, Nikiforova  
Valentina Gennadievna<sup>1</sup>, Murat Amanzholovich Rakhimov<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Toraigyrov University, 140008, Republic of Kazakhstan, Pavlodar, Lomova 64*

*<sup>2</sup>Karaganda Technical University, 100032, Republic of Kazakhstan, Karaganda,  
Ave., N. Nazarbayev, 56*

*<sup>3</sup>Siberian State Industrial University, 654041, Russia, Novokuznetsk, Bardina Ave., 25*

*Supervisor: Stanevich Victor Tadeushevich, Candidate of Technical Sciences,  
Professor*

**Annotation.** The use of ash and slag wastes in the production of building ceramic products has been investigated. The influence of the degree of grinding of ash and clay

raw materials on the qualitative characteristics of the obtained building product has been revealed.

Physical and mechanical properties of ceramic products depending on the dispersibility and granulability of components, as well as their quantitative presence in the ash and clay mixture have been established.

**Key words:** dispersibility, component, ash waste, composite, strength.

Количество золошлаковых отходов, образующихся в процессе работы ТЭС, увеличивается с каждым годом. Золоотвалы представляют собой серьёзную экологическую и экономическую проблему. Из складываемых в золоотвалы отходов только около 10 % используется в народном хозяйстве.

Золошлаковые отходы успешно используются в качестве сырья для производства цемента, бетона, дорожных покрытий, для получения гипсовых вяжущих и т.д.

Золошлаковые отходы также могут частично заменить традиционные сырьевые материалы при изготовлении строительных керамических изделий.

Введение золоотходов в состав глинистого сырья способствует снижению огневой усадки готовых керамических изделий на основе или с добавлением золы как компонента шихты. Также установлено, что повышение содержания мелкодисперсных частиц в золоотходах положительно влияет на водопоглощение и морозостойкость керамического кирпича, полученного методом полусухого прессования при давлении 25 МПа. При этом количество компонентов в шихте можно принять равным соотношению 50-50 %.

Многие исследователи склоняются к единому мнению в том, что в композициях зола/глина их равное количество 50-50 % можно считать оптимальным вариантом при подборе компонентов керамических смесей. С глинами повышенной пластичности можно использовать до 60 % золы при температурах обжига 980-1050 °С. В настоящее время золы используются в качестве основного сырья в разных композитах с глинистым сырьём и определёнными добавками [1].

Целью исследования является изучение влияния дисперсности компонентов, их количественного присутствия в составе шихты, а также влияния гранулянтов и порошковых смесей на качественные характеристики получаемых образцов.

Большое значение при подборе компонентов шихты имеют их гранулометрический и химический составы, так как являются важными критериями пригодности сырья для производства керамических изделий различного назначения [2].

В работе представлены результаты исследований по получению строительных керамических изделий, в частности керамического кирпича на основе отходов ТЭС, не уступающих по характеристикам, существующим аналогам на основе глинистого сырья. В качестве глинистого сырья использовалась глина Красноармейского месторождения Павлодарского региона. В качестве второго компонента зола Аксуской ГРЭС. Красноармейская

глина относится к умеренно пластичному сырью. Зола ТЭС являются непластичными материалами. Химический и гранулометрический составы компонентов приведены в таблице 1.

Гранулометрический состав сырья указывает на большое процентное содержание микродисперсных частиц, что способствует повышению пластичности сырьевой массы.

Таблица 1

### Химический состав сырья

Месторождение	Химический состав глинистого сырья, %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Ti <sub>2</sub> O	п.п.п.
Глина Красноармейская	76,46	13,43	2,67	1,01	0,72	2,67	3,71
Зола Аксуская	60,00	25,47	3,90	2,22	0,90	1,14	0,70

Такое сырьё обладает более высокой связностью, что положительно сказывается на прочностных показателях готовых керамических изделий.

Подготовлены образцы керамического кирпича методом полусухого прессования со следующими технологическими характеристиками: формовочная влажность 10 %; давление прессования 25 МПа; сушка 12 ч. Температура обжига подбиралась экспериментально и составила 950 °С. Содержание золы изменяли в шихте от 10 % до 60 %. Из ранее опубликованных результатов исследований следует, что введение золы в шихту понижает прочность готовых изделий и ухудшает другие характеристики [3].

Предварительно измельчённое глиняное сырьё, добавленное в состав смеси, в пределах от 25 до 45 % вызывает уменьшение упругих и повышение пластических деформаций масс на стадии формования, поэтому рекомендуется ввод глинистого сырья в количестве от 25 до 40 % в состав зольной шихты, что способствует образованию более совершенного структурного каркаса. Оптимальными можно считать составы с содержанием в шихте золы 40-60 %. При этом получают изделия плотностью 1650-1550 кг/м<sup>3</sup> с прочностью при сжатии 22-27 МПа.

Затем было изучено влияние степени помола золы на прочностные характеристики керамических изделий. Процесс измельчения сырья сопровождается изменениями гранулометрического состава. Сырьё проходит стадии разрушения природных агломератов, частичной аморфизации зёрен с развитием в них дефектов, энергия которых обуславливает в дальнейшем образование новых агрегированных частиц, способствующих улучшению технологических свойств полиминерального сырья. Данные исследованных гранулометрических составов представлены в таблице 2.

Таблица 2

### Гранулометрический состав в зависимости от времени помола

№ п/п	Время помола, ч	Группа дисперсности, мкм, количество частиц в навеске, %					
		< 3	3-5	5-7	7-10	10-14	> 14
1	4	84,1	6,9	3,0	2,2	1,5	2,3

2	8	86,3	7,2	2,5	1,9	1,0	1,1
3	12	92,1	3,4	1,9	1,5	0,8	0,3
4	16	93,1	2,7	1,5	1,3	0,7	0,2
5	20	93,2	2,6	1,3	1,3	0,7	0,2
6	24	93,4	2,5	1,9	1,3	0,7	0,2

Самое эффективное измельчение наблюдается при длительности помола не более 12 ч. При помоле дольше 12 ч. гранулометрический состав золы практически не меняется. Это происходит, в основном, по двум причинам:

1 – тело по правилу Шателье стремится снизить свою энергию за счёт обратных процессов конгломерации, слипания частиц под действием адгезионных сил;

2 – получающиеся при измельчении частицы практически не разрушаются вследствие высокой прочности монокристаллических частиц малых размеров.

Полученный микрозольный порошок вводится в шихту в количестве 40-60 %. Влажность шихты при этом увеличили до 12 %, так как с увеличением дисперсности увеличивается гигроскопичность золы. Затем шихту перемешивали в вибрационном смесителе. После формования было отмечено повышение качества образцов: более чёткие края и рёбра без каких-либо впадин и трещин. Это можно объяснить тем, что в результате большого количества микродисперсных частиц упаковка смеси стала более плотной. Также определено положительное влияние степени помола на общую усадку готовых образцов. Она существенно снижается.

В результате проведённых исследований определены оптимальные составы шихт с использованием золошлаковых отходов ТЭС для получения строительных керамических изделий. Показана положительная динамика улучшения физико-механических и технологических свойств керамических изделий при использовании золы в тонкомолотом состоянии. Состав золокерамической смеси в количестве 50 - 50 % можно считать оптимальным, причём зола должна быть молотой в течение 12 ч в барабанной шаровой мельнице для получения изделий плотностью 1650 кг/м<sup>3</sup> и маркой по морозостойкости не менее 50 (ГОСТ 7025-91), прочностью при сжатии 29,8 МПа.

Данный состав можно рекомендовать для получения рядового кирпича разного типоразмера.

Таблица 3

**Физико-механических свойств образцов с использованием золы разной степени помола**

№ п/п	Время помола, ч	Содержание золы в шихте, %	Содержание глины в шихте, %	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение, %	Предел прочности, МПа		Марка по морозостойкости
						при сжатии	при изгибе	
1	0	40	60	1650	17	27,1	7,7	
2	4	40	60	1650	16	27,1	7,8	
3		50	50	1600	17	26,6	7,5	

4		60	40	1550	19	21,0	7,1	F50
5	8	40	60	1650	15	27,8	7,9	
6		50	50	1600	16	26,3	7,7	
7		60	40	1550	18	22,4	7,3	
8	12	40	60	1750	13	31,1	8,1	
9		50	50	1650	15	29,8	8,0	
10		60	40	1600	17	24,3	7,7	

Таким образом, золоотходы можно считать перспективным сырьём для использования при производстве строительных материалов и изделий. Опыт зарубежных и отечественных исследователей показал, что в свете основных положений физико-химической механики формовочная масса представляет собой структурированную дисперсную систему [4].

Правильный выбор и дозирование компонентов масс, имеющих различные формовочные свойства, дадут возможность получать массы с заданными строительными и механическими свойствами [5].

Следующим этапом данного исследования было изучение влияния гранулируемости компонентов на улучшение физико-механических свойств зологлиняной смеси и качественные показатели керамического кирпича.

Испытания проведены на порошкообразных шихтах, предварительно подготовленных образцов установленных оптимальных составов из Аксуской золы и Красноармейской глины.

Большую часть смеси (примерно, от 60 до 80 % помещали в тарельчатый гранулятор (скорость вращения 19 об/мин), увлажняли до получения необходимой консистенции. Формовочные массы составлены в соответствии с заданными параметрами: 65 % Аксуской золы и 35 % Красноармейской глины. Образцы подготовлены из порошковой массы и отдельно – из гранулированной.

Перед смешиванием компоненты были доведены до влажности 10-12 %. Произведён помол крупностью до 0,5 мм. При измельчении компонентов смесей в шаровых мельницах можно получать порошки для образцов с требуемым максимальным размером зерна от 1 до 4-5 мм и одновременно регулировать содержание мелких фракций (< 0,5 мм) от 40 до 70 %, что и было сделано при подготовке к лабораторным испытаниям образцов-цилиндров. После формования образцы обжигались в лабораторной печи. Выдержка при максимальной температуре составляла 2-3 час. Полученные результаты показали, что методом полусухого прессования можно получить керамический кирпич с удовлетворительными физико-механическими свойствами, соответствующими требованиям ГОСТ 530-2012.

По результатам исследований можно отметить, что при повышении дисперсности зологлиняной смеси физико-механические свойства образцов улучшаются, таблица 4.

Отформованный кирпич как из порошковой, так и из гранулированной шихты имел чёткие грани и рёбра. Кирпич из порошковой шихты на основе золы

Аксуской ГРЭС при температуре обжига 1100 °С имеет прочность при сжатии 12 МПа. С повышением температуры обжига до 1120 °С эти показатели возрастают до 17 МПа.

Надо отметить, что результаты лабораторных исследований указывают что на основе золы Аксуской ГРЭС с добавлением местных глин методом полусухого прессования получен строительный кирпич, отвечающий требованиям ГОСТ 530-2012 из гранулированной шихты.

Таблица 4

**Физико-механические испытания кирпича полусухого прессования**

Вид шихты	Температура обжига, °С	Время выдержки, ч	Продолжительность обжига, ч	Воздушная усадка, %	Общая усадка, %	Предел прочности, МПа		Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение, %	Морозостойкость, цикл
						при сжатии	при изгибе			
На основе золы Аксуской ГРЭС										
Порошкообразная	1100	2	22	0,58	3,24	12	3,5	1550	20,7	50
	1100	3	24	0,58	3,74	12	4,0	1555	19,1	50
	1120	2	32	0,51	4,04	17	5,5	1600	17,4	50
Гранулированная	1100	2	22	0,42	2,73	12	5,5	1750	14,5	50
	1120	3	24	0,42	3,36	15	7,0	1830	13,7	50
	1120	2	32	0,42	3,78	26	7,0	1877	12,2	50

По результатам проведённого исследования можно сделать вывод о том, что процесс предварительной грануляции шихты существенно повышает физико-механические свойства керамических изделий. При одинаковой продолжительности обжига и времени выдержки в гранулированной шихте наблюдается меньший процент воздушной и общей усадки. Предел сжатия при температуре 1120 °С составляет в образцах порошковой смеси 17 МПа, в предварительно гранулированных образцах – 26 МПа, при изгибе 5,5 МПа и 7,0 МПа соответственно. Водопоглощение в процентном отношении в порошковой массе составило 17,4 % и гранулированной массе 12,2 %. Морозостойкость составила 50 циклов.

Так же было исследовано влияние количественного присутствия в композите золы и глины на физико-механические свойства керамических изделий на примере калкаманской глины и золы Аксуской ГРЭС. Результаты исследования влияния количественного соотношения компонентов золы и глины в смеси показали, что с увеличением содержания вводимой глины от 15 до 50 % растёт содержание муллита в обожжённых образцах от 8 до 20 % и стеклофазы от 10 до 25 %. Кроме того, повышается их прочность при сжатии от 24 до 28 МПа.

Однако с процентным содержанием глины в смеси от 35 до 50 % образцы становятся высокочувствительными к сушке, что усложняет практическое применение этих составов. Фазовый состав и физико-механические свойства

золокерамических материалов, в основном, определяются составом и свойствами используемых зол и глин, а также температурой их обжига [6].

Исследовано влияние состава шихт, т.е. соотношение компонентов – золы Аксуской ГРЭС и глины Красноармейского месторождения на качественные показатели. Готовились образцы из порошковой и гранулированной смеси. Составы смеси варьировались от 85-15 до 60-40 в процентном отношении аксуская зола-красноармейская глина. Данные результаты сведены в таблицу 5.

Согласно полученным результатам, формовочная влажность должна быть в пределах 8-12%, прессование одноступенчатое при давлении 20-30 МПа, температура обжига – 1100-1150 °С со скоростью подъема 2-2,22 °С/мин и выдержкой при максимальной температуре до 2 ч. Механическая прочность образцов составляла 15-18 МПа. За оптимальный состав принят состав 65-35 % композита зола-глина.

Затем исследованы образцы из заранее гранулированной смеси. При грануляции полученные гранулы фракции до 5 мм, которые составили 50-70 % размером до 5 мм, от 5 до 10 мм – 30-50 %. Образцы формовались из гранул влажностью 8-11 % под давлением 20-30 МПа.

Таблица 5

**Физико-механические свойства лабораторных образцов (морозостойкость 50 циклов)**

Вид шихты	Зола, %	Глина, %	Общая усадка, %	Предел прочности, МПа		Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение, %
				при сжатии	при изгибе		
Порошковая	85	15	2,90	8	1,8	1450	23,0
	80	20	2,88	11	1,0	1485	23,5
	75	25	2,88	12	1,9	1490	21,8
	70	30	2,75	13	2,0	1510	22,0
	65	35	2,86	15	2,1	1560	22,0
	60	40	2,65	15	2,2	1565	21,9
Гранулированная	85	15	2,80	10	1,9	1470	24,0
	80	20	2,75	11	1,9	1470	23,5
	75	25	2,70	15	2,0	1460	22,0
	70	30	2,70	16	2,1	1500	21,0
	65	35	2,75	16	2,2	1520	20,0
	60	40	2,60	16	2,2	1580	21,0

Обжигались без сушки при температурах 1100-1200 °С с выдержкой в течение 2 ч. В результате было установлено, что наилучшими прочностными характеристиками обладали образцы, отформованные из гранул мелких фракций до 5 мм. Так, прочность образцов из гранул фракций 5-10 мм составляет 12 МПа, из гранул фракций до 5 мм – 17 МПа.

## **Заключение**

Определены оптимальные составы шихт для получения керамического кирпича из местных сырьевых материалов с показателями, соответствующими ГОСТ.

Предварительная грануляция шихты перед производством керамических изделий повышает основные показатели композита в полтора – два раза, что положительно влияет на качество получаемой продукции.

Показатели свойств образцов из порошковой и гранулированной смесей при повышении температуры обжига до 1120 °С увеличиваются, предел прочности при сжатии образцов из порошковой смеси составляет 17 МПа, при изгибе – 5,5 МПа, из гранулированной смеси 26 МПа – при сжатии, 7 МПа – при изгибе.

Результаты исследования влияния соотношения композитов золы и глины на свойства золокерамических материалов показали, что с увеличением количества вводимой глины от 15 до 50 % растёт содержание муллита в обожжённых образцах от 8 до 20 % и стеклофазы от 10 до 25 %, параллельно с этим повышается их прочность при сжатии от 24 до 28 МПа и плотность – от 1285 до 1630 кг/м<sup>3</sup>.

Вовлечение высокодисперсных золошлаковых отходов в промышленный оборот позволит создать современное безотходное производство и качественные керамические строительные изделия, сократить объёмы золоотвалов.

## **Список литературы:**

1. Сайбулатов С., Сулейменов С., Кулбеков М. Золо ТЭС в производстве строительной керамики. – Алма-Ата: Казахстан, 1986. – 144 с.
2. Гайшун Е.С., Рогочая М.В., Явруян Х.С. Техногенное сырьё угольного ряда в производстве стеновой керамики // Строительство и архитектура - 2015. С. 266-268.
3. Сайбулатов С. Ж., Сулейменов С. Т., Ралко А. В. Золокерамические стеновые материалы. – Алма-Ата : Наука, 1982. – 291 с.
4. Станевич В. Т. Строительная керамика: учебное пособие. – Павлодар: Кереку, 2009. – 96 с.
5. Storozhenko G. I., Stolboushkin A.U. Ceramic bricks from industrial waste // Ceramic & Sakhteman. Season almagazine of Ceramic & Building. Winter. 2010. № 2. pp. 2-6.
6. Данилович И. Ю., Сканапи Н. А. Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов: учебное пособие – М., Высш. шк., 1998. – 75 с.



Румянцева В.Е.<sup>1,2</sup>, Коновалова В.С.<sup>1</sup>, Промзелева Е.С.<sup>1</sup>  
**КОМБИНИРОВАННАЯ ДОБАВКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ  
ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ К БИОКОРРОЗИИ**

<sup>1</sup>*Ивановский государственный политехнический университет, кафедра  
естественных наук и техносферной безопасности, г. Иваново, Шереметевский  
пр-т, д. 21, 153000*

<sup>2</sup>*Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной  
противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам  
гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий  
стихийных бедствий, г. Иваново, пр-т Строителей, д. 33, 153040*

**Аннотация:** для предотвращения биообрастания бетона и развития микробиологической коррозии целесообразно разрабатывать комплексные добавки, содержащие наночастицы, для лучшего действия. Целью исследования было установление влияния добавок стеарата кальция, нитрата калия и наночастиц оксида цинка в бетон на распространение на его поверхности грибковых микроорганизмов.

**Ключевые слова:** биокоррозия бетона, ингибиторы коррозии, добавки в бетон, коррозионная стойкость, гидрофобная добавка.

Предложено для предотвращения биообрастания бетона на стадии изготовления вводить в цементную смесь 0,5 масс. % стеарата кальция, 0,5 масс. % нитрата калия и 0,5 масс. % наноразмерного оксида цинка.

Стеарат кальция оказывает гидрофобизирующее действие на цементный камень [1-3]. Частицы стеарата кальция не только придают гидрофобность поверхности пор и капилляров бетона, но и выступают в качестве искусственного кольматанта, осаждаясь в порах и перекрывая их [4]. При объемной гидрофобизации бетона помимо снижения пористости и водопоглощения, также происходит повышение его плотности и прочности на сжатие [5-7].

Нитрат калия хорошо ингибирует коррозию стальной арматуры бетона [8, 9], но не оказывает влияния на технические характеристики цементного камня [10]. Нитраты также проявляют антимикробные свойства против сульфатовосстанавливающих бактерий [11].

Добавка оксида цинка в бетон повышает его прочность и улучшает структуру [12]. Наночастицы цинка находят применение для борьбы с микроорганизмами в разных отраслях промышленности [13].

На рис. 1 представлены образцы цементного камня из портландцемента марки ЦЕМ I 42,5 Н спустя 6 месяцев после заражения поверхности грибами *Aspergillus niger*. Очевидно, что добавка из стеарата кальция, нитрата калия и наночастиц оксида цинка хорошо препятствует биообрастанию бетона.

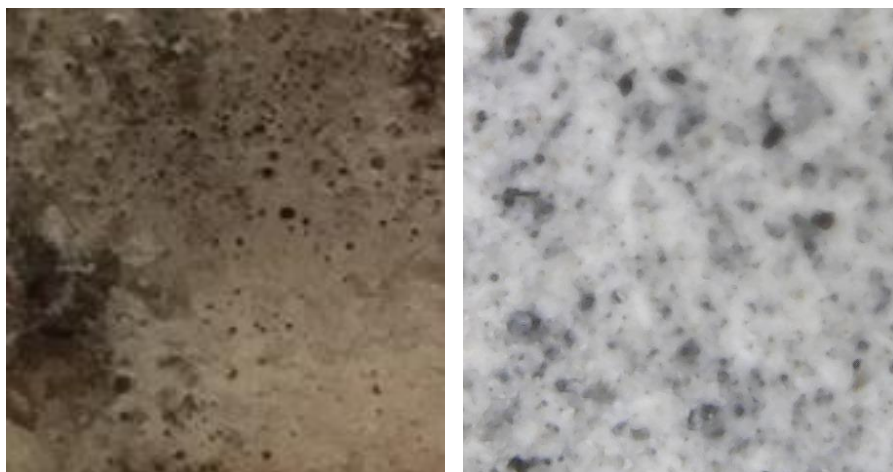


Рисунок 1. Снимки поверхности цементного камня (а) без добавок и (б) с комплексной добавкой спустя 6 месяцев после заражения поверхности грибками

### Список литературы

1. Дергунов С.А., Рубцова В.Н., Орехов С.А. Гидрофобизация минеральных систем // *СтройПРОФИль*. – 2009. – № 6 (76). – С. 17-20.
2. Коррозия бетона с гидрофобизирующими добавками / В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова, И.В. Караваев, С.А. Логинова // *Повышение эффективности процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности: сборник научных трудов Международной научно-технической конференции, посвящённой 105-летию со дня рождения А. Н. Плановского*. Т. 2. – М.: ФГБОУ ВО МГУДТ, 2016. – С. 138-141.
3. Определение ресурса безопасной эксплуатации конструкций из бетона, содержащего гидрофобизирующие добавки / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, И.В. Красильников, И.В. Караваев, В.С. Коновалова // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. – 2017. – № 6 (372). – С. 268-276.
4. The role of colmatation in liquid corrosion of hydrophobized concrete // S.V. Fedosov, V.E. Rummyantseva, V.S. Konovalova, A.S. Evsyakov // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 896. – 012096.
5. Махамбетова К.Н., Булгаков А.В. Исследование влияния современных гидрофобизирующих добавок на прочность при сжатии и водопоглощение цементно-песчаных растворов // *Современные научные исследования и инновации*. – 2015. – № 6. – Ч. 2.
6. Effect of Calcium Stearate in the Mechanical and Physical Properties of Concrete with PCC and Fly Ash as Binders / A. Maryoto, B. Sthenly Gan, N. Intang Setyo Hermanto, R. Setijadi // *Materials*. – 2020. – Vol. 13. – Issue 6. – Article no. 1394.
7. Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Осыко А.В. Управление прочностью бетона посредством введения гидрофобизирующих добавок // *Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 75-летию заслуженного*

деятели науки РФ, академика РААСН, д-ра техн. наук, проф. Селяева В.П. – Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2019. – С. 298-303.

8. Rummyantseva V.E., Konovalova V.S. The Reinforced Concrete Reinforcement Corrosion Degradation Inhibition with Nitrates of Alkali and Alkali-Earth Metals // Materials Science Forum. – 2020. – Vol. 1011. – Pp. 72-78.

9. Ahmad A., Kumar A. Comparative Behaviour of Nitrite and Nitrate for the Protection of Rebar Corrosion // Journal of The Institution of Engineers (India): Series D. – 2017. – Vol. 98. – Pp. 177-187.

10. Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Нармания Б.Е. Влияние ингибирующих добавок нитратов на степень повреждения цементного камня бетона при жидкостной коррозии в хлорид-содержащих средах // Эксперт: теория и практика. – 2022. – № 4 (19). – С. 60-66.

11. Corrosion risk associated with microbial souring control using nitrate or nitrite / C. Hubert, M. Nemati, G. Jenneman, G. Voordouw // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2005. – Vol. 68. – Pp. 272-282.

12. Arefi M.R., Rezaei-Zarchi S. Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles and Their Effect on the Compressive Strength and Setting Time of Self-Compacted Concrete Paste as Cementitious Composites // International Journal of Molecular Sciences. – 2012. – Vol. 13. – Issue 4. – Pp. 4340-4350.

13. Sabir S., Arshad M., Chaudhari S.K. Zinc Oxide Nanoparticles for Revolutionizing Agriculture: Synthesis and Applications // The Scientific World Journal. – 2014. – Vol. 2014. – Article ID 925494.

**Святко Иван Андреевич**

**ХАРАКТЕРИСТИКА ОТСЕВОВ ДРОБЛЕНИЯ ПЕСЧАНИКОВ  
ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА КАК СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА  
КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА**

*Донской государственный технический университет, кафедра «Строительные материалы», 344000, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162.*

*Научный руководитель – Котляр Владимир Дмитриевич, д.т.н., профессор*

**Аннотация:** сырьевая отрасль для производства керамических строительных изделий испытывает серьезные трудности из-за дефицита качественных глин. Активные поиски альтернативы привели к рассмотрению вопроса об изучении попутных материалов при добыче песчаников в регионе Восточного Донбасса. Изучение химического и минералогического состава, керамических свойств показало, что отсеvy дробления песчаников вполне могут быть использованы для производства лицевого кирпича с заданными характеристиками.

**Ключевые слова:** отсеvy дробления, песчаники, керамический кирпич, прочность, водопоглощение

В современных условиях, когда сырьевая отрасль нашей страны сталкивается с проблемами отсутствия качественного сырья, особенно актуальной задачей становится поиск альтернативных источников для производства лицевого керамического кирпича. Глины, являющиеся основным компонентом при изготовлении кирпича, становятся все более дефицитными и их низкое качество оказывает отрицательное влияние на процесс производства и, соответственно, на конечный продукт.

В связи с этим встает вопрос о разработке и внедрении новых технологий, которые позволят использовать альтернативные виды сырья для производства керамических изделий. Один из возможных вариантов - использование отходов добычи других материалов, обладающих аналогичными свойствами и характеристиками, но более доступными и экономически выгодными. Такой подход позволит не только справиться с текущими трудностями в сырьевой отрасли, но и сделает производство более устойчивым к будущим изменениям на рынке сырья [1-2].

Поиск и внедрение новых источников сырья для керамического кирпича требует серьезных исследований и технических разработок. Необходимо провести комплексное изучение керамических свойств сырья, а также определить его пригодность для использования в производстве изделий. Кроме того, необходимо разработать соответствующую технологию переработки и обработки выбранных альтернативных сырьевых источников.

Регион Восточного Донбасса славится как крупный центр угледобычи в Европейской части нашей страны. Одной из его характерных геологических особенностей является наличие пород каменноугольного периода, которые преобладают на его поверхности. Эти породы в основном состоят из песчаников, алевролитов, аргиллитов, глинистых сланцев и редко встречающихся известняков. Ростовская область играет значительную роль в разработке и добыче нерудных полезных ископаемых, таких как песчаники, используемые для производства щебня и бутового камня. На сегодняшний день на территории области находится более 100 месторождений, которые либо уже были добыты, либо продолжают работать. После получения щебня необходимой фракции остается песок с размером зерен до 5 мм. Чтобы использовать его в строительстве, он должен соответствовать требованиям ГОСТ 34424-2010 «Материалы строительные нерудные из отсевов дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия».

Практический опыт показывает, что без соответствующей обработки такие материалы, как песчаники, не соответствуют необходимым требованиям нормативного документа по количеству глинистых и пылевидных частиц. Песчаники характеризуются слоистой структурой, где тонкие слои состоят из измененных полевошпатовых, слюдяных и глинистых минералов, которые чередуются с более прочными и крупными слоями кварца [3].

Закономерное явление дробления, транспортировки, отсева и перевалки песчаников приводит к тому, что слабейшие породы и минералы оказываются сосредоточены в мелких фракциях, которые называются отсевами. Однако,

песчаники на территории Ростовской области имеют различное строение. В западной части преобладает смесь прочных песчаников и прослоек алевролитов, аржиллитов и глинистых сланцев, в то время как восточная часть отличается чередованием менее прочных слоев песчаников, глинистых сланцев и даже типичных глин. Именно эти отложения представляют собой ценное сырье для производства различных видов строительной керамики. Одним из таких типичных месторождений является Кондаковское в Константиновском районе Ростовской области, геологическое строение которого является характерным для данной территории.

Это месторождение включает породы каменноугольного и четвертичного возрастов. Отсевы имеют размеры до 5 мм и содержат около 10% глин. На глубине 100 см их влажность составляет от 5 до 7%. Зерновой состав отсевов отличается повышенным содержанием фракции до 0,16 мм, которая должна быть не более 3-10% в зависимости от модуля крупности согласно ГОСТ 31424-2010. Фракция 0-0,16 мм представлена глинистыми и тонкодисперсными слюдистыми минералами в основном из-за особенностей строения песчаников и технологических особенностей получения щебня. В целом, наличие глинистой составляющей делает отсеvy переработки песчаников перспективным сырьем для производства керамических изделий [1-4].

Добывать песчаники – значит, заниматься выборкой и классификацией полученного материала по фракциям. Наимельчайшими фракциями считаются частицы размером от 0 до 5 мм, которые получают название отсевов. В результате дробления и просеивания песчаников, наиболее хрупкие породы и минералы, такие как полевой шпат и слюда, разрушаются быстрее и оказываются в отсевах. Такой песок содержит множество пылевидных глинистых частиц и не соответствует требованиям нормативных документов, касающихся песка для строительных работ.

Месторождение представлено кварцево-полевошпатовыми песчаниками, которые смешиваются с глинистыми и песчаными сланцами. В них присутствуют также пласты известняка, угля и сланцевого угля.

Изучение разрезов в уже действующем карьере прошлых лет и анализ образцов скважинного керна привели к выделению двух типов песчаников, которые составляют основную полезную толщу. В верхней части, непосредственно под верхним пластом, находятся кварцевые, зеленовато-буроватые, буровато-серые и сильно трещиноватые песчаники с редкими включениями ожелезненного песчаника размером от 0,05 до 0,3 мм. Ниже располагаются светло-серые и серые кварцевые песчаники с малым содержанием слюды, а также трещиноватые песчаники с кремнистым цементом, прочные и с прослоями глины.

Породы песчаников отличаются высоким содержанием глинозема и щелочных оксидов, образованных за счет присутствия глинистых и слюдистых минералов. По классификации ГОСТ 9196-79 «Сырье глинистое для керамической промышленности. Классификация», песчаники относятся к категории полукислых материалов на основе содержания  $Al_2O_3$  в прокаленном

состоянии. Высокое содержание оксидов железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) и титана ( $\text{TiO}_2$ ) в прокаленном состоянии позволяет отнести песчаники к сырью с высоким содержанием оксидов, обладающих красящим эффектом. Химический состав остатков после дробления песчаников сходен с типичными глинами, суглинками и легкоплавкими глинами [5].

Минералогический состав оказывает прямое влияние на химический состав. В случае песчаников, главным минералом является кварц, но в отсевах его содержание снижается в среднем на 10%. Вместе с тем, содержание выветрелых полевых шпатов, слюд и глинистых минералов увеличивается. Также стоит упомянуть, что с изменением фракции меняется и химико-минералогический состав отсевов. Фракция до 5 мм больше похожа на сам песчаник, в то время как фракции менее 1 мм содержат больше глинозёма и щелочных оксидов, так как увеличивается содержание полевых шпатов, глинистых минералов и слюд.

По результатам проведенных исследований было установлено, что отсевы при дроблении песчаников содержат несколько минералов. Среди них присутствуют кварц, полевые шпаты, слюды и глауконит. Также возможно наличие обломков горных пород. На втором плане находятся акцессорные минералы, то есть примесные, такие как магнетиты, ильмениты, гранаты, рутилы, цирконы и турмалины. Однако их содержание ничтожно мало. В качестве связующего и цементирующего вещества выступают глинистые минералы, включая гидрослюды и каолиниты.

Основным минералом в естественном составе песчаников является кварц. Через интересную закономерность можно заметить, что при измельчении материнской породы и образовании отсевов, количество кварца уменьшается до 40-50%. В то же время, содержание полевых шпатов, представленных альбитом и микроклином, а также слюд, представленных тонкодисперсным пелитизированным биотитом и глинистыми минералами, увеличивается. В отсевах с фракционным составом от 1 до 5 мм преобладают минералы, характерные для песчаника, а в отсевах менее 1 мм – преобладание смещается в сторону глинозема и щелочных оксидов за счет полевых шпатов, слюд и глинистых минералов.

После проведения испытаний для изучения керамических свойств отсевов дробления песчаников было выяснено, что они могут быть использованы в качестве исходного материала для производства керамического кирпича с нужными техническими и эксплуатационными характеристиками. Однако, в естественном состоянии эти материалы не подходят для производства керамических изделий из-за большого размера зерен, достигающих 5 мм. Особое значение имеет измельчение этих отсевов до фракций 0-1,25 мм, 0-0,63 мм, 0-0,315 мм и 0-0,16 мм. Было установлено, что степень измельчения отсевов существенно влияет на конечные свойства изделий.

Обнаружено, что отсевы содержат высокое количество крупнозернистых включений и крупных частиц. Оптимальный диапазон влажности для формовки составляет от 14% до 18%, а пластичность колеблется от 2,5 до 11,6 единиц. Отсевы имеют небольшую усадку при сушке, всего 3,7-5,9%. В зависимости от

степени измельчения, отсеvy можно отнести к группе с низкой или средней механической прочностью.

Исследования показали, что отсеvy являются легкоплавким сырьем для низкотемпературного спекания. Средняя плотность обожженных образцов достигает 2250 кг/м<sup>3</sup>, а огневая усадка не превышает 7%. Водопоглощение напрямую зависит от степени измельчения и температуры обжига. Процент водопоглощения менее 2,5% был достигнут при температуре обжига от 1000 до 1070 °С. Прочность при сжатии свыше 70 МПа была получена при температуре 950 °С и выше, а показатели прочности при изгибе - при обжиге в 900 °С и выше.

В качестве модификатора спекания использован раствор карбоната и хлорида лития. Этот раствор образуется при производстве химического волокна на Каменском заводе. Эти соли добавляются в состав керамической массы в виде раствора с концентрацией 28-32% во время увлажнения порошка перед прессованием. Эксперименты показали, что добавка данных солей лития в количестве 0,25-0,5% позволяет значительно снизить температуру обжига, придать изделиям насыщенный и разнообразный цвет [3].

Исходя из керамических свойств, можно сказать, что для представленных фракций отсеvов дробления песчаников наиболее приемлемым методом формовки изделий является компрессионное прессование.

Все вышеперечисленные исследования показывают, что отсеvy дробления песчаников являются перспективным сырьевым материалом для производства керамического кирпича с техническими характеристиками, удовлетворяющими действующим стандартам.

### **Список литературы**

1. Августиник А.И. Керамика / А.И. Августиник. – Л.: Стройиздат, 1975. – 592 с.
2. Лысенко Е.И. Технология керамических материалов и изделий / Е.И. Лысенко, А.В. Козлов. – Ростов-на/Д.: РГСУ, 1998. – 126 с.
3. Берман Р.З. Использование жесткого формования – метод реконструкции кирпичных заводов / Р.З. Берман // Строительные материалы. – 1995. – № 5. – С. 25-26.
4. ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2012. – 40 с.
5. Езерский В.А. Клинкер. Технология и свойства. / В.А. Езерский // - Строительные материалы. – 2011. – № 4. – С. 79-82.

**Сучкова Екатерина Андреевна, Мурсалимова Диана Рамилевна**  
**ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНОГО СВЯЗУЮЩЕГО НА СВОЙСТВА**  
**МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ**

*Казанский государственный архитектурно-строительный университет,  
кафедра ТСМИК, ул. Зеленая, 1, 420043*

*Научные руководители: Абдрахманова Ляйля Абдулловна, д.т.н., профессор;  
Хантимиров Аяз Габдрашитович, ассистент*

**Аннотация:** В статье приведены результаты исследований древесно-полимерных композитов на основе поливинилхлорида и полиэтилена, модифицированных комплексной добавкой. Добавка представляет собой гранулят. Показана эффективность применения гранулированной добавки для комплексного улучшения свойств композитов и увеличения их степени наполнения древесной мукой.

**Ключевые слова:** поливинилхлорид, полиэтилен, древесно-полимерный композит, профильно-погонажные изделия, экструзия.

За прошедшие несколько лет можно проследить тенденцию роста востребованности древесно-полимерных композитов на российском рынке. Древесно-полимерный композит (ДПК) - композиционный материал на основе термопластичных полимеров, органического наполнителя (древесной муки), и функциональных добавок [1].

Если говорить о видах продукции из ДПК, в основном это декинг, сайдинг, дверные и оконные профили, заборы и различные ограждающие профили [2]. Полиэтилен (ПЭ) и поливинилхлорид (ПВХ) являются наиболее распространенными полимерами в строительстве, причем на долю ПВХ приходится половина потребляемого объема. Однако конкретно в производстве древеснонаполненных композитов использование ПВХ сильно уступает ПЭ [3,4], что обусловлено низкой вязкостью расплава и низкой температурой переработки последнего.

Но ДПК на основе ПВХ характеризуется более высокими физико-механическими свойствами, в частности, высокой прочностью, стойкостью к горению, а также хорошей совместимостью со многими модификаторами [5,7,10].

Главной проблемой ДПК в целом является низкая адгезия между полимером и органическим наполнителем, что осложняет получение составов с высокой степенью наполнения [6].

Одним из путей решения данной проблемы является введение связующих агентов, усиливающих взаимодействие на границе полимер – древесная мука. Наибольшую эффективность в качестве связующих агентов в ДПК ранее показали углеродные нанотрубки [8,9,11].

Однако, на производствах зачастую применяют готовые к применению комплексные модификаторы, облегчающие переработку композиций и



улучшающие эксплуатационные свойства изделий. Такие модификаторы включают в себя связующие агенты, пластификаторы, стабилизаторы-смазки, антиоксиданты, светостабилизаторы и т.д.

Целью данной работы является изучение влияния полимерной матрицы на свойства модифицированных древесно-полимерных композитов.

Задачи исследования:

- сравнить эксплуатационные свойства базовых немодифицированных ДПК, имеющих одинаковые степени наполнения древесной мукой;
- оценить и сравнить влияние комплексной добавки на эксплуатационные свойства ДПК-ПВХ и ДПК-ПЭ.

В исследовании был использован составной стабилизирующий процессинговый комплекс СМ-1230, который состоит из 10% антиоксиданта Ирганокс, 10% антиоксиданта Иргафос, 50% монтанового воска и 30% многослойных углеродных нанотрубок.

Составы исследуемых композиций представлены в таблицах 1 и 2.

В таблице 3 представлены концентрационные зависимости прочности при изгибе. Видно, что данный показатель для ДПК-ПВХ в среднем в 1,5 раза выше, чем для ДПК-ПЭ. Однако для обеих полимерных матриц характерно повышение прочности в пределах 12-15% при введении комплексной добавки, что связано со структурирующим действием нанотрубок. При этом для композитов с концентрацией УНТ выше 0,4 м.ч. дальнейшего роста прочности не происходит, что обусловлено влиянием большого количества монтанового воска как смазки в составе процессингового комплекса, что ограничивает взаимодействие нанотрубок с полимером.

Таблица 1

#### Составы композиций ДПК на основе ПВХ

Компоненты	Содержание, м.ч.						
ПВХ марки С 7059-М	100						
Модификатор удара FM-50	7						
Стабилизатор-смазка Стеарат кальция	3	-					
Термостабилизатор ДОСС	5						
Древесная мука М180	50						
СМ-1230, в том числе:	-	1,3	2,6	5,3	16	26,7	53,3
МУНТ	-	0,4	0,8	1,6	4,8	8	16

Таблица 2

#### Составы композиций ДПК на основе ПЭ

Компоненты	Содержание, м.ч.						
ПЭНД марки ПЭ2НТ11-285Д	100						
Древесная мука М180	50						
СМ-1230, в том числе:	-	1,3	2,6	5,3	16	26,7	53,3
МУНТ	-	0,4	0,8	1,6	4,8	8	16

**Прочность при изгибе, водопоглощение и средняя плотность образцов ДПК-ПВХ и ДПК-ПЭ**

Концентрация МУНТ, м.ч	Прочность при изгибе, МПа		Водопоглощение, %		Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	
	ДПК-ПВХ	ДПК-ПЭ	ДПК-ПВХ	ДПК-ПЭ	ДПК-ПВХ	ДПК-ПЭ
0	50	33	1,68	3,05	1,16	1,01
0,4	57	35	1,62	0,82	1,23	1,05
0,8	57	35	1,42	0,81	1,23	1,05
1,6	56	34	1,45	0,79	1,19	1,06
4,8	54	34	1,42	0,82	1,19	1,19
8	55	35	1,36	0,55	1,22	1,11
16	57	37	0,96	0,62	1,28	1,12

Базовый композит на основе ПВХ показывает практически в 2 раза меньшее водопоглощение по сравнению с базовым полиэтиленовым ДПК. Однако небольшое количество УНТ 0,4 м.ч. резко уменьшает данный показатель практически в 4 раза для ДПК-ПЭ, а для ДПК-ПВХ характерно плавное пропорциональное снижение водопоглощения по мере увеличения содержания добавки и, соответственно, гидрофобного монтажного воска.

Средняя плотность образцов для ДПК-ПВХ выше, что связано с более высокой плотностью самого полимера и лучшей совместимостью с древесной мукой по сравнению с ПЭ. При введении комплексной добавки плотность возрастает для всех типов композиций, что в целом коррелирует с данными по прочности при изгибе и водопоглощению.

#### **Заключение**

1. Были получены древесно-полимерные композиты с одинаковой степенью наполнения древесной мукой 50 м.ч. Выявлено, что для получения высоких эксплуатационных свойств базовых немодифицированных ДПК более целесообразной является матрица на основе ПВХ.

2. По результатам исследований оптимальным содержанием УНТ в составе комплексной процессинговой добавки СМ-1230 для ДПК на основе ПВХ является 0,8 м.ч., для ДПК-ПЭ - 0,4 м.ч. Выбор данных концентраций обусловлен комплексным анализом полученных свойств композитов.

#### **Список литературы:**

1. Клесов А.А. Древесно-полимерные композиты // СПб: Научные основы и технологии. - 2007. - 736 с
2. Никольская В. Дополнительная нагрузка для ДПК / В. Никольская // ЛесПром Информ. - 2021. - Т. 157, № 3. - С. 80-86.
3. Хузиахметова К.Р. Структура смесей полимеров на основе поливинилхлорида / К. Р. Хузиахметова, Л. А. Абдрахманова, Р. К. Низамов, Л. И. Потапова // Известия Казанского государственного архитектурно-

строительного университета. - 2022. - № 3(61). - С. 82-89. - DOI 10.52409/20731523\_2022\_3\_82.

4. Хантимиров А.Г. Влияние модификации на долговечность поливинилхлоридных древесно-полимерных композитов / А.Г. Хантимиров, А.М. Сулейманов, Л.А. Абдрахманова Р.К. Низамов, О.В. Хохряков // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. - 2023. - № 3(65). - С. 26-35. - DOI 10.52409/20731523\_2023\_3\_26.

5. Мусин И.Н., Файзуллин И.З., Новокшенов В.В., Вольфсон С.И. Влияние полимерного связующего на свойства древесно-полимерных композитов // Вестник Казанского технологического университета. - 2014. - Т. 17, № 14. - С. 306-309.

6. Тихонов Н.Н. Исследование в области разработки новых материалов на основе ПВХ, наполненного отходами деревообрабатывающей промышленности // Пластические массы. - 2000. - № 9. - С. 41-43.

7. Хузиахметова К.Р., Исламов А.М., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К. Композиции на основе смеси полимеров поливинилхлорид/акрилонитрил-бутадиен-стирол и базальтовых волокнистых наполнителей // Известия высших учебных заведений. Строительство. - 2022. - № 6(762). - С. 46-55. - DOI 10.32683/0536-1052-2022-762-6-46-55.

8. Запороцкова И.В., Крутояров А.А., Поликарпова Н.П. Теоретические исследования полимерных нанокомпозитов на основе полиэтилена, полипропилена и поливинилхлорида, армированных углеродными нанотрубками // Перспективные материалы. - 2015. - № 3. - С. 5-12.

9. Исламов А.М. Поверхностная модификация поливинилхлорида водной коллоидной дисперсией графеновых нанопластинок / А.М. Исламов, В.Х. Фахрутдинова, Л.А. Абдрахманова, К.И. Закирова // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. - 2021. - № 2(56). - С. 13-21. - DOI 10.52409/20731523\_2021\_2\_13.

10. Khuziakhmetova K., Abdrakhmanova L., Nizamov R., Islamov A. Polyvinyl Chloride Compounds for Construction Industry // Proceedings of STCCE: Lecture Notes in Civil Engineering, Kazan, 21–29 апреля 2022 года. Switzerland: Springer Nature. - 2022. - Vol. 291. - P. 191-200. - DOI 10.1007/978-3-031-14623-7\_16.

11. Skorczewska K., Tomaszewska J., Piszczek K. Influence of MWCNT on the Processing Properties and Structure of PVC Composites // Macromolecular Symposia. - 2018. - DOI: 10.1002/masy.201600177.

**Сяо Вэньсюй**

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНОГО  
КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО**

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Научный руководитель: д.т.н., проф. Лесовик Р.В.*

## Аннотация

Густонаселенные регионы мира (например, Китай) характеризуются снижением иммунитета населения, что подтвердила мировая пандемия коронавируса, начавшаяся в КНР. Весомый вклад в снижение иммунитета вносит шумовая агрессия, характерная для этих регионов, специфика которой заключается в комплексности ее акустических характеристик. Для защиты от такой сложной шумовой агрессии перспективным представляется использование строительных материалов, эффективных с позиции поглощения и отражения звуковых колебаний широкого диапазона, для производства строительных изделий и конструкций. Современные представления о создании подобного класса материалов опираются на фундаментальные трансдисциплинарные положения и направлены на формирование сети сообщающихся открытых пор, что достаточно эффективно может быть реализовано в газобетоне.

**Ключевые слова:** фибра; фасад; химия; покрытие; энергоэффективность, строительства; материал.

Портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н был выбран в качестве вяжущего, а зола-уноса - в качестве минерального наполнителя. В результате, КВ были получены путем совместного помола этих компонентов в вихревой мельнице. В процессе совместного измельчения компонентов осуществлялось варьирование количеством пропусков КВ через мельницу (по 30 минут), а также процентное соотношение выбранных компонентов. Физико-механические свойства цементного камня на композиционном вяжущем определялись на 7 и 28 сутки на кубических образцах, твердевших в естественных температурно-влажностных условиях (таблица 1). Контрольным образцом выступал бездобавочный цемент, пропущенный через вихревую установку 0, 1 и 2 раза.

Таблица 1 - Результаты испытаний образцов композиционных вяжущих

Состав	Компоненты вяжущего		Кол-во пропусков	НГ	R <sub>сж</sub> , 7 сут., МПа	R <sub>сж</sub> , 28 сут., МПа	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Сроки схватывания, МИН		S <sub>уд</sub> , м <sup>2</sup> /кг
	ПЦ	ЗУ						начало	конец	
1	100	0	0	28	39	53	2100	160	260	300
2	80	20	1	32	41	61	2200	170	270	500
3	80	20	2	33	39	60	2100	175	280	560
4	80	20	3	35	38	58	2150	180	295	640
5	100	0	1	28	32	55	2100	160	260	550
6	70	30	1	33	42	68	2100	180	260	500
7	70	30	2	35	40	65	2050	185	295	550
8	70	30	3	37	38	63	2100	190	305	620
9	100	0	2	28	30	42	2100	160	260	620
10	60	40	1	34	42	66	2100	180	290	500
11	60	40	2	37	30	49	2200	185	310	550
12	60	40	3	40	25	45	2150	195	325	580

Из рисунка 1 можно сделать вывод, что при увеличении содержания золы-уноса в компонентах, проходящих через вихревую мельницу, удельная поверхность КВ незначительно снижается. Это означает, что добавление золы-уноса не оказывает существенного влияния на поверхностные характеристики компонентов, обрабатываемых вихревой мельницей, при сохранении одинакового количества пропусков через нее.

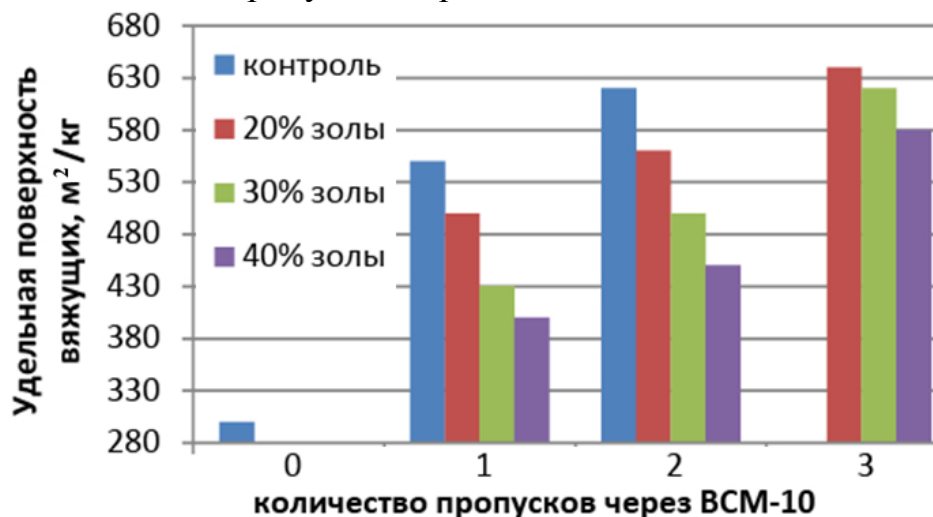


Рисунок 1 – Зависимости  $S_{уд}$  КВ от количества пропусков через вихревую мельницу при различном содержании золы-уноса

Зола-уноса повышает нормальную густоту цементного теста (рисунок 2), в связи с тем, что она имеет повышенную водоудерживающую способность.

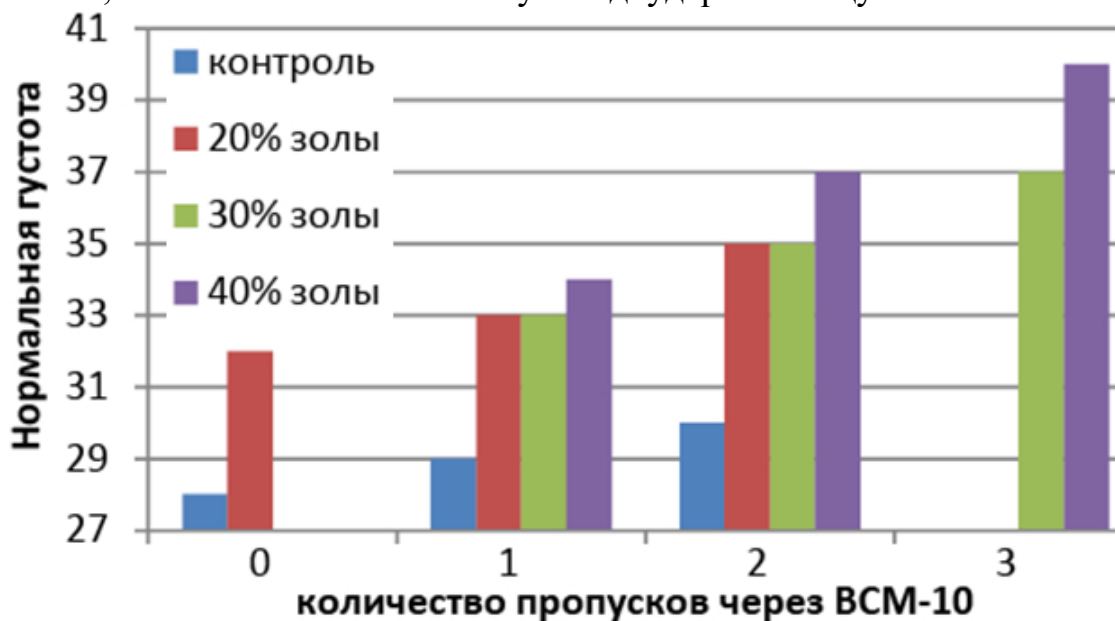


Рисунок 2 – Зависимость НГ КВ от количества пропусков через вихревую мельницу при различном содержании золы-уноса

Сроки схватывания композиционных вяжущих также закономерно повышаются с ростом дозировки золы-уноса и удельной поверхности КВ (рисунки 3-4).

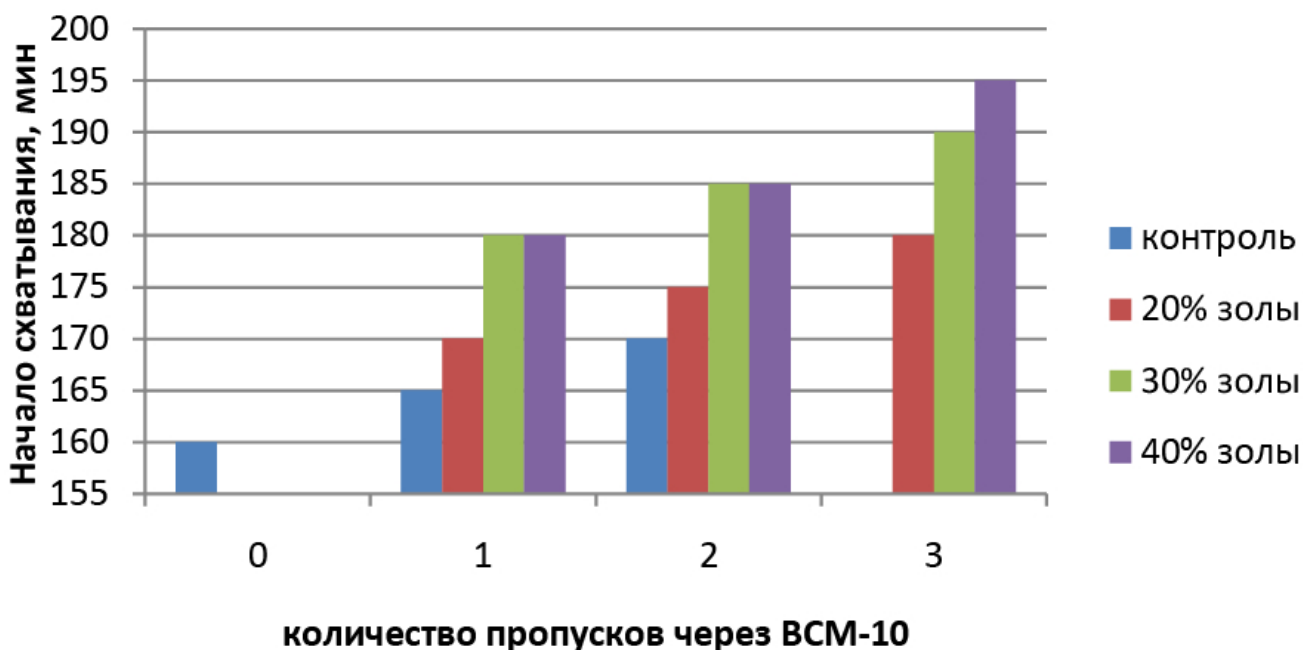


Рисунок 3– Зависимости начала схватывания образцов КВ от количества пропусков через установку ВСМ-10 при различном содержании золы-уноса

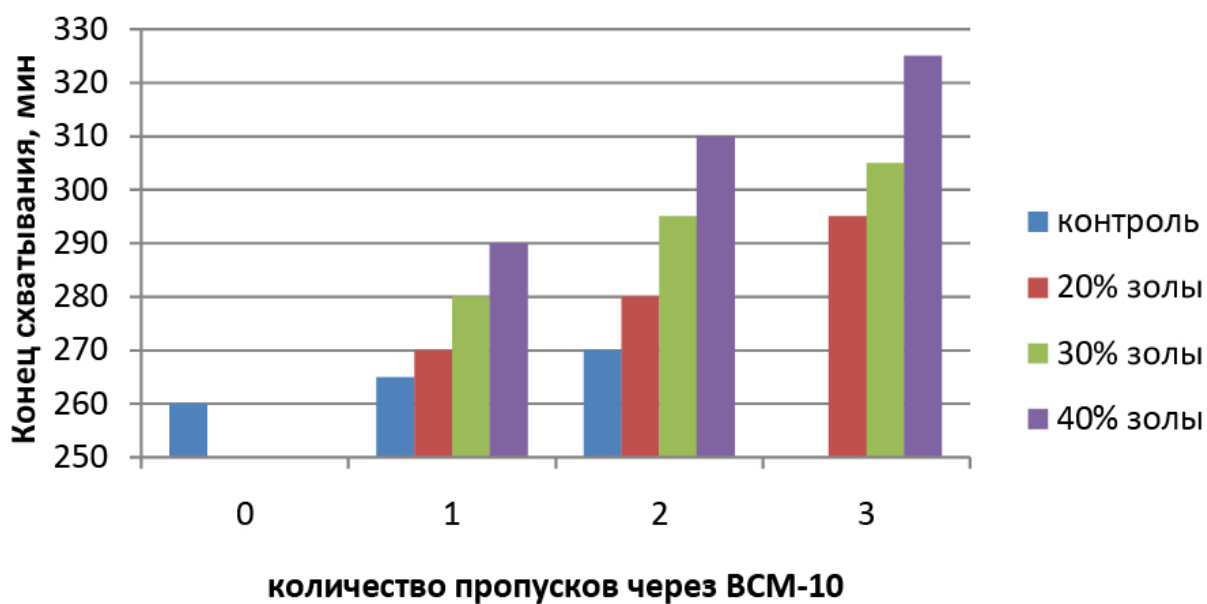


Рисунок 4 – Зависимости конца схватывания образцов КВ от количества пропусков через установку ВСМ-10 при различном содержании золы-уноса

Наибольшие значения прочности на сжатие выявлены у составов, содержащих 30% золы-уноса и пропущенных через вихревую мельницу 1-3 раза – до 68 МПа (рисунки 5-6).  $S_{уд}$  рациональных КВ составляет 500 м<sup>2</sup>/кг и для этого достаточно пропустить компоненты через установку один раз. В этом случае нормальная густота составляет 33.

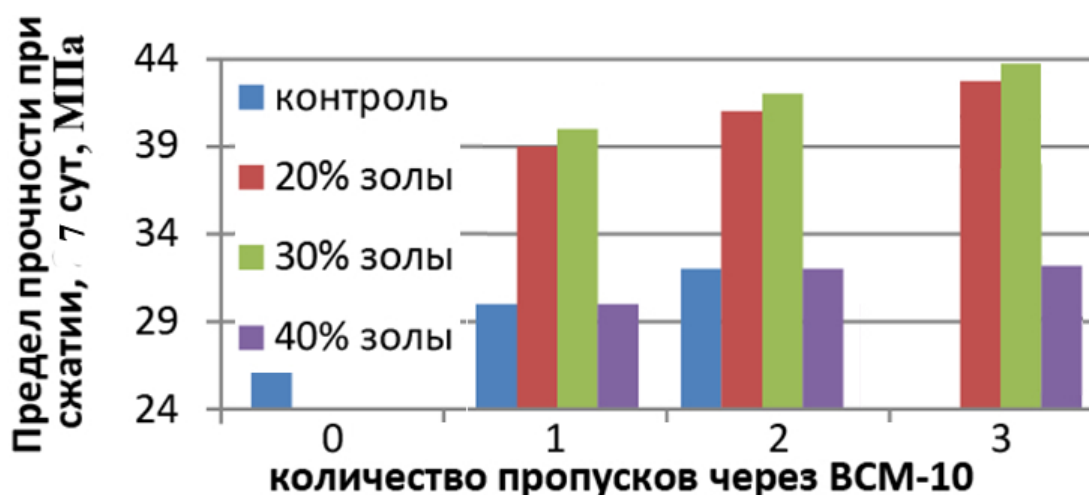


Рисунок 5 – Зависимость прочности на сжатие на 7 сутки КВ от количества пропусков через вихревую мельницу при различном содержании золы-уноса

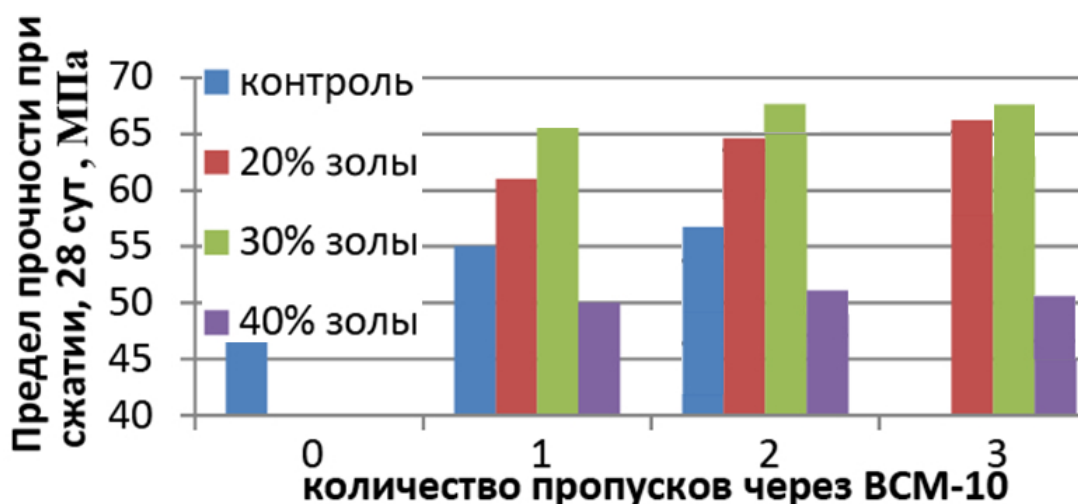


Рисунок 6 – Зависимости предела прочности на сжатие образцов КВ от количества пропусков через установку ВСМ-10 при различном содержании золы-уноса в составах вяжущих (28 сут)

Выявлено, что зола-уноса ТЭЦ Китайской народной республики показала свою эффективность как минеральная добавка в КВ, позволяя получить композиты с высокими физико-механическими свойствами. Выявлено рациональное содержание золы-уноса в составах КВ (30%) и их рациональная удельная поверхность –  $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ , достигаемая пропуском КВ в вихревой мельнице 1 раз. В результате минимизируется энергоёмкость производства композиционных вяжущих с обеспечением максимальной эффективности (нормальная плотность - 33, начало схватывания - 180 мин., конец схватывания - 280 мин.,  $R_{сж}^7=43 \text{ МПа}$ ,  $R_{сж}^{28}=68 \text{ МПа}$ ).

### Список литературы

1. Wencai Zhao, Jiang Zhang, Jinxing Lai, Xinghao Shi, Zexin Xu. Skid resistance of cement concrete pavement in highway tunnel: A review // Construction

and Building Materials. Volume 406, 24 November 2023, 133235. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133235>

2. Murali G., Fediuk R. A Taguchi approach for study on impact response of ultra-high-performance polypropylene fibrous cementitious composite // Journal of Building Engineering. 2020. Т. 30. С. 101301.

3. Терлецкий И.А., Фершалов Ю.Я. Физические основы процессов горения // Учебное электронное издание / Владивосток, 2016.

4. Abid S.R., Ali S.H., Kadhum A.L., Al-Gasham T.S., Gunasekaran M., Fediuk R., Vatin N., Karelina M. Impact performance of steel fiber-reinforced self-compacting concrete against repeated drop weight impact // Crystals. 2021. Т. 11. № 2. С. 1-17.

5. Amran M., Fediuk R., Abdelgader H.S., Murali G., Ozbakkaloglu T., Lee Y.H., Lee Y.Y. Fiber-reinforced alkali-activated concrete: a review // Journal of Building Engineering. 2022. Т. 45. С. 103638.

6. Fediuk R., Mochalov A., Timokhin R. Review of methods for activation of binder and concrete mixes // AIMS Materials Science. 2018. Т. 5. № 5. С. 916-931.

7. 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.

8. Amran M., Al-Fakih A., Haruna S., Chu S.H., Fediuk R., Azevedo A., Vatin N. Long-term durability properties of geopolymer concrete: an in-depth review // Case Studies in Construction Materials. 2021. Т. 15. С. e00661.

**Федюк Роман Сергеевич<sup>1,2</sup>, Юдаков Александр Алексеевич<sup>2</sup>**  
**ХИМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ФИБРОАРМИРОВАННЫХ**  
**СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*<sup>1</sup>Дальневосточный федеральный университет*

*<sup>2</sup>Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук*

**Аннотация**

В последние годы в зарубежной практике все большее использование находят фиброармированные материалы с применением синтетических волокон, высокопрочных и коррозионностойких в разных средах. Фибра из синтетических волокон дешевле и более химически стойкая. Однако синтетическое волокно характеризуется повышенной деформативностью. Модуль упругости таких волокон не превышает  $\frac{1}{4}$  модуля упругости обычных бетонов, поэтому синтетические волокна не могут выполнять роль несущей арматуры для бетона, но весьма эффективны для отделочных покрытий.

**Ключевые слова:** фибра; фасад; химия; покрытие; энергоэффективность, строительства; материал.

Эффективными с позиций обеспечения повышения прочности и долговечности цементных материалов, в том числе при химических и температурных воздействиях, являются углеродные волокна, но они значительно



увеличивают себестоимость бетона. В последние годы за рубежом начали использовать текстильбетон, армированный тканями и сетками из хлопковых, стеклянных, вискозных и других волокон [1]. Стеклофибробетон с использованием непрерывных волокон характеризуется повышенной стойкостью к коррозионным средам по сравнению со сталефибробетоном. Но существенным недостатком стеклянных волокон является использование дорогих сырьевых материалов при его производстве. Кроме того, волокно из обычного стекла разрушается под действием щелочной среды цементного камня, поэтому необходимо использовать специальное, щелочестойкое стекло или применять способы для защиты от коррозионного разрушения (использование глиноземного цемента, введение добавок для связывания щелочей, пропитка бетона полимерами) что приводит к увеличению себестоимости композита [2].

Одна из эффективных разновидностей минеральных волокон для дисперсного армирования цементных материалов – базальтовая фибра, она характеризуется высокой прочностью. Базальтофибробетон обладает повышенной прочностью при всех напряженных состояниях и способен выдерживать значительные деформации в упругом состоянии. При этом относительная деформация цементного камня без образования трещин достигает 0,7-0,9 %, что в 35-45 раз превышает граничное удлинение неармированного камня. Значительное увеличение деформации и прочности цементного камня происходит за счет устранения базальтовыми волокнами влияния концентрации напряжений в местах, ослабленных структурными дефектами (раковинами, микротрещинами). Базальтовое волокно химически инертное, не вступает в реакцию с антигололедными реагентами [3].

Определение оптимальных диаметров базальтовой фибры для получения армированных отделочных покрытий, связано как с технологическими вопросами приготовления качественных базальтофибробетонных смесей, так и химическими процессами взаимодействия продуктов гидратации вяжущего с фиброй. Установлено, что оптимальный диаметр базальтовой фибры должен быть в интервале 15-200 мкм. Изучение химических процессов, протекающих при взаимодействии твердеющего портландцемента с базальтовой фиброй, дает возможность более точно подойти к объяснению физико-механических свойств базальтофибробетона. Основным компонентом базальтовой фибры является  $\text{SiO}_2$ , содержание которого в волокне составляет в среднем 50% [4]. Базальтовая фибра представляет собой аморфное вещество, что позволяет объяснить его особенности, такие как отсутствие у него строго определенной температуры плавления, повышенную химическую активность и некоторые другие [5].

В связи с этим перспективно применение базальтового волокна, практически еще не применяемого в цементных бетонах. По прочности оно превосходит сталь, и обладает, за счет малого диаметра волокон (9-12 мкм), гораздо большей удельной поверхностью сцепления с цементным камнем, чем стальное, имея с ним химическое сродство. При этом относительное удлинение при разрыве базальтовой фибры в два раза ниже, чем стальной, что позволяет ей

более эффективно препятствовать образованию микротрещин в бетоне при нагружении [6].

Производство базальтофибробетона (БФБ), изделий и конструкций на его основе регламентируется ВСН 56-97. Для получения базальтофибробетона чаще всего предусматривается использовать конструкционный мелкозернистый бетон со средней плотностью не менее  $2000 \text{ кг/м}^3$  на кварцевом песке с крупностью зерен от 1,5 мм до 2,3 мм. Бетон должен иметь водопоглощение не более 8 % по массе [7-8].

Вместе с тем, по ряду вопросов дисперсного армирования бетонов наметились определенные разногласия. При применении сталефибробетона одни исследователи считают наиболее эффективной фибру, диаметр которой не превышает 0,7 мм, в то время как другие применяют более крупные стальные волокна. Нет единого мнения в оценке влияния дисперсного армирования на прочность бетона при сжатии и осевом растяжении. Расходятся взгляды специалистов и по вопросам перспективы использования низко модульных, в том числе полимерных волокон в тяжелых бетонах.

Использование минеральных, в частности базальтовых волокон, для дисперсного армирования фибробетонов является актуальным в связи с высокими физико-механическими свойствами единичных базальтовых волокон и более низкой плотностью этих волокон по сравнению со стальными. Однако механизм действия минеральных базальтовых волокон на структурообразование фибробетонов достаточно сложен, и много исследователей отмечают различные эффекты и уровни армирования при использовании базальтовых волокон, полученных разными способами [1-8]. В целом можно отметить, что базальтовые волокна по причине их химического сродства с цементом, необходимо защитить от негативного воздействия щелочной среды для сохранения эффекта дисперсного армирования фибробетонов.

Авторы [1-3] предложили принцип повышения эффективности мелкозернистого цементобетона, микроармированного базальтовой фиброй, заключающийся в повышении щелочестойкости базальтового волокна путем его термической обработки при  $500^\circ\text{C}$ . В результате выявлен характер зависимости свойств цементобетона от способа введения термообработанного волокна и вида пластификатора. Наиболее эффективным является предварительное распушение волокна в воде затворения в присутствии нафталин-формальдегидного суперпластификатора с дальнейшим введением суспензии в формовочную смесь. Адсорбция пластификатора на поверхности фибры приводит к гидрофилизации ее поверхности, что способствует равномерному распределению волокна по объему смеси и, как следствие, повышению прочности бетона (рис. 1).

Равномерное распределение базальтового волокна в традиционных смесителях и без применения специальных способов невозможно. Отработана [1-8] технология приготовления мелкозернистой бетонной смеси с базальтовым волокном при использовании скоростного турбулентного смесителя с вертикальным перемешиванием. Установлены оптимальная последовательность

введения компонентов смеси и режимы перемешивания, при которых достигаются равномерное и однородное распределение волокна по объему цементно-песчаной матрицы. На границе цементного камня и базальтового волокна, находящегося в аморфном состоянии, происходит хемосорбционное взаимодействие с появлением дополнительных новообразований, относящихся к низкоосновным гидросиликатам кальция.



Рисунок 1 – Базальтовая фибра для бетона

Среда гидратирующегося портландцемента является активной щелочной средой ( $\text{pH} = 13$  и более). Это определяет влияние такой среды на армирующие волокна. Продукты гидратации портландцемента надежно предохраняют от коррозии металлическую арматуру, но оказываются достаточно агрессивными по отношению к любым видам минеральных (стеклянных, базальтовых) волокон. С химической точки зрения, основным компонентом жидкой фазы твердеющего портландцемента, определяющим в основном ее влияние на армирующие волокна, является гидроксид кальция, активно взаимодействующий с компонентами базальтового волокна. При решении вопросов применения ПЦ для дисперсноармированных бетонов важное значение имеет определение оптимальных соотношений между фазами алита и белита в цементном вяжущем.

Приведенные данные относительно позитивного влияния базальтовой фибры как структурирующей добавки в сухие строительные смеси являются интересными, однако исследований о влиянии базальтовой фибры на структурообразование цементных материалов явно недостаточно.

## Список литературы

1. Wencai Zhao, Jiang Zhang, Jinxing Lai, Xinghao Shi, Zexin Xu. Skid resistance of cement concrete pavement in highway tunnel: A review // *Construction and Building Materials*. Volume 406, 24 November 2023, 133235. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133235>
2. Murali G., Fediuk R. A Taguchi approach for study on impact response of ultra-high-performance polypropylene fibrous cementitious composite // *Journal of Building Engineering*. 2020. Т. 30. С. 101301.
3. Терлецкий И.А., Фершалов Ю.Я. Физические основы процессов горения // Учебное электронное издание / Владивосток, 2016.
4. Abid S.R., Ali S.H., Kadhum A.L., Al-Gasham T.S., Gunasekaran M., Fediuk R., Vatin N., Karelina M. Impact performance of steel fiber-reinforced self-compacting concrete against repeated drop weight impact // *Crystals*. 2021. Т. 11. № 2. С. 1-17.
5. Amran M., Fediuk R., Abdelgader H.S., Murali G., Ozbakkaloglu T., Lee Y.H., Lee Y.Y. Fiber-reinforced alkali-activated concrete: a review // *Journal of Building Engineering*. 2022. Т. 45. С. 103638.
6. Fediuk R., Mochalov A., Timokhin R. Review of methods for activation of binder and concrete mixes // *AIMS Materials Science*. 2018. Т. 5. № 5. С. 916-931.7. Лесовик В.С., Федюк Р.С. Теоретические предпосылки создания цементных композитов повышенной непроницаемости // *Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии*. 2016. № 1 (47). С. 65-72.8. Amran M., Al-Fakih A., Haruna S., Chu S.H., Fediuk R., Azevedo A., Vatin N. Long-term durability properties of geopolymer concrete: an in-depth review // *Case Studies in Construction Materials*. 2021. Т. 15. С. e00661.

Шаронова О.М.<sup>1</sup>, Добросмыслов С.С.<sup>2</sup>, Аншиц А.Г.<sup>1</sup>

## СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФРАКЦИЙ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ ЛЕТУЧИХ ЗОЛ РАЗНОЙ ДИСПЕРСНОСТИ И СОСТАВА

<sup>1</sup> *Институт химии и химической технологии СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН», 660036, Красноярск, Академгородок 50/24*

<sup>2</sup> *Сибирский федеральный университет, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79*

**Аннотация.** Исследование свойств цементных растворов и цементного камня выполнено на основе 4-х фракций (*Fr1–Fr4*) высококальциевых летучих зол (ВКЛЗ), селективно отобранных на 1–4 полях электрофильтров установки золоулавливания Красноярской ТЭЦ-2. Определены параметры растекаемости зольных растворов, приготовленных из 100 % каждой из фракций и цементно-зольных растворов с замещением цемента на 50 и 20 % ЛЗ при соотношении вода/связующее = 0.5. Определена средняя плотность и прочность на сжатие этих образцов при твердении от 2 до 150 суток.

**Ключевые слова:** композитный цемент, высококальциевая летучая зола, растекаемость, прочность на сжатие

Применение летучих зол (ЛЗ) теплоэнергетики в качестве компонентов композитных цементов не только способствует утилизации зол, но и может оказывать значительное влияние на технологические характеристики цементных растворов и цементного камня, а также на степень замещения портландцемента летучими золами. Эффективность применения летучих зол значительно различается в зависимости от их состава и дисперсности. В случае алюмосиликатных ЛЗ улучшается растекаемость цементных растворов и долговременная прочность цементного камня. Для высококальциевых ЛЗ, наряду с этим, увеличивается ранняя прочность.

В практическом плане наиболее перспективными для использования являются ЛЗ, отобранные на разных полях электрофильтров установок золоулавливания, поскольку они представляют собой дисперсные продукты, в значительной мере стабилизированные по фракционному, химическому и фазовому составу по сравнению с золами золоотвалов [1]. Изучение влияния таких зольных продуктов на свойства цементных растворов и материалов является весьма актуальным, особенно для высококальциевых ЛЗ.

Целью данной работы является исследование свойств цементных материалов на основе разных фракций высококальциевых ЛЗ, включая параметры растекаемости и плотности растворов, плотности и прочности цементного камня.

#### **Объекты и методы**

Объектами исследования были четыре фракции (*Fr1-Fr4*) высококальциевых ЛЗ, полученных при пылевидном сжигании бурого угля марки Б2 и отобранных с каждого из 4-х полей электрофильтров Красноярской ТЭЦ-2. Сжигание угля осуществлялось в котлоагрегатах марки БКЗ-420 при температуре 1400-1500°C с жидким шлакоудалением, выход летучей золы и шлака – 65% и 35%, соответственно. В работе использованы также портландцемент ЦЕМ I 42,5Н (ПЦ) по ГОСТ 31108-2016 и портландцемент тампонажный ПЦТ-I-G-СС-1 (ПЦТ) по ГОСТ 1581-2019 Красноярского цементного завода.

Для фракций *Fr1-Fr4* определены распределение по размерам частиц, удельная поверхность, химический и фазовый состав, детально описанные в работах [2, 3]. Фракции значительно отличаются по размерам частиц – в ряду фракций от *Fr1* до *Fr4* величина  $d_{90}$  снижается от 40 до 10 мкм и  $d_{50}$  – от 13 до 4 мкм и состоят из микросфер разного состава и морфологии,. Фракции имеют достаточно близкий химический состав [2]: сумма 5-ти компонентов ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ) составляет  $94,06 \pm 0,08$  %, среди них преобладает  $\text{CaO}$  (от 40 до 46 %), содержится достаточно много  $\text{SiO}_2$  (от 21 до 28 %) и существенно меньше  $\text{Al}_2\text{O}_3$  от 4 до 7,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  от 12 до 14 и  $\text{MgO}$  от 8 до 10 %. Более существенные отличия наблюдаются в фазовом составе – от *Fr1* к *Fr4*

содержание стеклофазы возрастает от 19 до 42 %, а содержание свободных оксидов убывает – для фазы CaO от 23,5 до 4,2% и MgO от 9,3 до 5,7% [3].

### Свойства цементных растворов и цементного камня

Цементные растворы приготовлены на основе 100% каждой из 4-х фракций ЛЗ при отношении вода: связующее  $V/C=0,5$ , а также в смеси с ПЦ при содержании каждой из фракций 50 и 20%. Для сравнения в аналогичных условиях были приготовлены цементные растворы на основе 100% ПЦ и 100% ПЦТ.

Из данных рис. 1 следует, что растекаемость ( $F$ ) растворов на основе 100% ЛЗ радикально снижается (от 261 до 70 мм) при переходе от  $Fr1$  к  $Fr4$ . При этом величина  $F$  коррелирует с удельной поверхностью фракций ЛЗ и описывается уравнением линейной регрессии  $F=364-125 \cdot S_{уд}$  с коэффициентом корреляции  $r = -0,9996$ . При этом, для раствора на основе 100% ПЦ величина  $F$  находится существенно ниже этой корреляции. Основным фактором, обеспечивающим значительно более высокую растекаемость зольных растворов, является сферическая форма зольных частиц.

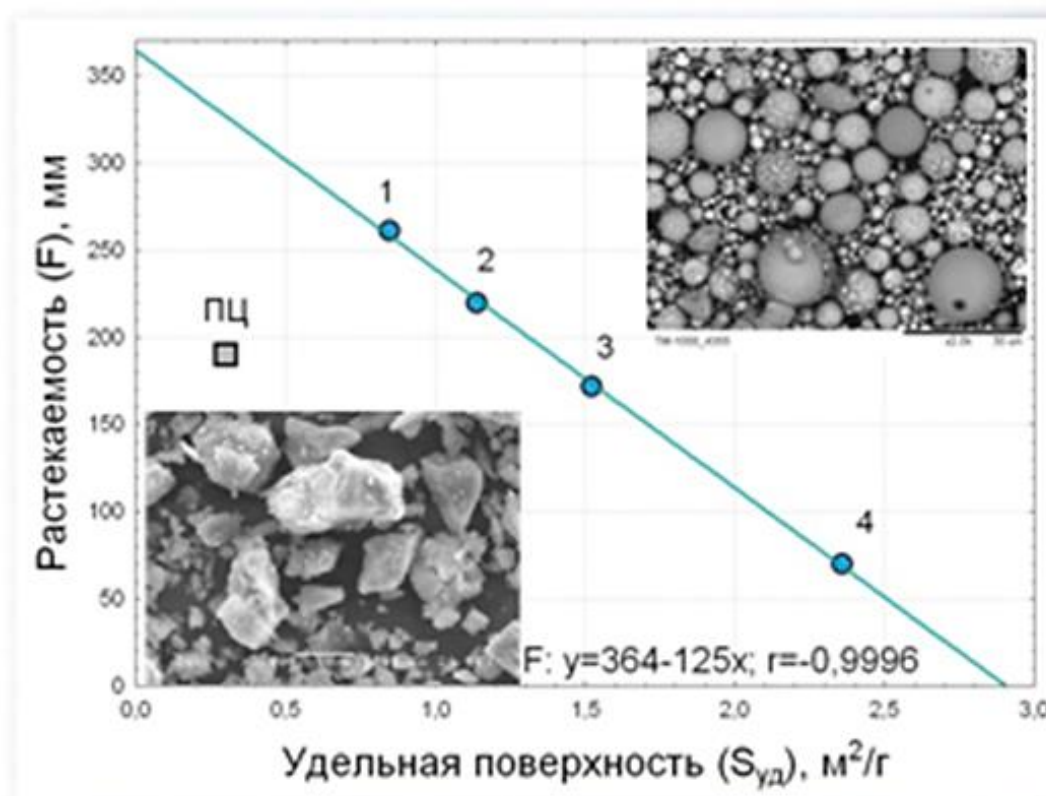


Рисунок 1. Растекаемость ( $F$ ) зольных, цементно-зольных и цементных растворов.

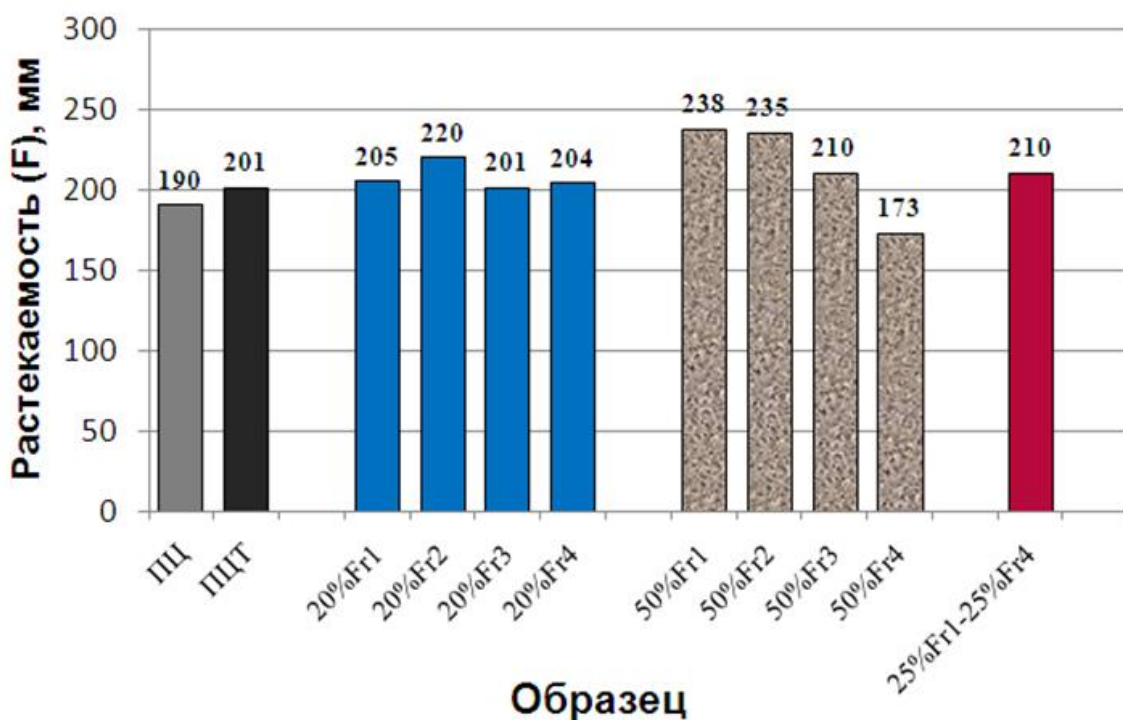


Рисунок 2. Величина растекаемости (F) для растворов на основе 100% ЦЕМ I 42,5Н (ПЦ), тампонажного ПЦТ-I-G-CC-1 (ПЦТ) и цементно-зольных растворов

Для цементно-зольных растворов с содержанием 20% ЛЗ каждой из 4-х фракций величина F очень близка 200-210 мм (рис. 2), в то время как при содержании 50% ЛЗ эта величина снижается от 238 до 173 мм от 50%Fr1 до 50%Fr4. При этом в образце, содержащем по 25% Fr1 и Fr4 величина F составляет 210 мм, что приводит к выводу о перспективности оптимизации смесей разных фракций для улучшения параметра растекаемости, что особенно важно, например, для тампонажных цементов [2].

В процессе твердения возрастает средняя плотность образцов, выполненных в виде кубиков 20x20x20 мм. При этом для каждого состава исследуемых образцов существует индивидуальная зависимость возрастания плотности от времени твердения от 2 до 150 суток [3]. Например, для образцов на основе 100%-ных фракций ЛЗ плотность значительно увеличивается в ряду от Fr1 (1,2-1,28 г/см<sup>3</sup>) до Fr4 (1,67 -1,78 г/см<sup>3</sup>) [3]. Похожая тенденция, но в более узком интервале изменений, наблюдается для цементно-зольных составов с содержанием 20% ЛЗ – увеличение плотности происходит от 1,63-1,75 г/см<sup>3</sup> для образца 20%Fr1 до 1,8-1,86 г/см<sup>3</sup> для образца 20%Fr4.

Увеличение плотности со временем твердения происходит в результате физико-химических превращений исходного вяжущего материала при взаимодействии с водой. В результате образуются прочные структуры гидратных соединений в пространстве, первоначально заполненном водой. Активность в гидратации возрастает с увеличением дисперсности вяжущего материала, т.е. в ряду Fr1>Fr2>Fr3>Fr4. Другим фактором уменьшения плотности отвержденных образцов является образование гидроксидов Ca(OH)<sub>2</sub> и

$Mg(OH)_2$  при гидратации свободных  $CaO$  и  $MgO$ , занимающих в 2 раза больший объем, а также образования сульфоалюминатов кальция типа этtringита  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$  из алюминатов и сульфата кальция с объемом в 2,2 раза больше исходных веществ. Поэтому увеличение содержания фаз  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $CaSO_4$  может также способствовать снижению плотности во фракциях  $Fr1$  и  $Fr2$ .

Прочность цементного камня ( $\sigma_{сж}$ ) значительно возрастает в ряду  $Fr1 > Fr2 > Fr3 > Fr4$ . В частности, для 100%-ных образцов ЛЗ величина  $\sigma_{сж}$  возрастает от 2,4 до 18 МПа [2], при содержании 20% ЛЗ – от 18 до 31 МПа при 28 сутках твердения (рис. 3). Из данных рис. 3 также следует, что прочность образцов с 50% каждой из фракций  $Fr1$  и  $Fr4$  различается почти в 3 раза, однако для образца  $50\%Fr4$  неприемлема величина растекаемости (173 мм). Положительный эффект на величину прочности с одновременным улучшением величины  $F$  (210 мм) наблюдается для образца  $25\%Fr1-25\%Fr4$  (рис. 2 и 3).

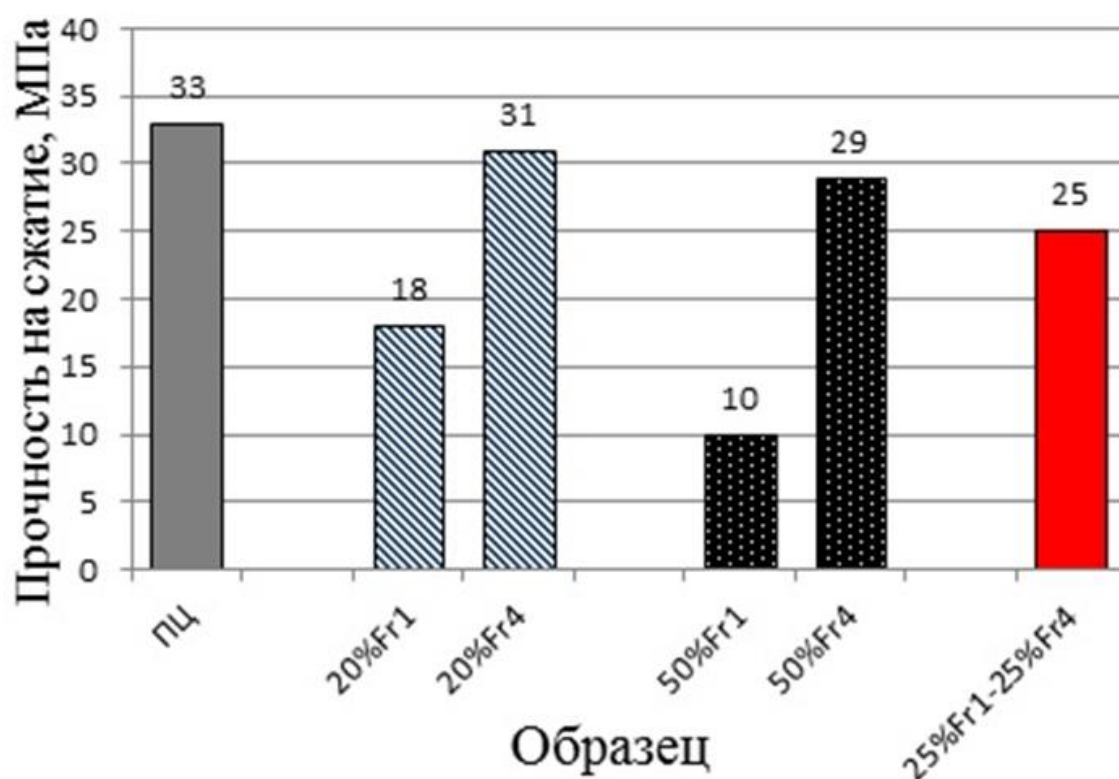


Рисунок 3. Прочность на сжатие для образцов на основе 100% ЦЕМ I 42,5Н (ПЦ), и цементно-зольных с содержанием 20 и 50% Fr1, Fr4 и их смеси по 25% на 28-ые сутки твердения

### Заключение

Таким образом, выполнены исследования четырех промышленных фракций высококальциевых летучих зол ( $Fr1-Fr4$ ) в качестве компонента цементных материалов. Определены составы композитных цементов в интервале содержания зольных фракций 20-100%, удовлетворяющих критерию по растекаемости цементных растворов. Установлено, что плотность и прочность на сжатие цементного камня возрастают в ряду  $Fr1 > Fr2 > Fr3 > Fr4$ .



### **Список литературы**

1. Sharonova O. M., Yumashev V. V., Solovyov L. A., Anshits A. G. The fine high-calcium fly ash as the basis of composite cementing material // *Mag.Civ. Eng.* - 2019. - Vol. 91. - P. 60-72.

2. Дубровин Д. Ф., Шаронова О. М., Добросмыслов С. С., Аншиц А. Г. Влияние замещения цемента высококальциевыми летучими золами на свойства тампонажного раствора // *Экология и промышленность России.* - 2023. – Т. 27.- № 6. - С. 43–49.

3. Dubrovin D.F., Sharonova O.M., Dobrosmyslov S.S., Anshits A.G. , Panarin I.I. Influence of different fractions of high-calcium fly ash on the density and strength of well Portland cement // *Case Studies in Construction Materials.* – 2023. – V.19. – e02556.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института химии и химической технологии СО РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН (проект FWES-2021-0013) с использованием оборудования Красноярского регионального центра коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН.

**Секция № 6. Организация ремонтных работ в строительстве**  
**Руководитель секции: Макарова Наталья Валентиновна, к.т.н.,**  
**доц., Институт автоматике и процессов управления**  
**Дальневосточного отделения Российской академии наук**

**Малазония Георгий Шалвович**  
**РЕМОНТ ТРЕЩИН НА ПОКРЫТИИ ОБЪЕКТА КАПИТАЛЬНОГО**  
**СТРОИТЕЛЬСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОДНОЙ**  
**ТОНКОДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЫ «ВЗВЕСЬ-ВЯЖУЩЕЕ»**

*ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный  
технический университет (МАДИ)»; 125319, г. Москва, Ленинградский  
проспект, д. 64*

*Научный руководитель Васильев Ю.Э. (МАДИ), научный консультант  
Кочетков А.В. (ПНИПУ)*

**Аннотация.** В статье представлены вопросы ремонта трещин на дорожном покрытии объекта капитального строительства с применением водной тонкодисперсной системы «взвесь-вяжущее» в виде битумной суспензии.

Водная тонкодисперсная система «взвесь-вяжущее» получается перемешиванием смеси холодного минерального порошка с битумом, нагретым до температуры 140°C-150°C.

Для ее производства пригодно серийно выпускаемое оборудование с использованием минерального порошка и битума. Водная тонкодисперсная система «взвесь-вяжущее» может приготавливаться в смесителях принудительного (ДС-158, ДС-117-2Е) и свободного перемешивания после оснащения их системой подачи воды в мешалку. Для повышения эффективности новой технологии из технологической линии следует исключить сушильный барабан и связанное с ним топочное хозяйство, пылеуловительную установку. Из технологического процесса исключаются операции по высушиванию и нагреву щебня и песка.

Полученная ремонтная смесь технологична, не прилипает к поверхностям рабочих органов, хорошо уплотняется.

**Ключевые слова:** битумная суспензия, приготовление, свойства, диспергирование, вязкий битум, эмульгатор, агрегатное состояние, диспергированные асфальтобетонные смеси, минеральный порошок, гидрофильный микропорошок.

### **Введение**

Данная статья продолжает цикл исследований обратного характера этого взаимодействия – когда диспергированную каплю битума покрывает опудренный слой минерального материала или микропорошка. Речь идет о крупнотоннажном производстве материала в виде прямой битумной суспензии

на твердых эмульгаторах и материалов на ее основе и возможности его длительного хранения в буртах или в мешках на складе.

Перечень литературы [1-9] вполне отражает цикл публикаций на эту тему.

### Постановка задачи

Использование нового инновационного продукта в виде битумной суспензии и способа ее получения позволит повысить технологичность и снижение энергозатрат процесса изготовления битумной композиции и ее использовании на месте производства работ, а также повысить качественные показатели битумной композиции [6].

Впервые получен новый дорожный материал – битумная суспензия – дорожная термодинамически и функционально устойчивая водная тонкодисперсная система «взвесь-вяжущее» - дисперсная система с жидкой дисперсионной средой и твердой микродисперсной фазой (паста, взвесь) на основе вязкого микродиспергированного битума.

Проведенные исследования показали, что предложенная разработка содержит новые научно обоснованные результаты, обусловленными существенными отличительными признаками, характеризующими разработанную битумную композицию и способ ее получения [7, 8].

На основе дорожной водной тонкодисперсной системы «взвесь-вяжущее» можно создавать мастики для заделки трещин, холодные смеси для ямочного ремонта, пропиточные составы, разнообразные асфальтобетонные смеси, например, литые холодные асфальтобетонные смеси или ЩМА без стабилизатора.

Структура битумной композиции в виде суспензии представляет собой свободную трехфазную дисперсную систему (рис. 1), состоящую из дисперсной водной среды и совокупности двух дисперсных твердых фаз, образованных частицами минерального порошка и частицами, образованными каплями битума в вязком агрегатном состоянии, покрытых оболочкой из минерального порошка, которые не смешиваются и не реагируют друг с другом химически [9].

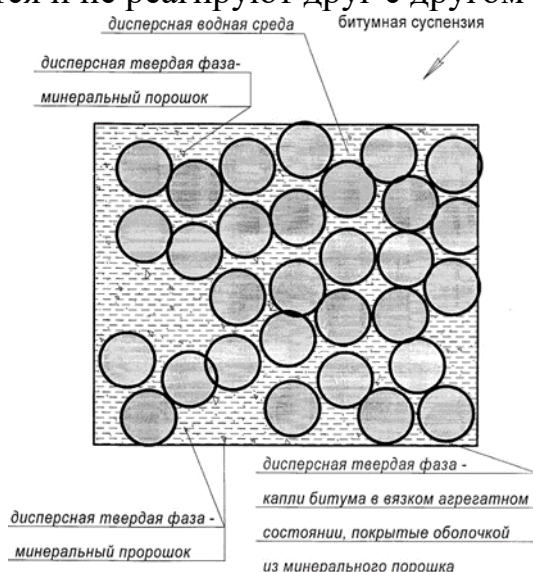


Рисунок 1 – Структурная модель битумной суспензии (рисунок авторов)

При этом частицы минерального порошка, выполняя функцию структурно-механического стабилизатора, создают барьер, препятствующий сближению и объединению в крупные образования частиц капель битума, что повышает степень дисперсности и однородности битумной композиции и обуславливает постоянство агрегатного состояния каждой фазы дисперсной системы – дисперсной среды и дисперсной фазы, на протяжении всего цикла существования данной дисперсной системы.

В качестве вещества минерального порошка в битумной композиции и в способе ее получения используют, например, карбонатные породы, например, в соответствии с ГОСТ Р 52129-2003 Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия.

Для производства битумной суспензии пригодно серийно выпускаемое оборудование с использованием обычно применяемых в горячем асфальтовом бетоне материалов: минеральный порошок и битум.

Битумная суспензия может приготавливаться в смесителях принудительного (Д-508, ДС-117-2Е) и свободного перемешивания (Г-1) после оснащения их системой подачи воды в мешалку.

Для повышения эффективности новой технологии из технологической линии следует исключить сушильный барабан и связанное с ним топочное хозяйство, пылеуловительную установку. Из технологического процесса исключаются операции по высушиванию и нагреву щебня и песка.

Битумная суспензия длительное время сохраняет технологические и функциональные свойства в широком интервале температур.

В условиях, исключающих испарение воды, смесь может храниться несколько лет. Отмеченные свойства указывают на целесообразность применения асфальтовых смесей для ремонта трещин.

Этапы производства работ по ремонту трещин на объекте капитального строительства представлены на рис. 2 - 8. Ремонт трещин производится путем очистки трещины от пыли и посторонних частиц, смачивания трещины водой.

Работы производятся аналогично штукатурным с помощью шпателя. На рисунках видны смоченные участки. На прогретых участках под воздействием солнца водная тонкодисперсная система «взвесь-битум» превратился в битумную пленку (мастичное состояние) в течение одного часа после начала работ. Установлена разная скорость высыхания суспензии на солнечном прогревом и теневом участках объекта капитального строительства.



Рисунок 2. Смачивание трещины. Ремонт трещины битумной суспензией с помощью шпателя



Рисунок 3. Сохранение влажного состояния битумной суспензии на теневой стороне (составлено авторами)



Рисунок 4. Превращение битумной суспензией в битумную пленку (мастичное состояние) в течение одного часа после начала работ



Рисунок 5. Подсыхание битумной суспензии на отдельных участках (составлено авторами)



Рисунок 6. Превращение битумной суспензией в битумную пленку в течение одного часа после начала работ



Рисунок 7. Результат ремонта трещины. Разная скорость высыхания суспензии на солнечном и теневом участках (составлено авторами)



Рисунок 8 - Результат ремонта трещины. На переднем плане виден участок ремонта места шелушения покрытия



Рисунок 9 - Результат ремонта трещины битумной суспензией через месяц после производства работ (составлено авторами)

### **Обсуждение результатов**

На рисунке 8 на переднем плане виден участок ремонта места шелушения покрытия, что подтверждает что возможности данного материала не ограничиваются ремонтом только трещин.

Видно, что ремонтная смесь технологична, не прилипает к поверхностям рабочих органов, хорошо уплотняется.

Движение транспорта открывалось через 30 минут после уплотнения.

Водная тонкодисперсная система «взвесь-вяжущее» в закрытой емкости может храниться десятки лет (более 40 лет, подтверждено личным экспериментом А.Ф.Иванова) без потери своих технологических и эксплуатационных свойств. Диспергированные капли битума после уплотнения в пределе приобретают свойства пленок на поверхности минеральных частиц.

Техническим результатом, достигаемым в результате решения поставленной задачи, является повышение степени дисперсности и однородности битумной композиции при сохранении вязкого агрегатного состояния битума в битумной композиции при ее хранении и транспортировке.

Решена задача повышения степени дисперсности и однородности битумной композиции при сохранении вязкого агрегатного состояния битума в битумной композиции при ее хранении и транспортировке. Решение относится к области строительных материалов, более конкретно к битумным эмульсиям, и может быть использовано для производства тепло- и гидроизоляционных материалов, предназначенным для устройства и ремонта разнообразных кровель, а также в дорожном строительстве в качестве вяжущего для асфальтобетонных смесей.

### **Заключение**

1. На основе нового дорожного материала - битумной суспензии - дорожной термодинамически и функционально устойчивой водной тонкодисперсной системы «взвесь-вяжущее» можно создавать мастики для заделки трещин, холодные смеси для ямочного ремонта, пропиточные составы, разнообразные асфальтобетонные смеси, например, литые холодные асфальтобетонные смеси.

2. В результате получается дорожный материал для ремонта трещин, который в течение ограниченного времени нескольких часов или суток в зависимости от климатических условий превращается в новое фазовое состояние, характеризующееся в пределе пленочным состоянием вязкого битума, который начинает покрывать частицы минерального материала, растекаясь и прилипая к нему.

3. Водная тонкодисперсная система «взвесь-вяжущее» получается перемешиванием смеси холодного минерального порошка с битумом, нагретым до температуры 140 °С-150 °С.

4. Для ее производства пригодно серийно выпускаемое оборудование с использованием минерального порошка и битума. Водная тонкодисперсная система «взвесь-вяжущее» может приготавливаться в смесителях принудительного (ДС-158, ДС-117-2Е) и свободного перемешивания после оснащения их системой подачи воды в мешалку. Для повышения эффективности новой технологии из технологической линии следует исключить сушильный барабан и связанное с ним топочное хозяйство, пылеуловительную установку. Из технологического процесса исключаются операции по высушиванию и нагреву щебня и песка.

5. Полученная ремонтная смесь технологична, не прилипает к поверхностям рабочих органов, хорошо уплотняется.

## Список литературы

1. Андронов С.Ю. Технология дисперсно-армированного композиционного холодного щебеночно-мастичного асфальта / С.Ю. Андронов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017 г. №. 4. – С. 67 – 71.
2. Горнаев, Н.А. Эмульгирующая способность минеральных порошков / Н. А. Горнаев, В. П. Калашников // Проблемы транспорта и транспортного строительства : межвуз. науч. сб. Саратов : СГТУ, 2004. - С.156-158.
3. Иванов, А.Ф. Технология, структурообразование и свойства асфальтобетона с дисперсным битумом : дис. канд. техн. наук / Иванов Александр Федорович. Саратов, 1986. - 172 с.
4. Никишин, В.Е. Технология регенерированного асфальта с дисперсным битумом : дис. канд. техн. наук. - Саратов, 2000. -182 с.
5. Андронов С.Ю., Трофименко Ю.А., Кочетков А.В. Технология производства холодного композиционного щебеночно-мастичного асфальта с дисперсным битумом // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Т. 8, №2 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/105TVN216.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. англ., рус. DOI:10.15862/105TVN216.
6. Битумная суспензия: монография / А.В.Кочетков, С.Ю.Андронов, А.Ф.Иванов, Н.Е.Кокодеева, А.С.Козин, О.В.Пачина; под ред. Ю.Э.Васильева, Н.Е.Кокодеевой. - Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2019. – 192 с.
7. Патент РФ № 2662493 Способ получения битумной эмульсии и битумная эмульсия. Патентообладатель А.В. Кочетков. Оpubл. 26.07.2018 Бюл. № 21.
8. Патент РФ № 2714547. Способ строительства дорожной одежды и конструкция. Положительное решение по заявке № 2018143910/03. Кочетков А.В., Васильев Ю.Э., Иванов А.Ф., Коротковский С.А., Талалай В.В. Патентообладатель А.В. Кочетков. Опубликовано 18.02.20210. Бюл. № 5.
9. Кочетков А.В. Битумная суспензия на твердом эмульгаторе // Транспортные сооружения, 2018 №4, <https://t-s.today/PDF/15SATS418.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/15SATS418.

**Малазония Георгий Шалвович**

### **ВОЗМОЖНОСТИ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ ВЛАЖНЫХ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С ДИСПЕРСНЫМ БИТУМОМ**

*ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный  
технический университет (МАДИ)»; 125319, г. Москва, Ленинградский  
проспект, д. 64*

*Научный руководитель Васильев Ю.Э. (МАДИ),  
научный консультант Кочетков А.В. (ПНИПУ)*



**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы влажных длительного хранения влажных холодных органоминеральных смесей с дисперсным битумом.

Водная тонкодисперсная система «взвесь-вяжущее» получается перемешиванием смеси влажного холодного минерального порошка с битумом, нагретым до температуры 140°C-150°C.

Для ее производства пригодно серийно выпускаемое оборудование с использованием минерального порошка и битума. Водная тонкодисперсная система «взвесь-вяжущее» может приготавливаться в смесителях принудительного и свободного перемешивания после оснащения их системой подачи воды в мешалку.

Для битумной суспензии возможно изменение фазового состояния битумной суспензии от полусухого (рыхлого) до тиксотропного (жидкая фаза). Практика применения влажных холодных асфальтобетонных смесей на вязком битуме в Саратовской области показала возможность хранения их в буртах до трех лет. Установлена целесообразность применения асфальтовых смесей длительного хранения в буртах и в мешках на складах для оперативного ямочного ремонта без запуска асфальтобетонных заводов вне строительного сезона.

**Ключевые слова:** битумная суспензия, приготовление, свойства, диспергирование, вязкий битум, эмульгатор, агрегатное состояние, диспергированные асфальтобетонные смеси, минеральный порошок, гидрофильный микропорошок.

## **Введение**

Данная статья продолжает цикл дорожных исследований взаимодействия зерна каменного материала и вяжущего, а именно, когда диспергированную каплю битума покрывает опудренный слой минерального материала или микропорошка, которые находятся в водной среде.

Речь идет о крупнотоннажном производстве материала в виде прямой битумной суспензии на твердых эмульгаторах и материалов на ее основе, возможности его длительного хранения в буртах или в мешках на складе.

Перечень литературы [1-11] отражает цикл публикаций на эту тему.

## **Постановка задачи**

В статье рассматриваются возможности длительного хранения влажных холодных органоминеральных смесей с дисперсным битумом.

Рассматриваются два способа хранения таких смесей в буртах и в мешках на складах.

В условиях, исключающих испарение воды, смесь может храниться несколько лет. Отмеченные свойства указывают на целесообразность применения асфальтовых смесей для оперативного ямочного ремонта без запуска асфальтобетонных заводов вне строительного сезона.

Буртование битумной суспензии и холодной асфальтобетонной смеси с диспергированным битумом типа Б2 приведено на рис. 1.



а



б

Рисунок 1 - Буртование битумной суспензии и холодной асфальтобетонной смеси с диспергированным битумом типа Б2

В целях применения асфальтовой смеси с диспергированным битумом для ямочного ремонта производилась ее расфасовка в мешки (герметичный внутренний пакет и внешний тканый мешок из полимера).

В условиях, исключающих испарение воды, смесь может храниться несколько лет. Отмеченные свойства указывают на целесообразность применения асфальтовых смесей для ямочного ремонта.

Следует отметить, что если при хранении происходило нарушение герметичности внутреннего пакета, то это приводило лишь к удалению части воды из материала, при этом смесь оставалась влажной и не теряла своих технологических и функциональных показателей.

Приготовленная смесь выгружалась на асфальтированную площадку, лопатой загрузалась в мешки по 20-25 кг и отправлялась на склад для хранения (рис. 2).



а



б



В



Г

Рисунок 2 – Заготовка асфальтовой смеси с диспергированным битумом для ямочного ремонта (составлено авторами) (а – внешний вид складированной битумной суспензии, б – заполнение мешков для хранения битумной суспензии, хранение мешков с битумной суспензией на складе), в – заготовленные мешки, г – хранение мешков на складе

При производстве работ возможно изменение фазового состояния битумной суспензии от полусухого (рыхлого) до тиксотропного (жидкая фаза) после добавления в нее воды, что иллюстрируется рис. 3, где показано производство работ по ямочному ремонту в Кувандыкском городском округе Оренбургской области.



а)



б)

Рисунок 3 - Изменение фазового состояния битумной суспензии от полусухого до тиксотропного (жидкая фаза) после добавления в нее воды

Как пример битумной суспензии, находящейся в жидком состоянии, однородная смесь, полученная путем перемешивания взвеси фибры, похожей на студень (3 см<sup>3</sup> фибры в 0,2 л воды) с 0,6 л битумной суспензии (находящейся в пластичном состоянии, которая подавалась и перемешивалась в несколько приемов) представлена на рис. 4.



Рисунок 4 - Однородная смесь, полученная путем перемешивания взвеси фибры с 0,6 л битумной суспензии

Следует отметить, что через 2 часа признаков расслаивания данной взвеси не наблюдалось.

Пример состояние жидкой смеси битумной суспензия с фиброй через сутки после перемешивания представлен на рис. 5. Признаки расслаивания данной взвеси не значительны.



Рисунок 5 - Битумная суспензия, армированная фиброй, через сутки после перемешивания

### **Обсуждение результатов**

Битумная суспензия и асфальтовые материалы на ее основе могут находиться в качественно различных состояниях: рыхлом, пластичном, текучем и полутвердом.

Для использования полученной битумной композиции достаточно в нее добавить воду и каменный материал (минеральный порошок, отсеб, щебень, песок) по рецептуре в зависимости от направления использования, перемешать, распределить и уплотнить.

Структура битумной композиции в виде суспензии представляет собой свободную трехфазную дисперсную систему, состоящую из дисперсной водной среды, и совокупности двух дисперсных твердых фаз, образованных частицами минерального порошка и частицами, образованными каплями битума в вязком агрегатном состоянии, покрытых оболочкой из минерального порошка, которые практически не смешиваются.

Битумная суспензия в условиях, исключая испарение воды (в герметичной таре), в результате самопроизвольных процессов стремится к стабильному агрегатному состоянию. Наиболее стабильным агрегатным состоянием битумной суспензии является пластичное. Поэтому в процессе приготовления битумной суспензии необходимо обеспечить ее получение

пластичном состоянии (похожем на пластилин). В пластичном состоянии смесь не будет расслаиваться не только при хранении, но и при транспортировании.

Битумная композиция в состоянии суспензии в закрытой емкости может храниться десятки лет (более 40 лет, подтверждено на практике) без потери своих технологических и эксплуатационных свойств.

Практика применения влажных холодных асфальтобетонных смесей на вязком битуме в Саратовской области показала возможность хранения их в буртах до трех лет.

### **Заключение**

На основе нового дорожного материала - битумной суспензии - дорожной термодинамически и функционально устойчивой водной тонкодисперсной системы «взвесь-вяжущее» можно создавать мастики для заделки трещин, холодные смеси для ямочного ремонта, пропиточные составы, разнообразные асфальтобетонные смеси, например, литые холодные асфальтобетонные смеси или ЩМА без стабилизатора.

Для битумной суспензии возможно изменение фазового состояния битумной суспензии от полусухого (рыхлого) до тиксотропного (жидкая фаза).

Установлена целесообразность применения асфальтовых смесей длительного хранения в буртах и в мешках на складах для оперативного ямочного ремонта без запуска асфальтобетонных заводов вне строительного сезона.

Получены патент РФ № 2662493 Способ получения битумной эмульсии и битумная эмульсия. Оpubл. 26.07.2018 Бюл. № 21 и патент РФ № 2714547. Способ строительства дорожной одежды и конструкция. Опубликовано 18.02.20210. Бюл. № 5.

### **Список литературы**

1. Статистические методы организации контроля качества при производстве дорожно-строительных материалов / Кочетков А.В., Васильев Ю.Э., Каменев В.В., Шляфер В.Л. Качество. Инновации. Образование. 2011. № 5 (72). – С. 46-51.

2. Методологические основы оценки технических рисков / Кокодеева Н.Е., Талалай В.В., Кочетков А.В., Аржанухина С.П., Янковский Л.В. Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 28 (47). – С. 126-134.

3. Современные подходы к моделированию старения битумных вяжущих материалов в лабораторных условиях // Е.Н. Симчук, А.В. Харпаев, И.М. Рожков / Дороги и мосты, 2022, № 48, С. 284-306.

4. Андронов С.Ю. Технология дисперсно-армированного композиционного холодного щебеночно-мастичного асфальта / С.Ю. Андронов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017 г. №. 4. – С. 67 – 71.

5. Горнаев, Н. А. Эмульгирующая способность минеральных порошков / Н. А. Горнаев, В. П. Калашников // Проблемы транспорта и транспортного строительства : межвуз. науч. сб. Саратов : СГТУ, 2004. - С.156-158.
6. Андронов С.Ю., Трофименко Ю.А., Кочетков А.В. Технология производства холодного композиционного щебеночно-мастичного асфальта с дисперсным битумом // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Т. 8, №2 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/105TVN216.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. англ., рус. DOI:10.15862/105TVN216.
7. Кочетков А.В. Битумная суспензия на твердом эмульгаторе // Транспортные сооружения, 2018 №4, <https://t-s.today/PDF/15SATS418.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/15SATS418.
8. Битумная суспензия: монография / А.В.Кочетков, С.Ю.Андронов, А.Ф.Иванов, Н.Е.Кокодеева, А.С.Козин, О.В.Пачина; под ред. Ю.Э.Васильева, Н.Е.Кокодеевой. - Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2019. – 192 с.
9. Страчков, К. М. О предельном содержании битума в битумных эмульсиях на твердых эмульгаторах / К. М. Страчков // Проблемы транспорта и транспортного строительства : межвуз. науч. сб. Саратов : СГТУ, 2006. - С. 181-183.
10. Андронов С.Ю., Иванов А.Ф., Кочетков А.В. Ремонт автомобильной дороги с применением фибросодержащих асфальтобетонных смесей с диспергированным вяжущим // Строительные материалы. 2020. № 4-5. С. 62-67. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-780-4-00-00>.
11. Андронов С.Ю., Алферов В.И., Кочетков А.В., Васильев Ю.Э. Равномерное распределение фибры в холодных асфальтобетонных смесях с вязким микродиспергированным битумом // Транспортные сооружения, 2020, № 1. <https://t-s.today/PDF/17SATS120.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/17SATS120.
12. Практическое применение битумной суспензии в Оренбургской области / Кочетков А.В., Иванов А.Ф., Кокодеева Н.Е., Пачина О.В. // В сборнике: Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации. Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. 2019. С. 446–450.
13. Di Yu, Wensheng Wang, Yongchun Cheng, Yafeng Gong, Laboratory investigation on the properties of asphalt mixtures modified with double-adding admixtures and sensitivity analysis, Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition) (2016), DOI: 10.1016/j.jtte.2016.09.002.
14. Low-Temperature Performance and Damage Constitutive Model of Eco-Friendly Basalt Fiber-Diatomite-Modified Asphalt Mixture under Freeze-Thaw Cycles Yongchun Cheng, Di Yu, Guojin Tan and Chunfeng Zhu Article (PDF Available). Materials 11(11): 2148. October 2018. with 32 Reads DOI: 10.3390/ma11112148.
15. Clara Celauro, Filippo Praticò Asphalt mixtures modified with basalt fibres for surface courses Article in Construction and Building Materials 170: 245–253 May 2018 with 13 Reads, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.058. 10. Yafeng Gong, Haipeng Bi, Chunyu Liang, Shurong Wang Microstructure Analysis of Modified



Asphalt Mixtures under Freeze-Thaw Cycles Based on CT Scanning Technology. Article (PDF Available) in Applied Sciences 8(11): 2191 November 2018 with 32 Reads. DOI: 10.3390/app8112191.

16. Xiao Qin, Aiqin Shen, Yinchuan Guo, Zhennan Li. Characterization of asphalt mastics reinforced with basalt fibers Article in Construction and Building Materials 159: 508– 516·January 2018 with 29 Reads. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.11.012.

17. Yafeng Gong, Haipeng Bi, Zhenhong Tian, Guojin Tan. Pavement Performance Investigation of Nano-TiO<sub>2</sub>/CaCO<sub>3</sub> and Basalt Fiber Composite Modified Asphalt Mixture under Freeze-Thaw Cycles. Article (PDF Available) in Applied Sciences 8(12): 2581. December 2018 with 39 Reads. DOI: 10.3390/app8122581.

## **Секция № 7. Технология и организация строительства**

**Руководитель секции: Козлов Павел Геннадьевич, преподаватель  
Военного учебного центра при ДВФУ**

**Галаганова Виктория Валерьевна**

### **ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ БРЯНСКОГО РЕГИОНА**

*ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», кафедра «Строительное производство», Брянская область,  
город Брянск, проспект Станке Димитрова, д.3, 241037*

*Научный руководитель: док. техн. наук, профессор Сергеева Н.Д.*

**Аннотация.** В строительной отрасли среди множества нерешенных проблем, особенно актуально обеспечение роста производительности труда, снижение высокой доли ручных операций и производственного травматизма. Огромное разнообразие ручных операций, сложность их типизировать на фоне отсутствия возможности полной механизации технологических процессов обозначили приоритет внедрения роботов и манипуляторов, а также промышленных экзоскелетов. Авторы считают, что высокий потенциал направления в применении экзоскелетов для преумножения физических возможностей рабочих в строительном комплексе г.Брянска, позволит обеспечить не только снижение травматизма, но и рост производительности труда. Но отсутствие полной классификации существующих образцов промышленных экзоскелетов, а также рекомендаций по их применению, затрудняют их практическое применение.

**Ключевые слова.** Строительная отрасль, ручные операции, травматизм, производительность труда, экзоскелет.

Согласно официальным данным в составе жилищного фонда РФ (2,8 млрд. м<sup>2</sup>) порядка 2 % - ветхое жилье, а 30 % - имеет значительный физический износ и поэтому ежегодно выбывает около 4 млн. м<sup>2</sup> жилья по причине его моральной и технической деградации. Объем жилищного фонда пятиэтажек в Брянске составляет порядка 5 млн. м<sup>2</sup> общей площади, в котором проживает более 95 тыс. чел., а ежегодный ввод составляет порядка 170 тыс. м<sup>2</sup> новой жилой застройки. В то же время нельзя не отметить наличие в строительном комплексе региона ряда нерешенных проблем, среди которых отсутствие роста производительности труда, высокая доля ручных операций и производственный травматизм. Все эти три проблемы так или иначе предопределяются уровнем механизации и автоматизации технологических процессов. Несмотря на большое разнообразие обеспечить полную механизацию технологических процессов не удастся. Среди «лидеров» - монтажные, отделочные и погрузочно-разгрузочные процессы, являющиеся главными источниками высокой стоимости и продолжительности

работ, а также производственного травматизма, зачастую в результате подъема или удержания тяжелых грузов. А это требует либо включение в производственный процесс робототехники наряду с необходимостью повышения уровня оснащенности рабочих средствами для преумножения их физических возможностей.

Целью исследований является не только изучение приоритетных направлений повышения результативности и безопасности технологических процессов с наличием значительного объема ручных операций, но и выявление инновационных способов решения этих проблемы в строительстве.

Как известно, на производительность труда в строительстве влияют как внешние, так и внутренние факторы: материально-технические, организационные, социально-экономические. Основные направления и факторы повышения результативности труда в строительстве: технико-производственные факторы; организационно-технологические факторы; социально-экономические и др. Как известно, рост производительности труда возможен за счет как повышения технического уровня производства (фондовооруженности), так и улучшения использования производственных фондов (фондоотдачи). Темпы роста фондовооруженности труда в строительном комплексе превышали темпы роста производительности труда, что привело к снижению фондоотдачи, что свидетельствует о неудовлетворительном состоянии основных фондов отрасли. Так, в 2021 г. в строительстве наблюдалась высокая степень изношенности основных фондов (54,1%), низкие темпы их обновления, незначительные инвестиции в основной капитал (4,8 %) (табл. 1).

Таблица 1

**Динамика изменения факторов производительности труда  
в строительстве [1]**

Показатели	Годы						2021, % к 2017
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Индекс производительности труда, %	97,3	100,1	96,9	103,1	99,8	98,7	101,4
Индексы изменения фондовооруженности, %	103,1	109,8	108,6	108,8	108,9	109,5	106,2
Индексы изменения фондоотдачи, %	94,4	91,2	89,1	94,7	93,7	94,4	100
Степень износа основных фондов, %	48,4	46,1	48,2	51,6	53,4	54,1	111,8

Коэффициент обновления основных фондов, %	5,1	11,3	9,9	5,9	5,2	7,1	139,2
Индекс изменения наличия средств малой механизации, применяемых в строительстве, %	87,0	138,2	108,9	121,0	137,0	144,0	165,5
Число высокопроизвод. рабочих мест в строительстве, тыс. ед.	837,2	1015,2	1134,2	1165,0	1187,1	1200,2	143,4
Уровень инновационной активности в строительстве, %	-	-	3,6	3,6	3,6	3,6	

Поэтому рост производительности труда возможен за счет как повышения технического уровня производства (фондовооруженности), так и улучшения использования производственных фондов (фондоотдачи). Темпы роста фондовооруженности труда в строительном комплексе превышали темпы роста производительности труда, что привело к снижению фондоотдачи, что свидетельствует о неудовлетворительном состоянии основных фондов отрасли (высокая степень изношенности - (54,1%), низкие темпы их обновления, незначительные инвестиции в основной капитал (4,8 %) (табл. 1).

Таблица 2

### Статистика производственного травматизма в Брянском регионе за 2021 год [1]

Показатели	Строительство зданий	Строительство инженерных сооружений	Работы строительные специализированные
Число предприятий, единиц	28	39	8
из них не имели несчастных случаев	26	38	7
Средняя численность работников, человек	1848	2717	405
Численность пострадавших с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более и со смертельным исходом, человек			
- всего пострадавших	3	1	1
- по вине работников и работодателя данной организации	2	0	1
Численность пострадавших с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более и со смертельным исходом, человек	3	1	1
Число рабочих человеко-дней нетрудоспособности у пострадавших при несчастных случаях на производстве с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более,	292	33	7

временная нетрудоспособность которых закончилась в отчетном периоде			
Израсходовано на мероприятия по охране труда, тыс. руб.			
- приобретение спецодежды, спецобуви и других средств индивидуальной защиты	8808.2	14058.1	2254.8
- реализацию организационных мероприятий			
- реализацию технико-технологических мероприятий	2642.6	5614.8	185
- реализацию санитарно-гигиенических мероприятий	512.5	3177	12
- подготовку работников по охране труда	5096	1770.1	398.3
	1739.4	4131.4	363.1

Данные (табл. 2) свидетельствуют о наличии в 92% строительных организаций несчастных случаев на производстве, повлекшие утрату трудоспособности персонала (рис. 1). С целью снижения производственного травматизма строительные организации только в 2022 г. выделили на мероприятия по охране труда - 50763.3 тыс.руб.

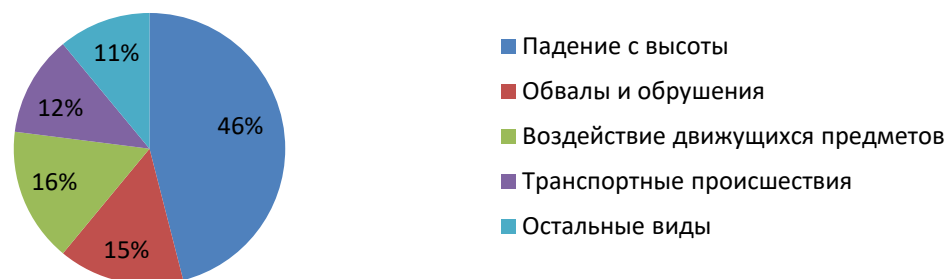


Рисунок 1- Структура производственного травматизма [2]

Среди наиболее повторяющихся случаев, приведенных согласно статистических данных (рис. 1) наиболее тяжёлые последствия связаны с падением с высоты и воздействия движущейся строительной техники, а 11%-связаны с подъемом и удержанием тяжелых грузов. Поэтому сложная проблема повышения уровня технической оснащённости рабочих, сопряженная с необходимостью обеспечения техники безопасности и охраны труда на объектах монтажных и демонтажных, погрузочно-разгрузочных и отделочных работ, подводит к необходимости выбора инновационных технических средств, преумножающих физические возможности человека.

В связи с этим отметим появление в последние годы нового направления – развитие оснащённости производственного персонала, в том числе для преумножения физических возможностей. Поэтому актуальна проблема защищённости производственного персонала на работах, связанных с перемещением тяжёлых предметов на грани максимально допустимых для человека масс, их подъема на высоту и удержания в поднятом состоянии в течение длительного времени. Это проблема осложнена также огромным разнообразием ручных операций при выполнении погрузочно- разгрузочных, отделочных и др. работ. Ручные операции сложно типизировать, а их

выполнение часто связано со смекалкой, невозможностью контролировать «творчество» рабочего.

На практике для выполнения работ с высокой долей ручного труда применяются рабочие низкой квалификации, что влечет за собой наличие проблем нарушения технологической дисциплины, травматизма и далее росту профессиональных заболеваний. Одним из решений вышеприведенных проблем является использование экзотехнологий. Промышленный выпуск такого оснащения, получившего термин «экзоскелеты» во многом решает обозначенные выше проблемы. Изучение этого вопроса, проведенный патентный и информационный поиск подтвердил актуальность и выявил пути дальнейшего поиска, а именно: отсутствие полной классификации экзоскелетов; отсутствие правовой основы и рекомендаций по возможности применения промышленных экзоскелетов в строительной отрасли; отсутствия научно-методических рекомендаций по их подбору для конкретных технологических процессов; научно-методических рекомендаций по проблеме безопасной работы производственного персонала оснащенного экзоскелетами при комплексно-механизированной организации работ трудоемких работ, в их числе и на объектах техногенных катастроф [2].

Мировой опыт широкого применения экзотехнологий в разных отраслях экономики и общественного производства подтверждает необходимость их внедрения в строительную отрасль. Промышленные экзоскелеты- это бюджетная альтернатива средств автоматизации. Среди широкого диапазона промышленных экзоскелетов необходимо обоснованно отобрать наиболее пригодные для их применения в строительной сфере.

Так, выпускаемый с 2018 г. экзоскелет Hyundai Vest Exoskeleton (H-VEEX), снижающий давление на шею и спину рабочих при подъеме тяжелых грузов, а следующая модификация экзоскелета Hyundai Chairless Exoskeleton (H-CEX), способная обеспечивать устойчивость коленного сустава, поддерживающего сидячее положение человека, например, при выполнении монтажных работ в тесных условиях рабочей зоны. Обе версии экзоскелетов Hyundai, системы H-CEX и H-VEEX предназначены для снижения травматизма и повышения производительности труда.

Интересен опыт применения экзоскелета AIRFRAME без двигателя для верхней части тела на сборочном заводе BMW, который способен снижать уровень нагрузки до 80% при выполнении задач, связанных с повторяющимися движениями рук.

Пилотная программа компании Ford, посвящена выпуску с 2018 г. 75 экзоскелетов Ekso для верхней части тела, которые в настоящее время применены на 15 автомобильных заводах по всему миру. Экзоскелеты верхней части тела помогают в выполнении задач над головой с эффектом снижения количества травм от повторяющихся движений.

Отметим, что массовое производство промышленных экзоскелетов обеспечило снижение стоимости, так, стоимость пассивного экзоскелета с 2019 г. не превышает 50 тыс. руб.

Cray X, German представила легкий экзоскелет, выполненный из углепластика с грузоподъемностью до 28 кг, со съемной литиевой батареей на 8 часов работы. Дополнительная функция новинки - AR-гарнитура Cray Visor, способная накладывать цифровые изображения на реальные объекты, помогая сотруднику выполнять требуемые операции.

Основная задача устройства - обеспечение безопасности сотрудников и оптимизация процесса работы.

Модель EksoVest (США), Ekso Bionics. пассивный промышленный экзоскелет, который используется на 15 сборочных предприятиях компании Ford и способен снижать нагрузки на руки сотрудников, вынужденных подолгу держать тяжелое оборудование над головой. Интересно, что экзоскелет EksoVest стал применяться в США на некоторых строительных площадках.

Компания Hyundai (Южная Корея) представила экзоскелет VEX весом 2.5 кг, предназначенный для строителей, работников склада и людей, занимающихся тяжелым физическим трудом в виде рюкзака. Экзоскелет призван помочь фиксировать положение суставов, может перераспределять нагрузку на них, добавляет до 6 кг силы и способен снизить усталость, сократить травматизм на предприятии, особенно на сборочных линиях [3].

Российские производители, среди которых EchoAtlant (Экзоатлант), EchoBelt, EchoAtlant (Экзоатлант) столкнулись с проблемой полного отсутствия технических стандартов, регламентирующих использование экзоскелетов. Это свидетельствует о разрыве взаимосвязей между отраслями общественного производства в экономике РФ и государственными органами, например, Фондом социального страхования, призванного осуществлять социальную защиту трудящихся в случае травматизма.

Между тем экзоскелеты, по-существу, являются и должны быть признаны средствами индивидуальной защиты, в этом случае Фонд социального страхования мог бы компенсировать работодателям покупку экзоскелетов и оснащение ими рабочих мест. Отметим еще одну сильную сторону экзоскелетов – экономическую. Экзоскелеты могут следить за динамикой трудового процесса рабочего, оснащенного этим средством, сообщая работодателям фактические данные по подсчету числа движений [4].

Первый российский промышленный экзоскелет, позволяющий снизить нагрузку на позвоночник во время подъема и переноски грузов, исключая травматизм рабочих и, снижающий негативное воздействие от нагрузки на 40% - экзоскелет в комплектации EchoBelt. Эта прорывная модель характеризуется наличием широкого спектра функций - эргономическая конструкция весом не более 3 кг может собирать данные о позе/положении пользователя (например, о числе наклонов), о местоположении пользователя, витальные параметры (например, пульс), параметры окружающей среды (например, температура). Опционально - поддержка функциональности телеметрии. В 2020 г. началось серийное производство экзоскелета EchoBelt.

Экзоскелет в комплектации Норникель (Цифровая лаборатория Норникеля и ЮЗГУ) также с 2020 г. совместно с ЮЗГУ (г.Курск), стал выпускаться в

формате предсерийного образца с элементами искусственного интеллекта. Экзоскелет оснащен бортовым компьютером, оценивающим различные показатели окружающей среды (например, загазованность, температуру, освещенность, режим работы пользователя и др.), а данные выводятся на мобильное устройство или в корпоративную сеть. Но, главное, что разработанные в Норникель образцы способны принимать на себя до 90% веса тяжелых грузов при собственном весе - около 18 кг.

В компании РнД МГТУ разработали серию промышленных пассивных экзоскелетов: для поднятия тяжестей, для защиты при частых поворотах и наклонах, с "третьей рукой" для работ с тяжелым ручным интерфейсом. Экзоскелет разгружает спину и защищает от термического воздействия. Стоимость одного устройства составляет 50 тыс. рублей. В будущем разработчики планируют создать линейку облегченных экзоскелетов для дачников, строителей и грузчиков. С 2021 г. компания «Ростех» начала выпуск "модульного промышленного экзоскелетного комплекса" ProEXO. Со стоимостью на уровне 30 тысяч руб. - это пассивный тип конструкции примерно из 30 деталей, способный работать в активном варианте.

Розничная сеть "Магнит" апробирует портативный пассивный экзоскелет компании «Экзаурус» в логистических операциях весом 3 кг из категории легких, который позволяет равномерно распределить нагрузку на позвоночник работника при подъеме тяжелых грузов (до 50 кг) с компенсацией ее до 20%, что резко улучшило условия труда [5].

Применение экзоскелетов обеспечивает такие преимущества как: увеличение скорости выполнения работ и развертывания средств механизации; уменьшение числа рабочих; отказ от использования компрессорной станции и лебедок; снижение общей физической нагрузки на рабочих [5]. В условиях кадрового дефицита они обладают еще и бизнес-преимуществами так как могут позволить стареющим работникам продолжать выполнять трудоемкие задачи - это возможность продлить срок службы сотрудникам, а также уменьшить риск травмы на рабочем месте [6].

Среди ограничений к применению экзоскелетов в строительном производстве отметим такие как:

- требование сохранять устойчивое равновесие тела относительно опоры;
- требование сохранять форму физиологичных изгибов позвоночника, положение плечевого пояса и состояние суставов;
- требование исключения поворотов плечевого пояса, заменив по возможности подъем и перенос на перекачивание;
- требование не превышать предельные нагрузки.

В настоящее время можно выделить следующие области применения промышленных экзоскелетов: в горнорудной отрасли; в мелкосерийном и единичном промышленном производстве; на погрузочно-разгрузочных работах на стройплощадке; при выполнении работ текущего и капитального ремонта



зданий и сооружений с тяжелым ручным механизированным инструментом [6]. Наибольшее развитие в РФ в отрасли получили пассивные промышленные экзоскелеты по причинам низкой стоимости, отсутствия элементов привода и внешних источников энергии, наличия на рынке к приобретению, их конструктивная простота и удобство использования с перспективой расширения области применения. В Брянском государственном инженерно-технологическом университете разрабатывается научно-методическая программа, которая позволит подобрать промышленный экзоскелет или их комплекс для выполнения СМР или демонтажных работ в строительном комплексе.

### **Заключение**

Патентное исследование показало широкое разнообразие экзоскелетов, выпускаемых в мировом промышленном производстве для различных отраслей экономики, горнорудной отрасли, мелкосерийном и единичном промышленном производстве, погрузочно-разгрузочных работах на стройплощадке, при выполнении работ текущего и капитального ремонта зданий и сооружений с тяжелым ручным механизированным инструментом.

Выявлены проблемы применения в строительном комплексе, а именно отсутствие правовой основы, полной классификаций и научно-методической рекомендации подбора промышленных экзоскелетов для выполнения СМР и демонтажных работ.

В БГИТУ выполняются исследования по созданию научно-методической программы, которая позволит подобрать промышленный экзоскелет или их комплекс для выполнения СМР или демонтажных работ в строительном комплексе.

### **Список литературы**

1. Яцун С. Ф. и др. Кинематический анализ экзоскелета в процессе подъема груза // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Техника и технологии. – 2015. – № 3. – С. 24.
2. Официальный сайт компании «Экзомед» [Электронный ресурс]: URL: <https://www.exomed.org/exoarm1> (дата обращения: 15.01.2024).
3. Терминология и классификация экзоскелетов / А. А. Воробьев [и др.] // Вестник ВолгГМУ. – 2015. – № 3 (55). – С. 71-78.
4. Яцун С. Ф. и др. Подъем груза в экзоскелете с гравитационной компенсацией // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2019. – Т. 23. – № 2. – С. 8-17.
5. Яцун С. Ф., Антипов В. М., Карлов А. Е. Моделирование подъема груза с помощью промышленного экзоскелета // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2019. – Т. 22. – № 6. – С. 14-20.
6. Dahmen, C. Challenges and possible solutions for enhancing the workplaces of the future by integrating smart and adaptive exoskeletons / C. Dahmen, F. Willecke, C. Constantinescu // Procedia CIRP. – 2018. – Vol. 67. – pp. 268-273.

**Жиляев Андрей Александрович**  
**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЗЕЛЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В**  
**РОССИИ**

*ФГБОУ ВО «Курский государственный университет»  
Кафедра «Промышленное и гражданское строительство»  
305000, Курская область, г. Курск, ул. Радищева, д.33  
Научный руководитель: Меркулов С.И., д.т.н., профессор*

**Аннотация:** В статье рассматриваются перспективы развития экологичного и энергоэффективного (зеленого) строительства в России, массового применения отечественных «зеленых» стандартов. Особое внимание уделено разработке и внедрению современных материалов и технологий, оказывающих минимальное неблагоприятное воздействие на окружающую среду и улучшающих экологию помещений. Проанализированы ключевые отличия ГОСТ Р 70346-2022 «Зеленые стандарты. Здания многоквартирные жилые «зеленые» и «зеленой» системы оценки зданий «Клевер». Автором статьи определены оптимальные условия для реализации «зеленых» проектов в нашей стране на примере Лахта Центра в Санкт-Петербурге.

**Ключевые слова:** ресурсосбережение, экологичные и энергоэффективные технологии, зеленые технологии, зеленые стандарты, сертификация «зеленых» объектов.

В настоящее время все более актуальным становится вопрос охраны окружающей среды и ресурсосбережения. При этом только на строительную отрасль в нашей стране приходится около 25% от всего объема выбросов парниковых газов, это больше 500 млн. тонн выбросов ежегодно.

Кроме того, в период изоляции во время пандемии коронавирусной инфекции, люди стали чаще задумываться о снижении эксплуатационных расходов и чистоте воздуха в помещениях. А покупатели недвижимости, в свою очередь, больше обращать внимание на такую характеристику объекта как экологичность. Следовательно, экологичные и энергоэффективные (далее – зеленые) технологии строительства это на сегодняшний день не модный тренд, а объективная необходимость.

По всему миру зеленые технологии интегрируются с современными технологиями строительства и образуют стандарты качества. В нашей стране, в том числе в связи с приостановкой деятельности зарубежных компаний, выдававших международные экологические сертификаты, появилась объективная потребность в разработке отечественной системы сертификации объектов, возведенных с использованием «зеленых» технологий. В связи с чем, госорганы и институты развития России активно включились в работу по ее разработке.

С 1 ноября 2022 года в России действует ГОСТ Р 70346-2022 «Зеленые стандарты. Здания многоквартирные жилые «зеленые», разработанный Институтом развития жилищного рынка в России «Дом. РФ» совместно с

Минстроем России. Несмотря на рекомендательный характер для застройщиков по соблюдению закрепленных в нем критериев (необходимых исключительно с целью получения соответствующих сертификатов), они оценили его появление в целом положительно, так как по их утверждениям застройщики уже давно ориентируются в своих проектах на закрепленные в нем параметры. Принятый ГОСТ Р 70346-2022 по многим критериям коррелируется с зарубежными зелеными стандартами, но они более адаптированы под российские реалии. В 2023 году «Дом. РФ» разрабатывает аналогичный стандарт для индивидуальных жилых домов, а в планах на 2024 год - создать «зеленый» стандарт капитального ремонта [1].

Национальным центром развития государственно-частного партнерства при поддержке государственной корпорации развития «ВЭБ.РФ» в 2022 году была также разработана «зеленая» система оценки зданий «Клевер», имеющая ключевое отличие от ГОСТ Р 70346-2022 в объектах оценки. Система «Клевер» направлена на стандартизацию коммерческой недвижимости. По задумке авторов эта система является добровольной и позволяет оценить качество принятых застройщиками решений (в каком объеме, и какие «зеленые» решения применять на проектах) [2].

Таким образом, оба стандарта направлены на развитие «зеленых» стандартов и системы сертификации «зеленых» объектов в России. Однако о массовом применении стандартов зеленого строительства в России говорить пока рано. В первую очередь они коснутся проектов, которые не смогли завершить процесс оценки по международным стандартам. В дальнейшем данное направление планируется к включению в стратегию развития стройотрасли Москвы до 2030 года (далее – стратегия). Включение зеленого строительства в стратегию позволит расширить практику применения принципов национального стандарта и сформировать предпосылки для его дальнейшего развития [3].

На сегодняшний день уже свыше 680 строящихся многоквартирных домов в Москве соответствуют отдельным параметрам «зеленого» стандарта. Наибольшее распространение находят в основном энергоэффективные технологии, такие как, например, использование энергосберегающих ламп, датчиков движения в общественных помещениях, регулировки температурных режимов отопления, доводчиков дверей, а также повышение теплоизоляции стен, окон и дверей.

В рамках стратегии инженеры осуществляют поиск решений по созданию экологичных зданий с наименьшим воздействием на человека и окружающую среду, с учетом того, что процессы зеленого строительства диктуют определенные требования к эксплуатационным характеристикам материалов, конструкций, функционированию систем. Создание «здоровых» зданий необходимо осуществлять на каждом этапе строительства начиная с проектирования. Например, при проектировании архитектурной части применять материалы и конструкции с высокими теплоизоляционными

свойствами, а при планировке помещений можно использовать решения по максимальному использованию естественного света.

Весомый вклад в зеленое строительство вносят решения по инженерным системам и их управлению. Грамотно спроектированная система может значительно снизить энергопотребление всего здания, в том числе и уже построенное.

Кроме того, в последнее время разрабатываются и внедряются «зеленые» материалы и технологии, имеющие исключительные свойства такие, как например:

Утеплители из технической конопли, льна и джута, полученные благодаря синтезу энергосберегающих компонентов на основе натуральных волокнистых изоляционных материалов. В частности, конопляный утеплитель позволяет оптимально регулировать влажность воздуха в здании, обладает высокой термостойкостью, устойчивостью к росту плесени, пыли и других загрязняющих веществ, является отличным тепло- и звукоизоляционным материалом, и что также имеет немаловажное значение в охране окружающей среды, на 100 % подлежит вторичной переработке в конце жизненного цикла.

«Зеленые» крыши и фасады, регулирующие температуру, влажность в зданиях, поглощающие пыль, снижающие уровень шума и защищающие строительные ограждающие конструкции от атмосферного воздействия. Так, например, только за счет озеленения крыш можно добиться смягчения эффекта «тепловых островов» благодаря выравниванию температуры, особенно в летний период и значительного снижения уровня неблагоприятного воздействия зданий на окружающую среду.

Новым элементом зеленого строительства в последнее время становится также и биобезопасность. Вырос спрос на комплексные системы, обеспечивающие комфортное проживание, пребывание людей и исключаящие распространение вирусов в стенах помещений. Особенно актуальными в период распространения новой коронавирусной инфекции стали системы бесконтактного входа в дом, пользования лифтом, уход от традиционного кондиционирования в пользу экологичного и экономичного испарительного охлаждения на основе воды. Строительные инновации были направлены на внедрение использования информационных технологий: сервисов, платформ, умных приложений.

Сейчас главным и, пожалуй, самым верным подходом при возведении зеленых объектов строительства считается использование технологий информационного моделирования. Они позволяют визуализировать модель, что удобно для изучения и анализа различных вариантов, облегчают обмен информацией между участниками проекта и помогают найти взвешенные решения не только в процессе проектирования и возведения объекта, но и на протяжении всего жизненного цикла здания.

Одним из первых зданий в России, спроектированным и построенным с использованием технологий информационного моделирования (ТИМ-

технологий), самым масштабным российским «зеленым» проектом стала башня Лахта Центра в Санкт-Петербурге [4].

В этом проекте были максимально реализованы требования международных зеленых стандартов. Об этом свидетельствует «Платиновый» (высший уровень из четырех присваиваемых) сертификат международного стандарта LEED. За счет применения зеленых технологий таких как, например: фасад с высокими теплоизоляционными свойствами, абсорбционные системы отопления и охлаждения, панорамное остекление, автоматическое управление светом, датчики присутствия и учет потребления тепловой и электрической энергии по функциональным зонам, экономия энергоресурсов при его эксплуатации составляет порядка сорока процентов.

Проектировщиками Лахта Центра было предусмотрено множество решений, обеспечивающих комфортное нахождение людей на его территории и сводящих к минимуму неблагоприятное экологическое воздействие на окружающую среду. Если бы башню проектировали традиционным методом, без использования ТИМ-технологий, то проектная документация по ней заняла бы многотомник весом почти в тонну. Технологии информационного моделирования позволили сэкономить выделенные на строительство башни средства, применить наиболее оптимальные решения и ускорить все организационно-технические процессы. Благодаря применению вышеуказанных технологий синхронизировано около трех тысяч видов работ и собрана вся информация по конструкциям, сетям, материалам, поставщикам и оборудованию в единую информационную модель объекта. Инженерами стройконтроля и службы эксплуатации теперь можно с легкостью проводить мониторинг конструкций башни с помощью планшетов, получая одним кликом всю необходимую информацию [4].

Кроме того, ТИМ-технологии становятся актуальными не только при возведении «зеленых» зданий, но и при реконструкции существующих. Совершенствование температурного режима здания (термореновация) за счет оптимизации температурно-влажностного режима наружных стен, уменьшения сквозной воздухопроницаемости, повышения комфортных условий внутри помещений, повышение энергосбережения объектов реконструкции, позволяющее повысить их теплотехническую, энергетическую и экологическую безопасность (соответствовать зеленым параметрам) делает технологии информационного моделирования идеальным инструментом в решении этих задач.

Таким образом, технологии информационного моделирования, как важный инструмент в зеленом строительстве должны обеспечивать новый уровень точности проектирования при учете всех составляющих, принося пользу, как окружающей среде, так и строительному сектору [5].

На сегодняшний день во всем мире идет улучшение процессов строительства с ориентацией на повышение условий жизни людей и снижение расходов на содержание зданий. По мнению специалистов, у развития зеленого строительства в нашей стране есть достаточно большие перспективы. Президент

России по итогам встречи с членами общероссийской общественной организации «Деловая Россия» включил в перечень поручений пункт, касающийся проработки мер государственной поддержки проектов, отвечающих требованиям экологической ответственности. В целях стимулирования развития зеленого строительства в России планируется запустить различные виды поддержки: льготную ипотеку на «зеленые» проекты, налоговые льготы, упрощенное согласование.

Следовательно, зеленое строительство в России, несмотря на все возможные риски и трудности, является перспективным направлением, одним из ключевых инструментов сохранения окружающей среды и природных ресурсов, а также повышения качества жизни населения.

### **Список литературы**

1. ГОСТ Р 70346-2022 Зеленые стандарты. Здания многоквартирные жилые зеленые. Методика оценки и критерии проектирования, строительства и эксплуатации [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200193111> (дата обращения: 14.12.2023).

2. Клевер – сертификация «зеленых» зданий [Электронный ресурс]. URL: <https://rosinfra.ru/building-certification/> (дата обращения: 14.12.2023).

3. Зеленое строительство войдет в стратегию развития стройотрасли Москвы [Электронный ресурс]. URL: <https://www.interfax.ru/moscow/918711> (дата обращения: 15.12.2023).

4. Цифра на высоте: информационная модель Лахта Центра как предвестник будущего строительства. Главгосэкспертиза России. Новости [Электронный ресурс]. URL: <https://gge.ru/press-center/news/tsifra-na-vysote-informatsionnaya-model-lakhta-tsentra-kak-predvestnik-budushchego-stroitelstva/> (дата обращения: 15.12.2023).

5. «Зеленое» строительство с помощью BIM-технологий: модный тренд или недалекое будущее [Электронный ресурс]. URL: <https://digital-build.ru/zelenoe-stroitelstvo-s-pomoshhyu-bim-tehnologij-modnyj-trend-ili-nedalekoe-budushhee/> (дата обращения: 18.12.2023).

**Обайди Адхам Абдулсаттар Хамид**

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТА КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

*ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова», кафедра строительства и городского хозяйства*

*Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46*

*Научный руководитель: Сулейманова Людмила Александровна, д-р техн. наук,  
профессор*

**Аннотация:** В эпоху цифровых трансформаций использование передовых технологий становится неотъемлемой частью эффективного управления жизненным циклом объектов капитального строительства. Одной из важных инноваций является применение искусственных нейронных сетей для прогнозирования на стадии эксплуатации. В данной статье авторами рассмотрено, как использование искусственных нейронных сетей преобразует процессы прогнозирования на этапе эксплуатации объекта капитального строительства, поднимая эффективность управления и обеспечивая более устойчивое и продуктивное функционирование проектов.

**Ключевые слова:** анализ данных, нейронные сети, прогнозирование, жизненный цикл, энергоэффективность.

В современном строительстве управление жизненным циклом зданий становится ключевым аспектом, особенно в контексте энергоэффективности. Прогнозирование тепловых потерь на этапе эксплуатации зданий играет важную роль в оптимизации этого управления, что требует не только точного прогнозирования эффективности, но и использования передовых технологий, включая искусственные нейронные сети [1-3].

Современные исследования в области строительства активно используют передовые методы анализа для прогнозирования тепловых потерь через стены из газобетона [4, 5]. Искусственные нейронные сети становятся важным инструментом в этом процессе, позволяя улучшить точность прогнозов за счет уникальных характеристик и теплоизоляционных свойств этого строительного материала. Такие современные подходы в анализе данных способствуют оптимизации энергетической эффективности зданий, построенных из газобетона.

В вариационном ряде выделяют две основные категории признаков: средние значения и меры вариации (или рассеяния) [6-8]. Среднее арифметическое представляет собой количественную характеристику однородной группы данных, определяя обобщенные размеры количественных признаков. Основными показателями средних значений являются среднее арифметическое, мода и медиана.

Среднее арифметическое ( $\bar{x}$ ) вычисляется по формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (1)$$

где  $x_i$  – значения признака с порядковым номером  $i$  ( $i = 1, n$ );  $n$  – объем данных.

Мода ( $M_o$ ) – это значение, которое наиболее часто встречается в наборе данных.

Медиана ( $M_e$ ) представляет собой значение, расположенное посередине вариационного ряда. Для нечетного числа вариантов ( $n = 2m + 1$ ) это значение будет таким:  $x_{m+1}$ , для четного ( $n = 2m$ ) – среднее между  $x_m$  и  $x_{m+1}$ .

Медиана широко применяется при анализе неравномерных распределений данных и менее чувствительна к выбросам по сравнению со средним

арифметическим. Это делает ее более достоверной мерой центральной тенденции в данных, особенно в случае ассиметричных распределений.

Хотя средние значения дают общую картину о статистической группе, они не отражают, насколько точно они описывают это собрание данных.

Для измерения вариации значений признака используются другие показатели: размах вариации, дисперсия и среднее квадратическое отклонение.

Размах вариации ( $R$ ) определяется по формуле:

$$R = x_{max} - x_{min}, \quad (2)$$

Размах вариации ( $R$ ) рассчитывается просто, но является наиболее грубым показателем, поскольку учитывает только самые крайние значения признака, игнорируя все остальные [6].

Другие показатели, такие как дисперсия и среднее квадратическое отклонение, вычисляются на основе отклонений всех значений признака от его среднего значения. Эти характеристики нашли широкое применение во многих областях математической статистики. Дисперсия ( $\sigma^2$ ) представляет абсолютную меру разброса значений признака относительно его среднего значения, выражая средний квадрат отклонений всех значений признака от его среднего значения. Для выражения меры вариации в тех же единицах, что и сам признак, применяется среднее квадратическое отклонение ( $\sigma$ ), представляющее собой корень из дисперсии.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}, \quad (3)$$

где  $x_i$  – варианта с порядковым номером  $i$ ;  $\bar{x}$  – средняя арифметическая;  $n$  – объем совокупности.

Рассмотренные ранее меры рассеяния представляют собой абсолютные величины. Однако часто необходимо сравнить вариацию одного и того же признака между разными группами объектов, выявить степень отличий одного и того же признака внутри одной группы объектов в разные периоды, или сопоставить вариацию различных признаков внутри одних и тех же групп объектов. Для таких задач требуется использование относительных показателей, например, коэффициента вариации.

Коэффициент вариации ( $V$ ) представляет собой отношение среднего квадратического отклонения к средней арифметической, выраженное в процентах:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Распределение данных в нормальной форме зависит от двух параметров: среднего значения  $x$  и стандартного отклонения  $\sigma$ . Его кривая описывается уравнением:

$$y = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}, \quad (5)$$

где  $t$  – нормализованное отклонение данных от среднего значения.



Главное свойство кривой нормального распределения заключается в том, что расстояние на горизонтальной оси распределения, измеренное в единицах стандартного отклонения от среднего значения, всегда остается постоянным. Это позволяет оценить долю данных в генеральной совокупности с соответствующими параметрами (рис. 1) [6].

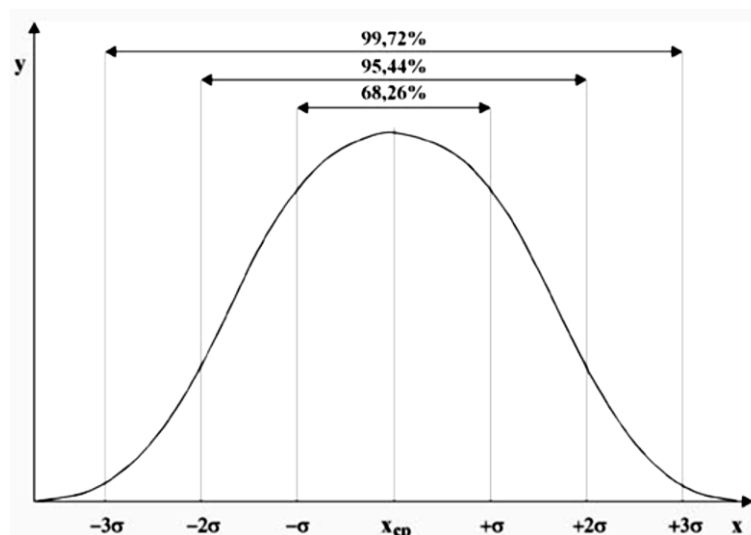


Рисунок 1. Вид кривой нормального распределения

В заключение следует подчеркнуть, что использование искусственных нейронных сетей на стадии эксплуатации объекта капитального строительства открывает новые возможности для управления жизненным циклом проекта. Нейросетевые технологии позволяют спрогнозировать результаты организационно-технологических и конструктивных решений, принятых на стадии проектирования и возведения, уменьшая вероятность человеческих ошибок и оптимизируя использование ресурсов. Эксплуатация объектов капитального строительства с применением искусственных нейронных сетей становится ключевым фактором в повышении конкурентоспособности проектов и обеспечении их успешного функционирования в долгосрочной перспективе.

Нейросетевые технологии демонстрируют свою эффективность не только в обеспечении точности прогнозов, но и в способности адаптироваться к изменяющимся условиям и динамике процессов. Этот подход не только содействует оперативному управлению ресурсами и оборудованием, но и обеспечивает более долгосрочное и устойчивое функционирование объектов. Таким образом, внедрение и использование искусственных нейронных сетей в прогнозировании на стадии эксплуатации становится ключевым аспектом повышения эффективности инженерного управления в области капитального строительства.

### Список литературы

1. Сулейманова Л.А., Рябчевский И.С. Системы облачного хранения данных для управления жизненным циклом объектов строительства // В сборнике: Наука

и инновации в строительстве. Сборник докладов VII Международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В.Г. Шухова. Белгород, 2023. С. 240-245.

2. Doroshenko A. Applying Artificial Neural Networks in Construction // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 143. P.01029.

3. Liu Sh., Chang R., Zuo J., Webber R., Xiong F., Dong N. Application of Artificial Neural Networks in Construction Management: Current Status and Future Directions // Applied Sciences. 2021. Vol. 11. P. 9616.

4. Ermakov A. A. The use of artificial neural networks in automation and control progresses // Languages in professional communication: Сборник материалов международной научно-практической конференции преподавателей, аспирантов и студентов, Екатеринбург, 28 мая 2020 года / ответственный редактор Л. И. Корнеева. – Екатеринбург: ООО «Издательский Дом «Ажур», 2020. P. 518-522.

5. Orosa J., Vergara D., Costa Á., Bouzón R. A Novel Method Based on Neural Networks for Designing Internal Coverings in Buildings: Energy Saving and Thermal Comfor // Applied Sciences. 2019. Vol. 9. P. 2140.

6. Богданова Р.А., Казазаева П.И. Первичная оценка статистических данных в программе STATISTICA // Информация и образование: границы коммуникаций. 2022. № 14(22). С. 157-162.

7. Камашев В.В., Кучерова Е.А., Раскин П.Н. Выбор оптимальных настроек нейронной сети при прогнозировании временного ряда в пакете статистика // Молодежь. Наука. Современность: IV Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, Воткинск, 10 апреля 2017 года. – Воткинск: Издательский дом "Удмуртский университет", 2017. – С. 107-109.

8. Кленина В.И. Софинская Е.Н., Зироян А.А. Анализ временных рядов и прогнозирование на примере программы // Человеческий капитал. 2015. № 2(74). С. 66-74.

## References

1. Suleymanova L.A., Ryabchevsky I.S. Cloud data storage systems for life cycle management of construction objects // In the collection: Science and innovation in construction. Collection of reports of the VII International Scientific and Practical Conference dedicated to the 170th anniversary of V.G. Shukhova. Belgorod, 2023. pp. 240-245.

2. Doroshenko A. Applying Artificial Neural Networks in Construction // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 143. P.01029.

3. Liu Sh., Chang R., Zuo J., Webber R., Xiong F., Dong N. Application of Artificial Neural Networks in Construction Management: Current Status and Future Directions // Applied Sciences. 2021. Vol. 11. P. 9616.

4. Ermakov A. A. The use of artificial neural networks in automation and control progresses // Languages in professional communication: Collection of materials of the international scientific and practical conference of teachers, graduate students and students, Ekaterinburg, May 28, 2020 / executive editor L. I. Korneeva. – Ekaterinburg: Publishing House Azhur LLC, 2020. P. 518-522.

5. Orosa J., Vergara D., Costa Á., Bouzón R. A Novel Method Based on Neural Networks for Designing Internal Coverings in Buildings: Energy Saving and Thermal Comfort // Applied Sciences. 2019. Vol. 9. P. 2140.

6. Bogdanova R.A., Kazazaeva P.I. Primary assessment of statistical data in the STATISTICA program // Information and education: boundaries of communications. – 2022. – No. 14(22). – pp. 157-162.

7. Kamashev V.V., Kucherova E.A., Raskin P.N. Selection of optimal settings for a neural network when forecasting a time series in the statistics package // Youth. The science. Modernity: IV All-Russian scientific and practical conference with international participation, Votkinsk, April 10, 2017. – Votkinsk: Udmurt University Publishing House, 2017. – P. 107-109.

8. Klenina V.I. Sofinskaya E.N., Ziroyan A.A. Time series analysis and forecasting using the example of a program // Human capital. 2015. No. 2(74). P. 66-74.

**Сират Джавед**  
**МОДЕЛИ И ТИПЫ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР В**  
**СТРОИТЕЛЬНОЙ КОМПАНИИ, ИХ ПРЕИМУЩЕСТВА И**  
**НЕДОСТАТКИ**

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, организации строительства, Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4*  
*Научный руководитель: Руденко Александр Алексеевич*

**Аннотация:** В контексте активных процессов глобализации, особенно в рамках строительной динамики и воздействия внешней среды, специалисты в области строительства и управления сталкиваются с задачами оптимизации организационных решений. Организационные схемы и структуры играют ключевую роль в эффективности строительных проектов. В данном исследовании анализируются элементы управленческих систем в строительстве, выделяются различные архитектурные модели организации, подробно рассматриваются принципы линейного и функционального управления в строительной сфере, а также оцениваются требования к оптимизированным структурам. Представлен детальный технический обзор разнообразных форм управления в строительной индустрии.

**Ключевые слова:** организационная структура управления, линейная структура, функциональная структура.

**Abstract:** In the context of active globalization processes, particularly within the realm of construction dynamics and the impact of the external environment, construction and management professionals are confronted with challenges of optimizing organizational solutions. Organizational frameworks and structures play a fundamental role in the effectiveness of construction projects. This research examines

components of management systems in construction, identifies various architectural organizational models, delves deeply into the principles of linear and functional management within the construction domain, and assesses the requirements for streamlined structures. A comprehensive technical review of diverse management approaches in the construction industry is presented.

**Keywords:** organizational structure of management, linear structure, functional structure.

В области технологии и организации строительства акцентируется внимание на организационных конфигурациях управления. Несмотря на глубокие аналитические работы в этой сфере, практическая реализация часто сталкивается с трудностями в обеспечении оптимальности текущих организационных управленческих сетов. Проблематика включает в себя дублирование функций в структурных подразделениях, нарушение эффективной обратной связи от исполнителей к руководящему составу, а также возникновение технологических задержек в связи с неадекватной или несвоевременной реализацией поручений конкретными подразделениями и т.д. Система управления представляет собой комплексный механизм, включающий в себя управленческие функции, методики и решения. Все эти элементы взаимодействуют, что иллюстрировано в рисунке 1.

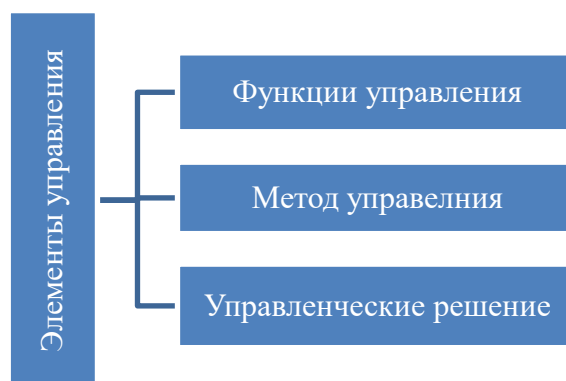


Рисунок 1. Элементы организационного управления

При проведении критического обзора данных изделий строительной компании и научных изданий, как на национальном, так и на международном уровне, стало очевидным, что подавляющее большинство научных изысканий, связанных с организационными управленческими структурами, ориентированы исключительно на теоретические основы. Такой подход затрудняет применение данных исследований руководителями строительной компании для практического формирования и оптимизации управленческих структур.

Проведенные аналитические работы указывают на необходимость создания и применения управленческих организационных структур в строительных компаниях в соответствии с определенными взаимосвязанными принципами.

Эти принципы представляют собой установленный набор инструкций, соблюдение которых обеспечивает оптимизацию процесса, таким образом предотвращая проблемы, связанные с неэффективным размещением функциональных обязанностей и прав участников проекта, возникновением конфликтов на рабочем месте, а также нарушением иерархической структуры и взаимодействия. Структура организации управления строительной компанией отражает конфигурацию управленческой системы, отражая её внутреннее распределение, взаимосвязь и иерархию компонентов.

Существуют различные модели организационных управленческих структур в строительстве:

- Линейная;
- Функциональная;
- Дивизиональная;
- Матричная.

Рассмотрим особенности линейных и функциональных организационных управленческих структур в строительной сфере.

1. Линейная организационная архитектура — это управленческая система, где каждый участок подразделения осуществляет полный спектр операций.

В рамках стратегического планирования такая структура эффективна на стабильных рынках, где динамичные трансформации менее вероятны.

2. Функциональная организационная архитектура предполагает формирование специализированных управленческих отделений, где лидеры принимают решения в рамках определенной функциональной области.

Широко распространенной концепцией является утверждение, что основа линейной структуры, изображенной на рисунке 2, основывается на принципе иерархической организации и одноличного управленческого принятия решений.

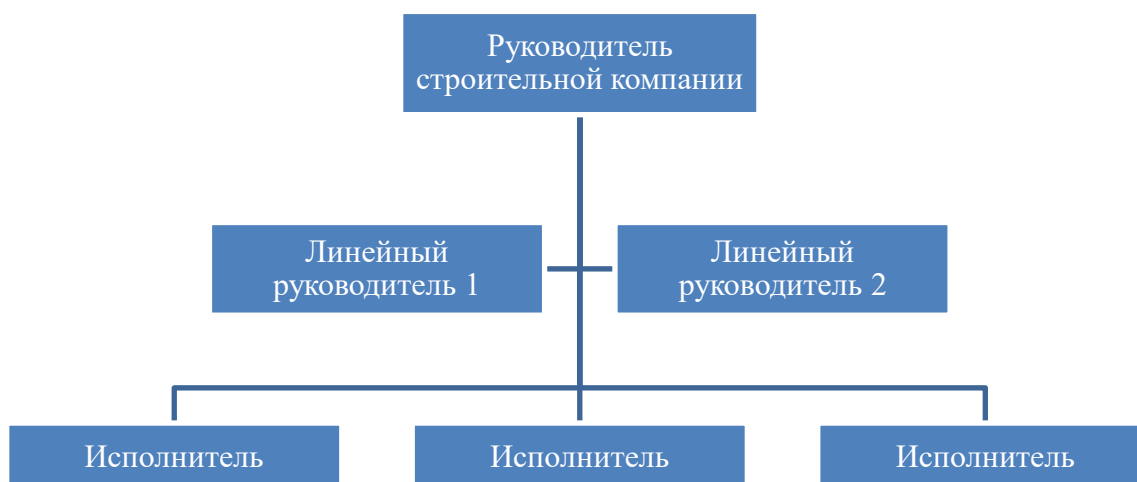


Рисунок 2. Линейная организационная структура

Ещё одной разновидностью современных организационных управленческих структур является функциональная структура управления, изображенная на рисунке 3.

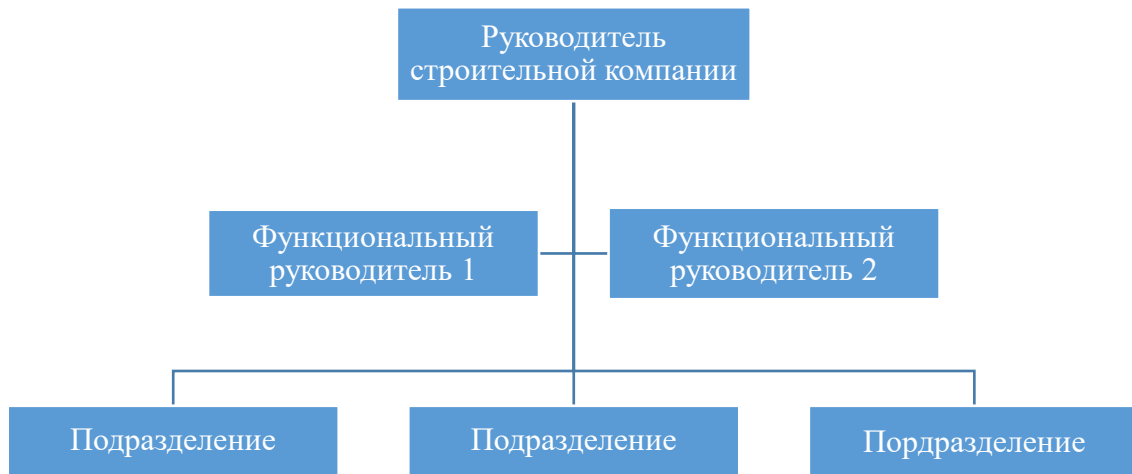


Рисунок 3. Функциональная организационная структура

3. Линейно-функциональная структура управления, объединяющая линейные и функциональные элементы, характеризуется обширной сетью горизонтальных и вертикальных связей, а также минимальным влиянием низших уровней управления на принимаемые решения. В этой системе руководство разделяется на линейные и функциональные уровни.

4. Линейно-штабная управленческая структура предусматривает создание специализированных функциональных отделов штабов для поддержки линейных руководителей в решении конкретных задач, включая аналитическую работу, координацию, сетевое планирование и управление, а также специализированные функции, как показано на рисунке 4.

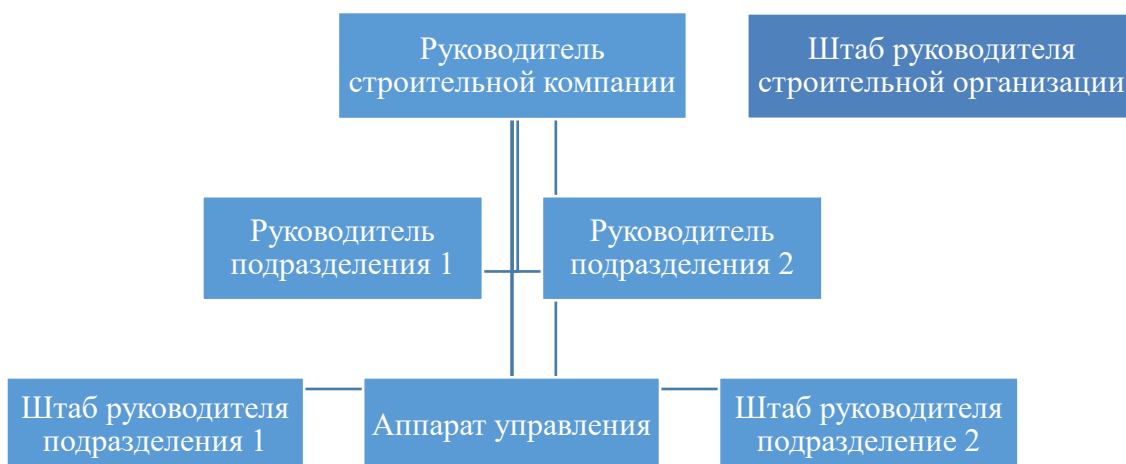


Рисунок 4. Линейно-штабная структура управления

Для специфической строительной организации вопрос формирования управленческой структуры становится актуальным при изменении внешнего контекста, разработке новых стратегических направлений, смене владельцев, управленческого персонала, а также при коррекции ключевых направлений деятельности и прочих аспектах. Интегрированный методологический подход обеспечивает эффективное выполнение операционных функций и достижение заданных управленческих показателей в соответствии с текущими и перспективными стратегическими целями строительной компании.

Упомянутые управленческие конфигурации должны соответствовать унифицированным требованиям, представленным на рисунке 5.



Рисунок 5. Требования к организационным структурам

Произведем детальный аналитический обзор предложенных управленческих структур, представленных в таблице 1.

Таблица 1

**Преимущества и недостатки основных видов организационных моделей в управлении строительством**

Вид организационной структуры	Преимущества	Недостатки
Линейная	Ясность и эффективность взаимодействия, Стабильный контроль и строгая управляемость, Эффективность принятия и осуществления управленческих решений, Невысокие расходы на строительства	Необходимость в управленческих специалистах с комплексными компетенциями в строительстве, Ограничение самостоятельности сотрудников базового уровня, Потенциал для непрофильного расширения организационного состава в управлении
Линейно-штабная	Улучшение эффективности управленческих решений, Оптимизация времени реагирования на текущие и структурные вызовы в строительной компании	Оптимизация времени реализации стратегических действий в сфере строительного управления, Риск необоснованного увеличения штабного аппарата
Линейно-функциональная	Появляется перспектива управления расширенным исполнителями в строительстве, Сокращается иерархическая структура управления в строительных процессах, Увеличивается информационного реагирования при принятии управленческих решений,	Ограничение темпов стратегического отклика в управлении строительными процессами, Несоблюдение основы единого управленческого решения в строительстве, Риск необоснованного увеличения штабного аппарата, Проблемы координации между иерархическими и функциональными управленческими структурами строительного производства, Усложнение механизмов контроля в рамках строительного процесса, Ограничение способности адекватного реагирования на изменчивость внешнего окружения в строительстве, Невозможность внедрения изменений в операционную деятельность строительной компании.
Дивизиональная	Независимость функциональных отделений	Увеличение затраты на



	в процессах операционного управления, Увеличение эффективности и стандартов оперативного принятия решений,	содержание управленческого решения, Противоречия между целями отдельных дивизионов и стратегическими задачами развития строительной компании, Недостаточная оптимизация ресурсов при централизованном распределении в рамках строительного управления
Матричная	Согласованность выполнения задач и оперативное адаптирование к динамике внешнего окружения в строительстве, Мотивация руководящего состава на всех уровнях и квалифицированных специалистов к активному инновационному участию в осуществлении проектной деятельности в области строительства	Трудность в осуществлении на практике обусловлена требовательной подготовкой участников и соответствующей организационной структуры в строительстве

Таким образом, организационная структура управления представляет собой интегральный компонент управленческой системы, целью которой является обеспечение достижения строительной компанией своих стратегических целей. Это достигается путем установления компетенций и обязанностей каждой управленческой единицы, оптимизированного распределения рабочих функций на различных уровнях управления в сфере строительства.

#### **Список литературы**

1. Афанасьева Л. А. Разработка методических стратегий для эффективного управления человеческим ресурсом в строительных структурах / Афанасьева Л. А. // Auditorium. – 2020. – №3. – С. 22-25.
2. Балынская Н. Р. Критерии анализа и оценки человеческого потенциала на стройке / Балынская Н. Р. // Вопросы управления. – 2019. – №2 (14). – С. 127-138.
3. Барбарская М. Н. Методологические основы управления рабочими кадрами в современном строительстве / Барбарская М. Н. // Основы экономики, управления и права. – 2019. – №4. – С. 35-44.
4. Бардасова Э. В. Стратегии управления человеческими ресурсами в строительной сфере: прогрессивные методы для устойчивого развития / Бардасова Э. В. // Вестник КТУ. – 2019. – №1. – С. 76-85.
5. Мазин, А. Л. Основы организации труда в строительстве: учебное руководство / А. Л. Мазин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2015. — 575 с.

## References

1. Afanasyeva, L.A. Development of methodological strategies for effective human resource management in construction structures / Afanasyeva, L.A. // Auditorium. – 2020. – No. 3. – P. 22-25.
2. Balynskaya, N. R. Criteria for analysis and evaluation of human potential in construction sites / Balynskaya, N.R. // Questions of Management. – 2019. – No. 2 (14). – P. 127-138.
3. Barbarskaya, M.N. Methodological foundations of personnel management in modern construction / Barbarskaya, M.N. // Fundamentals of Economics, Management, and Law. – 2019. – No. 4. – P. 35-44.
4. Bardasova, E.V. Human resource management strategies in the construction sector: progressive methods for sustainable development / Bardasova, E.V. // Bulletin of KSTU. – 2019. – No. 1. – P. 76-85.
5. Mazin, A.L. Fundamentals of labor organization in construction: textbook / A.L. Mazin. — 2nd ed., rev. and add. — Moscow: UNITI-DANA, 2015. — 575 p.

**Сулейманов Карим Абдуллаевич, Рябчевский Игорь Сергеевич, Богачева  
Марина Александровна**  
**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКРОПОРИСТОСТИ  
ЯЧЕЙСТЫХ БЕТОНОВ**

*ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова», кафедра строительства и городского хозяйства  
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46*

*Научные руководители: Лесовик Валерий Станиславович, д-р техн. наук,  
профессор, Погорелова Инна Александровна, канд. техн. наук, доцент*

**Аннотация:** В данной статье рассматриваются различные методы оценки макропористости ячеистых бетонов, направленные на детальное изучение их структуры и свойств. Освещены подходы, такие как абсорбция воды, анализ объема пор с использованием метода мерцания, определение плотности материала и метод адсорбции азота. Методы определения макропористости ячеистых бетонов предоставляют разносторонний анализ пористой структуры материала. Различные методики выделяют разные аспекты макропористости, что способствует более глубокому и всестороннему пониманию свойств ячеистых бетонов. Сочетание различных подходов обогащает информацию о размерах, форме и распределении пор в материале.

**Ключевые слова:** ячеистые бетоны, макропористость, абсорбция воды, инфильтрация, адсорбция азота

В современном строительстве одним из важнейших материалов являются ячеистые бетоны, обладающие уникальными свойствами, такими как легкость, высокая теплоизоляция и прочность [1-4]. Однако для эффективного проектирования и использования ячеистых бетонов необходимо иметь

подробное представление о их пористой структуре. Поры и каналы внутри бетонной матрицы играют ключевую роль в определении физических и механических характеристик материала, таких как прочность, тепло- и звукоизоляция.

Понимание пористой структуры ячеистых бетонов не только способствует разработке более эффективных строительных материалов, но также позволяет оптимизировать процессы производства и улучшить экологические характеристики бетонных конструкций [5].

Макропористость ячеистого бетона представляет собой физическое свойство материала, обозначающее наличие в его структуре крупных пор (макропор). Ячеистый бетон отличается тем, что в его составе присутствуют воздушные или газовые включения, формирующие характерную пористую структуру. Эти поры могут различаться по форме и размеру, занимая значительную часть общего объема материала. Рассмотрим основные методы определения макропористости ячеистых бетонов

Метод определения макропористости ячеистых бетонов через абсорбцию воды базируется на принципе изучения способности материала поглощать влагу. Процедура начинается с подготовки образцов ячеистого бетона, обычно в форме прямоугольных или цилиндрических элементов, предварительно высушенных. Затем образцы погружают в контейнер с водой на определенное время, где вода полностью охватывает поверхность материала [6].

После заданного времени образцы извлекаются из воды, и проводится измерение изменения их массы. Разность масс до и после этого этапа определяет количество воды, которую материал способен поглотить. Затем рассчитывается коэффициент абсорбции, представляющий собой отношение изменения массы к объему образца и времени его нахождения в воде. Этот коэффициент служит показателем водопоглощения и, следовательно, макропористости материала [6].

Результаты этого метода позволяют сравнивать макропористость различных образцов ячеистого бетона или контролировать качество материала в строительстве. Важно отметить, что эта методика предоставляет общую оценку макропористости и может быть дополнена другими методами для получения более полного представления о структуре ячеистого бетона.

Метод измерения объема пор (мерцание) представляет собой технику, используемую для оценки макропористости ячеистых бетонов, основанную на объеме пор в их структуре. Процедура осуществляется путем введения инертного газа под давлением в поры образца и измерения изменения объема газа в результате его взаимодействия с материалом.

Вначале подготавливаются образцы ячеистого бетона, затем к ним прокачивается газ под давлением. Затем измеряется изменение давления в камере, что напрямую связано с объемом газа, заполнившего поры образца. После этого проводится расчет объема пор с использованием уравнения состояния газа [7].

Полученный объем пор является индикатором макропористости материала. Большой объем пор указывает на более выраженную макропористость ячеистого

бетона. Этот метод предоставляет качественную и количественную оценку макропористости, что может быть полезно при конструировании материалов с требуемыми пористыми характеристиками.

Метод инфильтрации представляет собой процедуру определения макропористости ячеистых бетонов, фокусирующуюся на измерении скорости проникновения жидкости в материал. Этот метод позволяет оценить, насколько быстро бетон способен впитывать жидкость, что является показателем его макропористости [8].

На первом этапе готовятся образцы ячеистого бетона, предварительно прошедшие высушивание и готовые для тестирования. Затем образец подвергается постоянному давлению, после чего на его поверхность наносится жидкость, например, вода. Начиная с момента контакта с материалом, фиксируется время, в течение которого бетон впитывает жидкость, а также измеряется скорость инфильтрации, определяемая изменением уровня жидкости внутри образца.

Этот метод обеспечивает количественные данные о проницаемости ячеистого бетона для жидкости, где более высокая скорость инфильтрации свидетельствует о более выраженной макропористости материала. Результаты теста могут быть использованы для сравнения различных образцов ячеистого бетона или для контроля качества материала при строительстве.

Метод адсорбции азота – это техника определения макропористости ячеистых бетонов, основанная на их способности адсорбировать азотный газ при различных давлениях. В этом методе используется физический процесс адсорбции, где газ взаимодействует с поверхностью материала, зависящим от его пористой структуры [9].

Вначале подготавливаются образцы ячеистого бетона, затем они подвергаются воздействию азота при различных давлениях. В ходе взаимодействия азота с поверхностью образца регистрируются изменения объема адсорбированного газа. Полученные данные используются для построения изотермы адсорбции, отображающей зависимость объема адсорбированного азота от давления. Анализ изотермы позволяет выявить характерные участки, связанные с макропорами в структуре материала, и провести оценку макропористости. Более высокий объем адсорбированного азота при низких давлениях указывает на более выраженную макропористость материала.

Методы определения макропористости ячеистых бетонов предоставляют разносторонний анализ пористой структуры материала. Различные методики выделяют разные аспекты макропористости, что способствует более глубокому и всестороннему пониманию свойств ячеистых бетонов. Сочетание различных подходов обогащает информацию о размерах, форме и распределении пор в материале.

Важно отметить, что каждый метод обладает своими уникальными характеристиками и преимуществами. Например, метод адсорбции азота предоставляет высокую разрешающую способность для оценки макро- и

мезопор, в то время как измерение объема пор (мерцание) может быть более удобным для оценки больших пор. Комбинированное применение этих методов обогащает анализ и позволяет получить более полную картину о пористой структуре ячеистых бетонов.

### **Список литературы**

1. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Кондрашев К.Р., Сулейманов К.А., Пириев Ю.С. Энергосберегающие газобетоны на композиционных вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 4. С. 73-83.

2. Сулейманова Л.А. Управление процессом формирования пористой структуры ячеистых бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 2. С. 69-76.

3. Сулейманова Л.А., Коломацкий А.С., Погорелова И.А., Марушко М.В. Повышение эффективности производства и применения ячеистых бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 11. С. 34-42.

4. Сулейманова Л.А., Коломацкая С.А., Кара К.А. Энергоэффективный газобетон // В сборнике: Научные и инженерные проблемы строительной технологической утилизации техногенных отходов. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2014. С. 218-220.

5. Вылегжанин В.П., Пинскер В.А., Петрова Т.М. Микропористость ячеистого бетона и ее влияние на теплопроводность // Строительные материалы. 2021. № 8. С. 67–71.

6. Жуков А.Д., Бессонов И.В., Сапелин А.Н., Мустафаев Р.М. Композиционные материалы с регулируемой пористостью // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 6. С. 58-61.

7. Захаров, А. Г. Энергетические соотношения в системе пора - газ и их влияние на адсорбцию газов пористыми углеродсодержащими материалами // Химия твердого топлива. 2005. № 4. С. 72-84.

8. Умняков, П. Н. Влияние инфильтрации и эксфильтрации на теплозащиту ограждающих конструкций при учете пористости материалов // Жилищное строительство. 2014. № 10. С. 46-50.

9. Пиотровская Е.М. Бродская Е.Н. Моделирование адсорбции азота в порах графита при переходе от микропор к мезопорам методом Монте-Карло // Журнал физической химии. 2001. Т. 75, № 10. С. 1846-1849.

### **References**

1. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Kondrashev K.R., Suleymanov K.A., Piriev Yu.S. Energy-saving aerated concrete with composite binders // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova. 2016. No. 4. P. 73-83.

2. Suleymanova L.A. Control of the process of formation of the porous structure of cellular concrete // Vestnik BSTU im. V.G. Shukhova. 2016. No. 2. P. 69-76.

3. Suleymanova L.A., Kolomatsky A.S., Pogorelova I.A., Marushko M.V. Increasing the efficiency of production and application of cellular concrete // Vestnik BSTU im. V.G. Shukhova. 2017. No. 11. P. 34-42.

4. Suleymanova L.A., Kolomatskaya S.A., Kara K.A. Energy-efficient aerated concrete // In the collection: Scientific and engineering problems of construction and technological recycling of industrial waste. Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova. 2014. pp. 218-220.

5. Vylegzhanin V.P., Pinsker V.A., Petrova T.M. Microporosity of cellular concrete and its influence on thermal conductivity // Construction materials. 2021. No. 8. pp. 67–71.

6. Zhukov A.D., Bessonov I.V., Sapelin A.N., Mustafaev R.M. Composite materials with controlled porosity // Industrial and civil engineering. 2014. No. 6. P. 58-61.

7. Zakharov, A.G. Energy relationships in the pore-gas system and their influence on the adsorption of gases by porous carbon-containing materials // Solid Fuel Chemistry. 2005. No. 4. P. 72-84.

8. Umnyakov, P. N. The influence of infiltration and exfiltration on the thermal protection of enclosing structures when taking into account the porosity of materials // Housing Construction. 2014. No. 10. P. 46-50.

9. Piotrovskaya E.M. Brodskaya E.N. Modeling of nitrogen adsorption in graphite pores during the transition from micropores to mesopores using the Monte Carlo method // Journal of Physical Chemistry. 2001. T. 75, No. 10. P. 1846-1849.

**Ткач Е. В., Бурьянов А.Ф., Филимонова Ю. С.**

**РЕСТАВРАЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ  
МОДИФИЦИРОВАННОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО**

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26*

**Аннотация.** Целью исследований является научное обоснование технологического решения, обеспечивающего получение эффективного гипсового материала на основе высокопрочного гипса с полыми стеклянными микросферами для реставрационных работ. Обоснована возможность получения эффективного гипсового материала для реставрационных работ с пониженной средней плотностью и улучшенными показателями эксплуатационных свойств. Исследовано влияния модифицирования гипсового камня с полыми стеклянными микросферами (ПСМС), гидрофобно-пластифицирующей добавкой и метакаолином на формирование его структуры и свойства.

**Ключевые слова:** высокопрочный гипс, полые стеклянные микросферы, суперпластификатор, гидрофобизатор, синергетический эффект.

## **Введение**

В настоящее время многим памятникам архитектуры требуются реставрационные работы, при которых возникают проблемы по восстановлению деталей, штукатурки и лепнины [1-3]. Поэтому гипс для реставрации в современных условиях в совокупности должен обеспечить высокое качество работ, долговечность при эксплуатации, экологическую безопасность для человека и окружающей среды, снижение средней плотности и материалоёмкости реставрационных работ, негорючесть и белизну материала, эстетический вид. Наполнитель в гипсовых системах должен также соответствовать этим требованиям. К реставрационным гипсовым материалам, предъявляется комплекс требований по белизне, средней плотности, срокам схватывания, прочности [3-5]. Минимальная средняя плотность при требуемой прочности необходима потолочной лепнине, находящейся чаще всего на несущих деревянных конструкциях (балках, перекрытиях), которые со временем снижают свою несущую способность. Традиционные гипсовые реставрационные составы для лепнины имеют высокую среднюю плотность камня во влажном состоянии. Следовательно, на ослабленных деревянных конструкциях применение традиционных гипсовых составов приведёт к увеличению прогибов, разрушению исторической лепнины и самих конструкций.

Проанализированы известные гипсоцементно-пуццолановые вяжущие вещества с наполнителями для повышения прочности и водостойкости в виде цемента, диатомита, трепела, опоки, золы, аморфного кремнезёма, кварца и техногенных отходов. Для улучшения свойств гипсового камня вводили суперпластификатор, углеродные нанотрубки и силикатные наночастицы [6-10]. Для облегчения смеси применяли древесные опилки, гранулы из пеностекла, пенообразователи, керамзит и др.

Таким образом, решение задач получение эффективного гипсового материала на основе высокопрочного гипса с полыми стеклянными микросферами для реставрационных работ с высокими эксплуатационными свойствами с каждым годом становится всё более актуальным.

## **Материалы и методы**

В работе использовались высокопрочный гипс для художественной лепнины марки Г16 БШ Самарского завода, полые стеклянные микросферы (ПСМС) Новгородского завода «Стекловолокно» со средней плотностью  $0,3 \text{ г/см}^3$  и прочностью при объёмном сжатии 11,3 МПа. Применялся суперпластификатор Peramin SMF-10 (далее по тексту СП), представляющий собой порошок белого цвета (1-ая группа суперпластификаторов) и имеющий меламиноформальдегидную основу с активным радикалом  $-\text{SO}_3\text{Na}$ . Порошок гидрофобизатора Vinnapas 8031 Н (далее по тексту ГФ) также имеет белый цвет, состоит из тройного сополимера этилена, виниллаурата, винилхлорида и содержит до 15% ультрадисперсного наполнителя в виде мела и метакаолина. Использовался также высокоактивный метакаолин ВМК-45 (далее по тексту ВМК) с удельной поверхностью  $16215 \text{ см}^2/\text{г}$  и химической формулой  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1,26$

SiO<sub>2</sub>. В работе применялось современное оборудование НИУ МГСУ и стандартные методики определения свойств.

### Результаты исследования

Для разработки облегчённых гипсовых составов, необходимых для реставрации памятников архитектуры, требуется существенное повышение прочности при сохранении низких значений средней плотности. Для этих целей предлагается в смесь гипса, ПСМС (СП+ГФ) введение высокоактивного метаксаолина ВМК-45, количество которого было определено предварительными исследованиями. Было установлено, что эквивалентная замена 10 мас. % гипса на 10 мас. % метаксаолина, позволит значительно повысить пределы прочности при сжатии и на изгиб. Были определены свойства гипсового камня с 10 и 30% ПСМС. Последовательность снижения средней плотности и повышения прочности камня представлены в таблице 1.

Таблица 1

#### Свойства гипсового камня и камня с 10 и 30% ПСМС

Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>		Прочность, МПа, на		Влажность, %,
влажного	сухого	изгиб	сжатие	
<b>Гипсовый камень (без добавок), В/Г = 0,4</b>				
1850	1445	6,46	18,62	28,3
<b>Гипсовый камень с 10 % ПСМС, В/Г = 0,6</b>				
1301	867	1,77	3,12	57,1
<b>Модифицированный гипсовый камень с 10 % ПСМС, СП + ГФ, В/Г = 0,5</b>				
1350	1102	2,78	5,17	46,1

продолжение табл. 1

Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>		Прочность, МПа, на		Влажность, %,
влажного	сухого	изгиб	сжатие	
<b>Упрочнённый гипсовый камень с 10 % ПСМС, СП + ГФ, ВМК, В/Г = 0,48</b>				
1270	805	3,53	10,32	40,1
<b>Гипсовый камень с 30 % ПСМС, В/Г = 1</b>				
963	544	0,76	1,3	77,0
<b>Модифицированный гипсовый камень с 30 % ПСМС, СП + ГФ, В/Г = 0,84</b>				
911	531	1,83	4,11	58,2
<b>Упрочнённый гипсовый камень с 30 % ПСМС, СП + ГФ, ВМК, В/Г = 0,79</b>				
870	502	2,85	5,33	50,1

Анализ данных, приведенных в таблице 1, показал, что у упрочнённых гипсовых смесей и камня с 10% ПСМС В/Г или В/(Г+ВМК) снизилось на 20 и 4%, влажность уменьшилась – на 10 % за счёт фактического уменьшения отношения количества воды к сумме гипса и метаксаолина. При этом, средняя плотность снизилась на 14 %; а прочность при сжатии за счёт уплотнения структуры матрицы между микросферами увеличилась по сравнению с модифицированным составом – в 2 раза, с гипсовым камнем с 10 % ПСМС – в 3 раза, при этом марка по прочности – на 5 ступеней: с Г3 до Г10.

Были определены основные свойства упрочнённого гипсового камня с 30 % ПСМС в возрасте 2 часов (по сравнению с модифицированным и без добавок



соответственно): В/Г или В/(Г+ВМК) уменьшилось на 6 и 21 %. При этом, средняя плотность уменьшилась на 6,5 и 8 %, а прочность при сжатии увеличилась – на 29 % и в 4 раза, марка стала выше на 3 ступени – от Г 2; Г4 до Г5.

Определено, что у гипсовых смесей с 10 % ПСМС: без добавок; с СП+ГФ и СП+ГФ, ВМК соответственно, изменяются рН = 8; 8,2 и 7,7. Аналогично: для 30 % ПСМС рН=8,4; 8,6 и 7,4. Сроки схватывания по мере введения компонентов СП+ГФ и СП+ГФ, ВМК постепенно увеличиваются, что способствует улучшению качества проводимых работ по реставрации (удлиняется время работы с гипсовым тестом). На рис. 1 и 2 приведены РФА, на рис. 3 – фотографии микроструктуры камней с 10% ПСМС, СП+ГФ и с 10% ПСМС, СП+ГФ, ВМК с зонами проведения элементных анализов ПСМС и гипсовой матрицы.

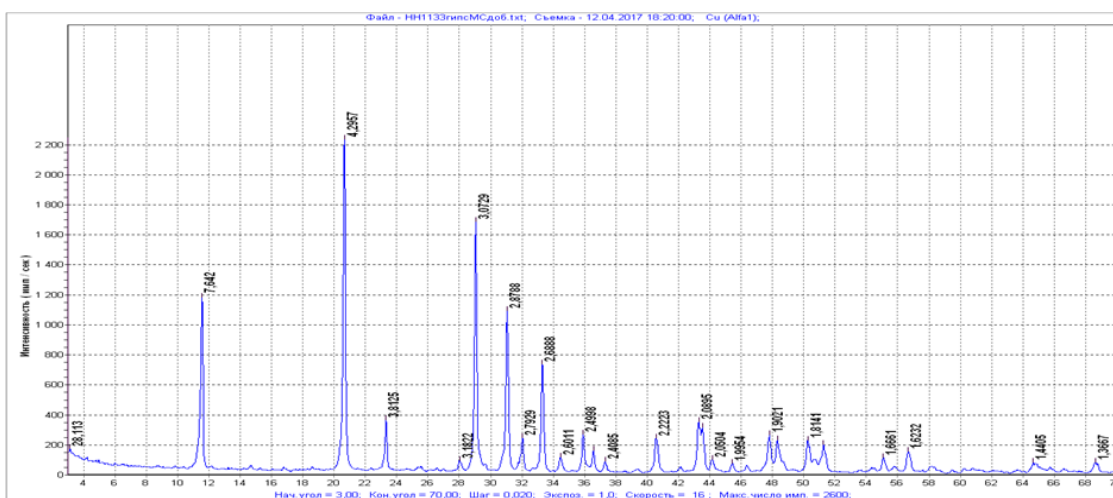


Рисунок 1. Рентгенограмма гипсового камня с 10 % ПСМС, СП+ГФ

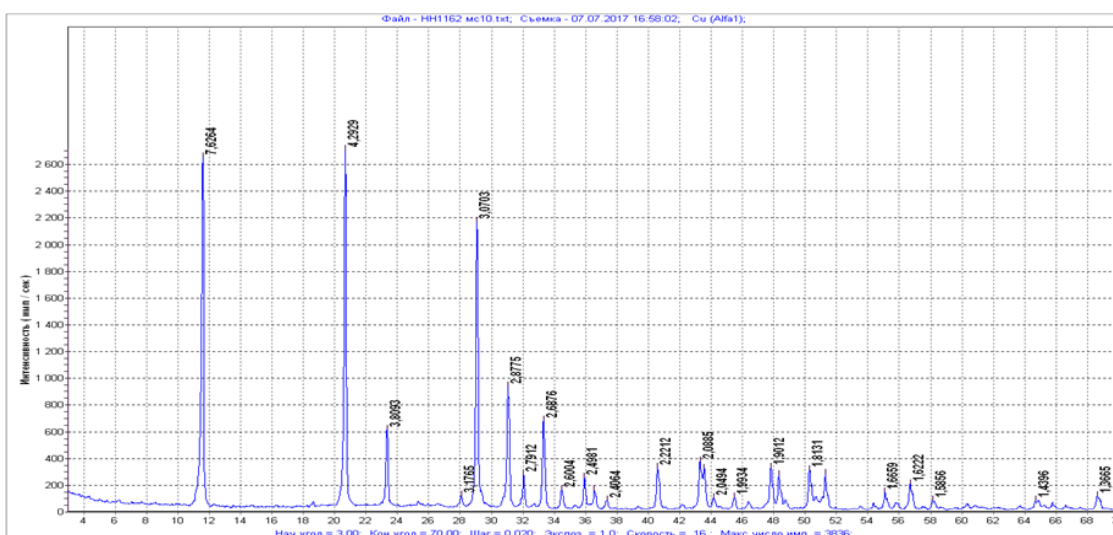


Рисунок 2. Рентгенограмма гипсового камня с 10 % ПСМС, СП+ГФ, ВМК

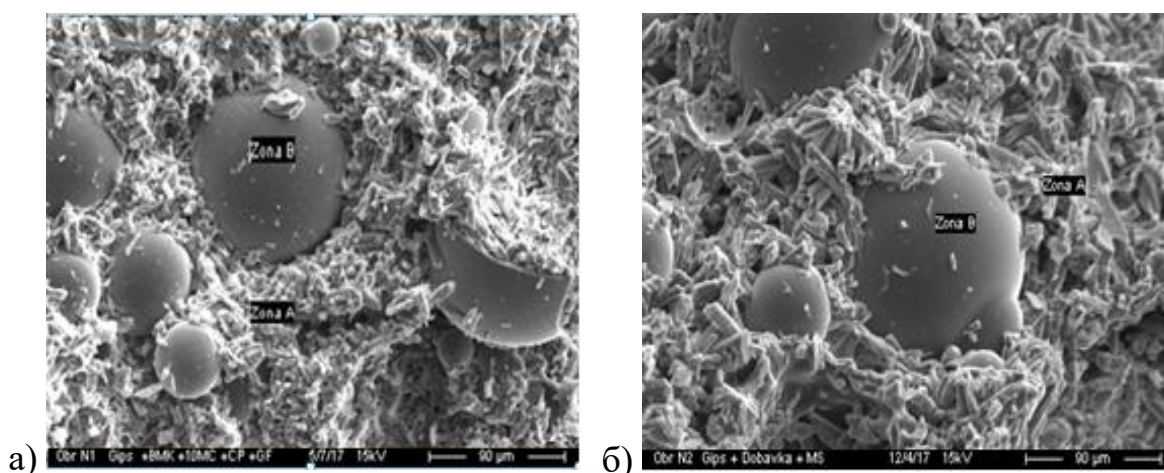


Рисунок 3. Микроструктура гипсового камня:

а – с 10 % ПСМС, СП+ГФ; б – с 10 % ПСМС, СП+ГФ, ВМК;

зона А – гипсовый камень; зона В – ПСМС

Микроструктура упрочнённого гипсового камня с 10 % и 30 % ПСМС отличается высокой однородностью распределения ПСМС в гипсовой матрице. При этом, формируется дендритоподобная структура из перекрещивающихся в разных плоскостях кристаллов гипса, которые формируют более прочную контактную зону между микросферой и гипсовым камнем. Однако, у камня с 30 % ПСМС формируется более пористая структура, чем у камня с 10% ПСМС.

### Заключение

Обосновано и экспериментально доказано, что совместное введение в высокопрочный гипс полых стеклянных микросфер (ПСМС), гидрофобно-пластифицирующей добавки (суперпластификатор (СП) PeraminSMF-10 + гидрофобизатор (ГФ) Vinnapas 8031 Н) и метакаолина способствует снижению В/Г, средней плотности и улучшает эксплуатационные свойства композиционного материала за счет синергетического эффекта, проявляющегося в интенсивности процесса образования кристаллогидратов более крупных размеров, образующих плотную дендритоподобную структуру модифицированного гипсового камня, обладающий следующими показателями в возрасте 2 ч (при расходе ПСМС 10 и 30 % соответственно): средней плотностью в сухом состоянии – 805 и 502 кг/м<sup>3</sup>; пределом прочности при сжатии 10,32 и 5,33 МПа; удельной прочностью – 12,9 и 10,66 МПа; прочностью сцепления с основанием – 1,85 и 0,9 МПа; водопоглощением по массе – 7,1 и 14,3 %; коэффициентом размягчения – 0,7 и 0,65; сорбционной влажностью – 3,1 и 4,2 %.

### Список литературы

1. Орешкин Д.В. Проблемы строительного материаловедения и производства строительных материалов // Строительные материалы. – 2010. - № 11. – С. 6-8.

2. Хаев Т.Э., Ткач Е.В., Орешкин Д.В. Модифицированный облегченный гипсовый материал с полыми стеклянными микросферами для реставрационных работ // Строительные материалы – 2017. – № 10. – С. 45-51.

3. Бурьянов А.Ф. Гипс, его исследование и применение от П.П. Будникова до наших дней // Строительные материалы. - 2005.- № 9.-С. 46-48.

4. Петропавловская В.Б., Белов В.В., Бурьянов А.Ф. Твердеющие кристаллизационные системы на основе порошков двухводного гипса // Строительные материалы. – 2007. - № 12. - С.46-47.

5. Петропавловская В.Б., Белов В.В., Новиченкова Т.Б., Бурьянов А.Ф., Пустовгар А.П. Оптимизация внутренней структуры дисперсных систем негидратационного твердения // Строительные материалы. - 2010. - № 7. - С. 22-23.

6. Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В. Проблемы промышленной переработки фосфогипса в РФ, состояние и перспективы // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 6. – С.273-276.

7. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Маева И.С., Корженко А., Бурьянов А.Ф., Мачюлайтис Р. Модификация ангидритовых композиций многослойными углеродными нанотрубками // Строительные материалы. - 2010. - № 7. - С. 25-27.

8. Гордина А.Ф., Яковлев Г.И., Полянских И.С., Керене Я., Фишер Х.-Б., Рахимова Н.Р., Бурьянов А.Ф. Гипсовые композиции с комплексными модификаторами структуры // Строительные материалы. - 2016. - № 1-2. - С. 90-95.

9. Фишер Х.Б. Исследование влияния многокомпонентных активаторов твердения на свойства природного ангидрита // Строительные материалы. 2023. № 1-2.

10. Petropavlovskaya V., Novichenkova T., Petropavlovskii K., Zavadko M. Influence of acid-activated micro-dispersed additive on the properties of cement sulphate-resistant compositions. В сборнике: Materials Research Proceedings. Сер. "Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment" 2022. С. 285-292.

**Федюк Роман Сергеевич<sup>1</sup>, Павликов Сергей Николаевич<sup>2</sup>**  
**ТЕХНОЛОГИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОТ ИДЕИ ДО**  
**РЕЗУЛЬТАТА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

<sup>1</sup>*Военный учебный центр при Дальневосточном федеральном университете;  
Приморский край, г. Владивосток, ул. Экипажная 18 строение 1, 690001*

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

**Аннотация:** В статье приведены основные элементы технологии научных исследований от научного тезиса до результата интеллектуальной деятельности. Рассмотрены вопросы: нормативные требования по диссертательности темы научного исследования, определение основных элементов: объекта и предмета исследования, проблемы и её места в пирамиде проблем, цели и задач, а также

методик поиска и обработки информации, формирования плана проведения и обработка результатов экспериментов, их взаимосвязь и контроль соответствия, методики защиты результатов интеллектуальной деятельности, апробация и публикации результатов, правила подготовки и защиты квалификационной работы. Оформление научной новизны, практической значимости и результатов интеллектуальной деятельности. Новизна предлагаемого подхода к освещению данной технологии показать пример построения и получение заведомо связанных результатов для обеспечения единства диссертационного исследования. Особенностью является освещение необходимости доведения полученных новых знаний до уровня зарегистрированных результатов интеллектуальной деятельности. Которые являются неотъемлемым показателем достигнутых авторами результатов НИР или НИОКР.

**Ключевые слова:** проблема, тема, план эксперимента, результаты интеллектуальной деятельности

## TECHNOLOGIES OF SCIENTIFIC RESEARCH FROM IDEA TO RESULT OF INTELLECTUAL ACTIVITY

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

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

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

**Annotation:** The article presents the main elements of the technology of scientific research from the idea to the result of intellectual activity. The following issues are considered: regulatory requirements for the dissertation of the topic of scientific research, determination of the main elements: the object and subject of research, the problem and its place in the pyramid of problems, goals and objectives, as well as methods of searching and processing information, justification of the plan and methods for processing the results of experiments, their interconnection and compliance control, methods of intellectual property protection, approbation and publication of results, rules for preparation and defense qualification work.

Registration of scientific novelty, practical significance and results of intellectual activity. The novelty of the proposed approach to the coverage of this technology is to show an example of construction and obtaining knowingly related results to ensure the unity of the dissertation research.

A special feature is the coverage of the need to bring the new knowledge obtained to the level of the registered results of intellectual activity. Which are an integral indicator of the results of research or R&D achieved by the authors.

**Keywords:** problem, topic, experiment plan, results of intellectual activity

Для участников научно исследовательской работы (НИР) важно знать её основы и особенности результатов интеллектуальной деятельности (РИД), которые и позволяют определить степень новизны, практической значимости и

достигнутого личного вклада в решаемую проблему, а также перспективы развития данного направления.

Проблема представляет несоответствие между желаемым и реально достижимым, которое не может быть решено без применения новых знаний, получаемых в результате целенаправленной инновационной деятельности.

У исследователя работа должна быть определена в соответствии с [1,2,3]:

- паспортом специальности;
- нормативными документами Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования;
- принятой в данной области науки терминологией;
- требованиями по оформлению автореферата, диссертации, объектов интеллектуальной собственности и других документов.

Основой НИР является учение об организации продуктивной деятельности человека. Которая направлена на получение объективно нового научного знания [2,3] и содержит процессы:

- сбора, описания, обобщения и объяснения новых фактов;
- формирование и проверка явлений, закономерностей, законов природы;
- поиск объяснения причин, сущности и проявлений исследуемых процессов;
- построение описательной и математической модели процессов и системы её реализующей;
- прогнозирование вариантов развития и условий их выбора;
- формирование рекомендаций по их применению;
- методики планирования и проведения теоретической и экспериментальной частей работы.

Важно не ошибиться в начале исследования. Требование диссертательности предусматривает обязательно новым должен быть предмет и/или объект исследования. При этом и объект, и предмет должны быть в составе темы НИР.

Тема научного исследования - это совокупность объекта и предмета в заданной области научного поиска. Тема НИР характеризуется единством цели, которая направлена на решения конкретной проблемы. Формирование доступной исследованию проблемы важнейший этап НИР.

Выбор темы предлагается начать с изучения паспорта специальности на которую аспирант прошел конкурсный отбор.

В структуре паспорта указаны область возможных тем исследований и область запрещенных направлений, ибо они соответствуют другому паспорту. А защищать диссертационную работу придется в диссертационном совете по направлению аспирантуры. Двойного понимания темы и её компонентов следует избегать, оставляя минимальные области смежных направлений. Перед защитой комиссия диссертационного совета (ДС) проверяет соответствие темы и полученных результатов паспорту специальности.

В паспорте специальности приведены около двух десятков возможных тем диссертационной работы (ДР).

Искусство научного руководителя состоит в том, чтобы, не выходя за рамки паспорта, предложить тему с новым объектом и/или предметом исследования. Иногда достаточно ограничить условия предмета исследования. Объект исследования материален, например, система, судно, сигнал и др. Предмет — это процессы объекта или с объектом.

Актуальность основана на важности решения проблемы и её элементов. Результаты НИР должны иметь научное и практическое значение.

Диссертационная работа представляет собой взаимосвязанные процессы, вытекающие один из другого и объединенные единой целью — решением поставленной проблемы. Проблема должна быть доступна для исследователя, а степень её решения будет характеризовать достигнута ли цель или придется корректировать объект, предмет, проблему, цель и задачи. Изменение темы в вузе возможно по решению ученого совета университета.

Научные результаты определены в соответствии с рекомендациями, изложенными в п. 9 Положения ВАК, «Диссертация должна... содержать совокупность новых научных результатов и положений, выдвигаемых автором для публичной защиты... и свидетельствовать о личном вкладе автора в науку». Результаты интеллектуальной деятельности (РИД) характеризует авторский вклад в науку.

Научные результаты (НР) включают:

- математическую модель;
- метод (способ);
- изобретение;
- алгоритм, программа для ЭВМ, база данных;
- методику;
- результаты эксперимента;
- систему проблем и место в ней решаемой проблемы;
- систему критериев и её связь с существующей системой оценки эффективности;
- уточненную классификацию объектов и предметов;
- рекомендации по применению в определенных условиях и ограничениях;
- диссертацию, автореферат, публикации и отчеты НИР.

Процесс выполнения научной работы включает следующие этапы [3]:

1. Анализ доступных направлений и выбор темы. Составление плана ДР и плана на год с определением НР и РИД [4];
2. Формирование структуры ДР;
3. Планирование теоретических и экспериментальных исследований;
4. Анализ промежуточных результатов и их влияние на теоретические и экспериментальные задачи;
5. Апробация промежуточных результатов для корректуры планов и элементов ДР;
6. Анализ и оформление РИД;

7. Отчет о достигнутых НР и РИД за прошедший период и составление плана на очередной год;

Теоретические методы включают аналитические методы с использованием математических моделей (ММ).

Аналитические методы используют физические (химические и др.) модели (ФМ), описывающих элементы и функциональные связи внутри и через среду применения объекта [1]; при этом устанавливают математическую зависимость между контролируемыми и/или управляемыми взаимосвязанными характеристиками и параметрами ММ и ФМ разного уровня описания [1];

Поиск технического противоречия (ТП) в проблеме и цели её решения является основным процессом, позволяющим не только получить решение, но и оптимизировать его.

При этом важно определить вид противоречия: организационное, физическое, химическое или иное. Проверить, не сводится ли противоречие к одному из них или минимальной совокупности. В работе [5] приведена методика решения технического противоречия. Решение которой начинается с её формализации. Это этап важен для выбора правильного направления исследований.

Процессы исследований состоят из следующих этапов:

- многомерный параметрический анализ предмета исследования;
- формирование научной гипотезы, тезиса как ориентир прогнозируемого НР по решению задачи или проблемы в целом;
- формирование моделей и их взаимосвязи;
- построение объекта в виде программной версии или физической, отражающего основные свойства требующих исследования;
- анализ и обобщение теоретических и практических исследований;
- формирование положений, выносимых на защиту, выводов по главам, заключения и их связи;
- корректирующие мероприятия этапов, связей, критериев и др. условий.

На основе опыта многих исследователей предлагается в роли контрольного документа применить наглядный развернутый план диссертационного исследования, упрощенный вариант которой приведен на рисунке 1.



Рисунок 1. Графический вид развернутого плана научного исследования

### Заключение

В докладе предложен вариант технологии построения и получение заведомо связанных результатов научной исследования. Особенностью является освещение необходимости доведения полученных новых знаний до уровня зарегистрированных результатов интеллектуальной деятельности. Которые являются неотъемлемым показателем достигнутых авторами результатов научной работы.

### Список литературы

1. Аверченков, В.И. Основы математического моделирования технических систем [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.И. Аверченков, В.П. Федоров, М.Л. Хейфец. - М.: Флинта, 2011. - 271 с. - Режим доступа: URL <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=93344>
2. Основы научной работы и методология диссертационного исследования [Электронный ресурс] / Г.И. Андреев, В.В. Барвиненко, В.С. Верба и др. - М.: Финансы и статистика, 2012. - 296 с. - Режим доступа: URL <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=221203>
3. Алексеев, В.П. Основы научных исследований и патентование [Электронный ресурс]: учебное пособие/ В.П. Алексеев, Д.В. Озёркин. - Томск:



Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. - 172 с. <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=209000>.

4. Единый депозитарий результатов интеллектуальной деятельности [Электронный ресурс]: <https://edrid.ru/>

5. Федюк Р.С., Павликов С.Н. Методика разрешения технических противоречий / Материалы VIII Всероссийской НПК ДВФУ, Владивосток, 7 – 12 августа 2023, С 146 – 151.

**Федюк Роман Сергеевич<sup>1</sup>, Павликов Сергей Николаевич<sup>2</sup>**  
**ПОИСКОВАЯ СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ**

*<sup>1</sup>Военный учебный центр при Дальневосточном федеральном университете;  
Приморский край, г. Владивосток, ул. Экипажная 18 строение 1, 690001*

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

**Аннотация:** В статье рассмотрены примеры построения поисковых систем подготовки вариантов технических решений проблемных задач. Автоматизация решения изобретательских задач предусматривает разработку вариантов для принятия окончательного решения специалистом или группой экспертов. Поисковые системы широко применяются, однако требуют постоянного совершенствования с учетом растущей сложности задач. Среди актуальных направлений является развитие системы сопряжения человека с информационной системой открытого типа. Формирование задания в виде запроса на решение технического противоречия характеризуется высокой степенью неопределенности. Результаты обработки запроса различными поисковыми системами отличаются. Требуется повышение надежности поиска вариантов решений. В этом состоит актуальности темы. Построение данной технологий является востребованной в технических приложениях. Объект исследования – поисковая система подготовки вариантов технических решений. Предмет - формирование облика, структуры и информационных связей поисковой системы. Структура, состав компонентов и правила настройки и обучения на область решаемых противоречий в заданных условиях. Новизна заключается в применении многоуровневого алгоритма поиска с использованием разных, по характеристикам, ПС первого этапа. Особенность которых, заключается в различии баз данных и знаний для настройки в процессе обучения разными экспертами.

**Ключевые слова:** проблема, тема, план, противоречие, техническое.

**SEARCH ENGINE FOR THE PREPARATION OF TECHNICAL SOLUTIONS**

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

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

**Annotation:** The article discusses examples of building search engines, preparing options for technical solutions to problematic problems. Automation of inventive problem solving involves the development of options for the final decision to be made by a specialist or a group of experts. Search engines are widely used, but they require constant improvement taking into account the increasing complexity of tasks. Among the current areas is the development of a system for interfacing a person with an open-type information system. The formation of a task in the form of a request for the solution of a technical contradiction is characterized by a high degree of uncertainty. The results of processing the query differ from one search engine to another. There is a need to improve the reliability of the search for solutions. This is the relevance of the topic. The construction of this technology is in demand in technical applications. The object of the research is a search system for the preparation of options for technical solutions.

The subject is the formation of the appearance, structure and information links of the search engine. Structure, composition of components, and rules for tuning and learning for the area of contradictions to be solved under given conditions. The novelty lies in the application of a multi-level search algorithm using PS of the first stage with different characteristics. The peculiarity of which lies in the difference between databases (DB) and knowledge (BR) for customization in the process of training by different experts.

**Keywords:** problem, theme, plan, contradiction, technical.

### **Введение**

В статье рассмотрены примеры построения поисковых систем (ПС) подготовки вариантов технических решений проблемных задач. Автоматизация решения изобретательских задач предусматривает разработку вариантов для принятия окончательного решения специалистом или группой экспертов. Поисковые системы широко применяются, однако требуют постоянного совершенствования с учетом растущей сложности задач. Среди актуальных направлений является развитие системы сопряжения человека с информационной системой открытого типа. Формирование задания в виде запроса на решение технического противоречия характеризуется высокой степенью неопределенности. Результаты обработки запроса различными поисковыми системами отличаются. Требуется повышение надежности поиска вариантов решений. В этом состоит актуальности темы. Построение данной технологий является востребованной в технических приложениях. Объект исследования – поисковая система подготовки вариантов технических решений. Предмет - формирование облика, структуры и информационных связей поисковой системы. Определены структура, состав компонентов и правила настройки и обучения в заданной области решаемых противоречий. На основе широкого спектра решенных задач, предложена базовая структура и правила отбора и решения технических противоречий. Новизна заключается в

применении многоуровневого алгоритма поиска с использованием разных по характеристикам ПС первого этапа. Особенность которых, заключается в различии базах данных (БД) и знаний (БЗ) для настройки в процессе обучения разными экспертами.

В работе приведен анализ методов подготовки решений технических задач с признаками противоречий. [1 - 3]. Поисковые системы не гарантируют положительного результата даже в течение длительного периода обучения. Самым трудоемким остается процесс отбора вариантов. Методы выбора остаются за экспертом [4]. С поисковой задачей ПС справляется удовлетворительно, применение искусственного интеллекта (ИИ) имеет и достоинства, и недостатки. Для повышения качества отбора вариантов – претендентов в работе [5] предложен матричный подход параллельного отбора, в котором принимают участие более двух ПС. Результат их работы в виде матрицы вариантов считается первым этапом и используется ПС второго этапа для комплексирования в итоговый реестр для работы эксперта.

Предлагается использовать алгоритма многоуровневого поиска с использованием разных по характеристикам ПС первого этапа. Особенность которых, заключается в различии базах данных (БД) и знаний (БЗ) для настройки в процессе обучения разными экспертами. Это позволяет обеспечить различие точек зрения на решаемую задачу. Желательно, чтобы эксперты имели смежные специальности.

Практическая значимость заключается в возможности дополнить технологии методов предварительного подготовки вариантов технического решения проблемы и согласовать ПС первого и последующего этапов.

Среди известных технических решений особый интерес представляет работа [4], в которой раскрыт процесс семантического анализа и отбора вариантов. Аналогичные системы приведены в описании работ [5 и 6]. Им присущи характерные недостатки в виде высокой зависимости от возможностей эксперта не столько принимать решение, сколько в способности формализовать задачу и осуществить поиск вариантов. Эти этапы характеризуются различными компетенциями.

В описании патента РФ [7] заявлен способ поиска методов разрешения технических противоречий и система на основе обучаемой нейронной сети. Однако приведены по существу методы отбора вариантов. Применение ИИ не гарантирует управленческого решения без участия эксперта. Эффективность обучения ИИ зависит от того, кто обучает. Сегодня разработчики программ ИИ привлекают всех желающих принять участие в обучении. Представьте, что в детском саду появятся все желающие поэкспериментировать в педагогике. Результат ожидаем. Поэтому логична иерархическая структура системы с цепями обратной связи.

Кроме этого следует в алгоритме поиска различать вид противоречия, известны информационные, физические, химические, технические и др., и для каждого из них будет своя технология. Своевременность и правильная

классификация противоречия снизит общие затраты ресурсов на работу комплекса поисковых систем.

В описании [7] приведен универсальный состав преобразований запроса и информационных баз до формирования устойчивых связей характеристик предмета исследования в виде набора матриц. Каждая матрица представляет собой вариант решения задачи. Полученные варианты оцениваются по ряду признаков и характеристик с целью ранжирования. Совокупность вариантов формируется правилами перебора. Данное техническое решение эффективнее других.

В работах [5 - 7] показана технология решения задачи в совокупности связей технического противоречия (ТП) как единого объекта исследования. Разбиение ТП на структурные элементы разрывает семантические связи, которые влияют на системный эффект. В данных работах найдены удачные технологии морфологического анализа и нечеткой логики для формирования устойчивых взаимосвязей характеристик предмета исследования и их визуализация для выбора предпочтений между двумя и путем перебора для множества вариантов.

В качестве основного недостатка рассмотренных работ следует указать на правило поиска нового технического решения с помощью одного и того же набора типовых приемов [5 - 8]. При этом результативность зависит от квалификации эксперта.

Таким образом, требуется [8]:

- расширить количество экспертов;
- оптимизировать выбор экспертов по совокупности компетенций;
- не надеяться на ИИ, а применить технологию логических выводов в составе комплекса ПС;
- применение числовых и нечетких технологий для решения подзадач, объединенных в иерархии системы;
- прогнозирование и применение связей, ранее не используемых в информационных базах знаний;
- применение процедуры распознавания вида противоречия для перехода к соответствующим частям алгоритма.

В результате отличительная часть предлагаемого технического решения [8] будет состоять из следующих процедур, а связь с общей частью [7] будет приведена на рисунке 1 условно. На рисунке приведен алгоритм работы комплекса ПС по подготовке вариантов технических решений, где обозначены:

1. – общая часть, состоящая из операций: ввод исходных данных содержит дополнительно формулирование: назначения объекта, области применения предмета, функций, режимов применения и задач объекта ТП и особенностей влияния носителя, местоположения, возможности перемещения, а также проблемы, цели – ожидаемого результата решения ТП и достигаемого эффекта, критериев и ресурсных ограничений, а также анализ известных методов решения аналогичных технических противоречий, кроме того анализ математических и физических моделей, методов снижения их размерности и оптимизационная

задача, при этом при фильтрация входных данных осуществляется снижение неопределенности в том числе и характеристик необходимых ресурсов,

2. - формирование функционирование не менее двух ПС первого уровня; систему управления разрешением ТП, состоящую из процессов выбора групп технических решений в виде вариантов (гипотез) подсистем, состоящих из выбора: математической и/или физической моделей ТП по уровням 1 - 3, структур гипотез и вариантов системы, выбор методов (алгоритмов) разрешения ТП, загрузка в виртуальные машины различных методов с различными порогами принятия решений для различных уровней решений;

3. - выбор системы критериев эффективности;

4. - планирование экспериментов,

5. - обоснование методики обработки результатов моделирования;

6. - настройки по обучаемой выборке;

7. - алгоритм адаптации пп. 1-6;

8. - регистрация заданных данных и визуализация полученных вариантов решений;

9. - проверки на соответствие результата решения ТП требованиям: техническим и др. характеристикам, ресурсам, если нет – то к п.10, если да, то переход к п. 2 с увеличением уровня;

10. - документирование решений данного уровня, корректура исходных данных;

11. - если три уровня не пройдены, то переход к п.1, иначе к п. 12;

12. - анализ полученных решений, выработка рекомендаций по изменению с п. 1; иначе к п.13;

13. – передача полученных вариантов решений ПС первого уровня в ПС второго уровня, содержащую процессы выбора групп технических решений в виде вариантов (гипотез) подсистем, состоящих из выполнения процедур с п. 1, с отличием в принятых последовательности уровней моделирования гипотезы/подсистемы включающей планирование экспериментов, методики проведения и обработки результатов в виде алгоритмов принятия решений по уровням: частные (3 уровень), парные (2 уровень), коллективное (1 уровень), иначе к п.14;

14 - анализ решений прямого с увеличением масштаба перебора и обратного от общего к частному с выработкой двух списков ранжированных решений:

15 - проверка на наличие доступных ресурсов, если да, то переход к п.1, если нет, то переходят к итоговому ранжированию решений;

16. – оценка полученных вариантов решений на соответствие критериям: связанность элементов, реализуемости, непротиворечивости, отсутствия циклов в решении алгоритмов и ресурсоемкости;

17 – формирование ранжированных вариантов с характеристиками: соответствия запрос - процесс – результат;

18 – документирование и информирование экспертов о завершении алгоритма работы.

Следующий этап предусматривает правила работы ПС второго уровня для обработки результатов предыдущего этапа. Что позволяет повысить

актуальность и релевантность полученного набора вариантов. В работах, приведенных ранее, рассматриваются процедуры принятия частного и коллективных решений проблемы.

Последний вариант рассчитан на случай высокой неопределенности поставленного запроса поиска. Регистрация полученных исходных данных, промежуточных и окончательных результатов совместно с использованными технологиями поиска.

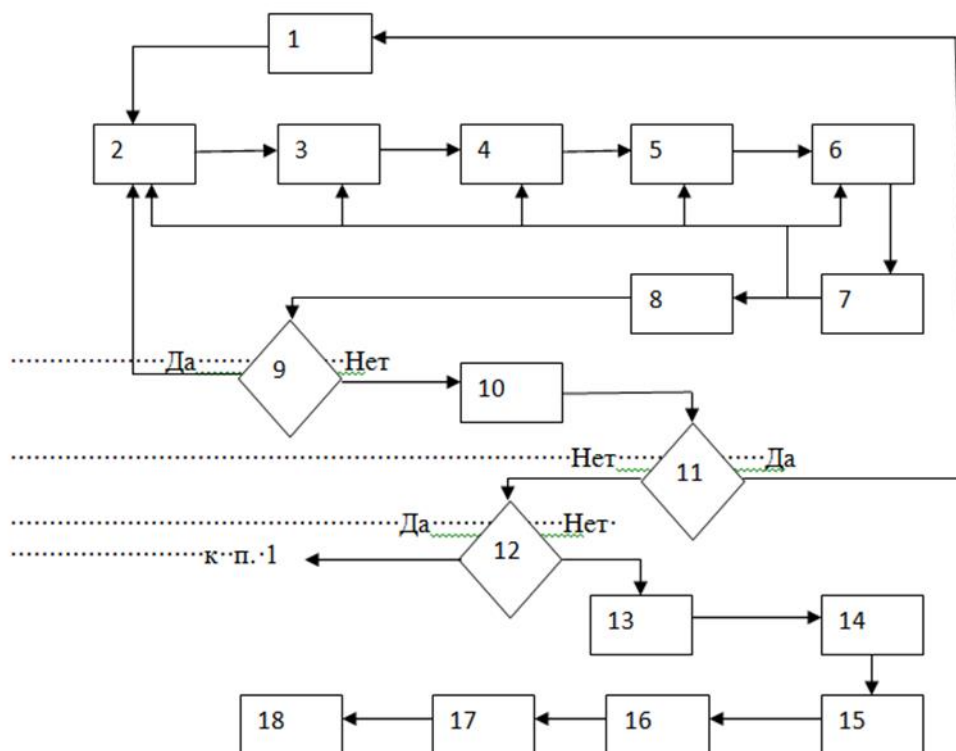


Рисунок 1 – Алгоритм работы комплекса ПС

### Заключение

Таким образом, предложена структура и многоуровневый алгоритма поиска с использованием разных по характеристикам поисковых систем разных этапов. Что позволяет расширить возможности поисковой системы в условиях ограниченных ресурсов с возможностью сокращения части процедур при повторном решении аналогичного запроса.

### 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.
8. Федюк Р.С., Павликов С.Н. Методика разрешения технических противоречий / Материалы VIII Всероссийской НПК ДВФУ, Владивосток, 7 – 12 августа 2023, С 146 – 151.

### References

1. Ruzavin G.I. Metodologiya nauchnogo issledovaniya: Ucheb. Handbook for Higher Educational Institutions. MOSCOW: UNITY-DANA, 1999. – 317 p. (in Russian)
2. Tsvetkov A.N., Zarembo V.E. Methods of Solving Creative Problems in Management: Educational and Practical Manual. Moscow, KNORUS Publ., 2011, 152 p.
3. Altshuller G. Find the Idea: Introduction to TRIZ – the Theory of Inventive Problem Solution. – 8th ed. Moscow, Alpina Publisher Publ., 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" under the patent of the Russian Federation No. 2564641.
6. Inventive machine V.M. Tsurikov. The Inventive 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. Method of Searching for Methods for Resolving Technical Contradictions, patent No. 2707917 published 02.12.2019, Bulletin. №34.
8. Fediuk R.S., Pavlikov S.N. Methodology for resolving technical contradictions / Proceedings of the VIII All-Russian Scientific and Technical Committee of the Far Eastern Federal University, Vladivostok, 7 – 12 August 2023, pp. 146 – 151.

**Секция № 8. Проектирование и строительство дорог,  
метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей**  
**Руководитель секции: Козлов Павел Геннадьевич, преподаватель  
Военного учебного центра при ДВФУ**

**Ахмаджанов Мирали Зафар углы<sup>1</sup>, Овчинников Игорь Георгиевич<sup>2</sup>**  
**ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ МОСТОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ  
ЖАРКОГО КЛИМАТА И ИХ СОСТОЯНИЕ В СОВРЕМЕННЫХ  
УСЛОВИЯХ (ПРИМЕНИТЕЛЬНО К РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН)**

<sup>1</sup>*Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, кафедра «Мосты, тоннели и строительные конструкции»,  
Москва, Ленинградский проспект 64, 125319*

<sup>2</sup>*Тюменский индустриальный университет, базовая кафедра «АО -  
Мостострой-11», Тюмень, ул. Володарского, 36, 625000*

**Аннотация:** Рассматривается состояние мостового парка республики Узбекистан. Отмечается весьма широкое использование железобетона для создания мостовых сооружений, причем отмечается наметившаяся тенденция перехода от сборного к монолитному железобетонному мостостроению. Обращается внимание на необходимость проведения широкомасштабных научных исследований по влиянию сухого и жаркого климата на поведение железобетонных конструкций. Анализируется эксплуатационное состояние мостовых сооружений в Узбекистане и отмечается тенденция к его ухудшению, если не проводить регулярных диагностики и оценки состояния (мониторинга) с целью выработки рациональной системы управления их эксплуатацией. Отмечается три периода в развитии мостостроения в республике Узбекистан и указывается, что в последнее время мостостроение в республике интенсифицировалось.

**Ключевые слова:** железобетонные мосты, монолитное мостостроение, эксплуатационное состояние мостов, повреждения мостовых сооружений, влияние сухого климата на железобетон.

Республика Узбекистан располагается в Среднеазиатском районе и граничит с такими республиками как: Афганистан, Казахстан, Кыргызстан, Таджикистан, Туркменистан. Столица Узбекистана город Ташкент. На юге ее располагается Аральское море площадью 66 тысяч квадратных километров, в которое впадают реки Амударья и Сырдарья. Чуть меньше половины территории республики Узбекистан (порядка 40%) представляет собой пустыню, а вон на востоке и юго-востоке располагаются горные области, к которым относятся предгорья и горы Тянь –Шаня.

Такое расположение и состав территории Узбекистана приводит к тому, что климат в республике резко континентальный, причем температура воздуха в



летние месяцы может превышать 42 градуса Цельсия, а в пустынных регионах в жаркий период может достигать 70 градусов по Цельсию.

Узбекистан является засушливым регионом с небольшим суммарным количеством осадков, которое в подавляющей части территории составляет не больше 200 – 300 мм.

Также следует отметить, что территория Узбекистана высоко сейсмичная, причем сейсмичность может достигать 809 баллов, и в столице Узбекистана за год может быть зарегистрировано не менее 700 толчков.

Суммарная протяжённость автомагистралей в Узбекистане достигает 183 тысячи км, причем к дорогам общего пользования относится 42,6 тысячи км.

Мосты в Узбекистане преимущественно железобетонные, этот материал широко применяется в балочных пролетных строениях длиной до 50 метров. Распределение мостов по длинам пролетов показано на рис. 1.

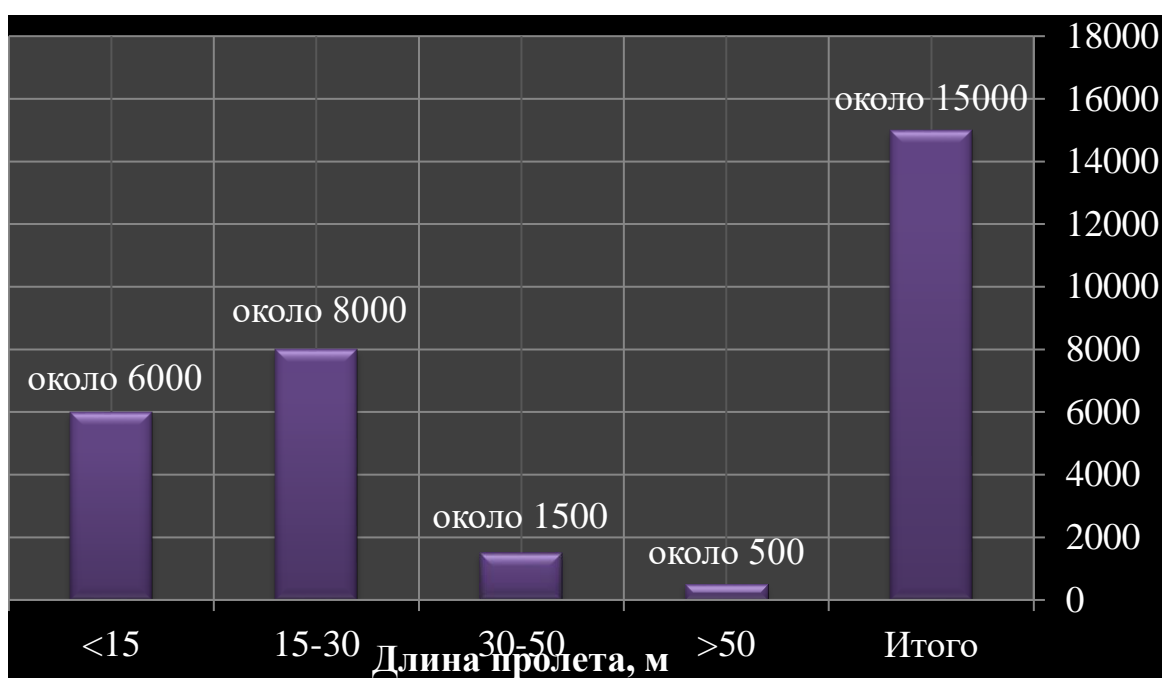


Рисунок 1. Количество мостовых сооружений в Узбекистане с разной длиной пролетов.

Как уже говорилось, для сооружения мостов интенсивно используется железобетон, причем в последнее время монолитный железобетон. Следует заметить, что сухая жаркая погода, характерная для республики, приводит к необходимости корректировать обычные технологии создания и даже эксплуатации железобетонных мостовых сооружений. Например, следует учитывать довольно быструю потерю подвижности бетонной смеси при ее транспортировке и выдерживании до укладки, возможное растрескивание бетона в процессе твердения и набора прочности, из-за значительной начальной усадки бетонной смеси, неравномерность температурного поля в железобетонных конструкциях из-за меняющегося направления освещения и нагрева солнечными

лучами. Все это может привести к сокращению долговечности мостовых железобетонных сооружений.

В результате можно полагать, что воздействие сухого и засушливого климата, характерного для Узбекистана, представляет собой весьма важный фактор, недоучет которого может привести к снижению грузоподъемности, потере устойчивости, сокращению долговечности, как опор, так и пролетных строений, что, в конечном счете, вызовет повышение аварийности мостовых сооружений.

Следовательно, учет воздействия сухого и засушливого климата на кратковременные (прочность и жесткость) и длительные (ползучесть, релаксация) механические характеристики материалов мостовых сооружений, работающих в условиях Узбекистана, необходим. Поэтому отметим, что исследования проблемы влияния сухого жаркого климата на железобетонные конструкции при различных схемах нагружения проводятся уже довольно давно. Сошлемся на авторефераты диссертационных исследований и публикации [1-8].

В мостовых сооружениях Узбекистана используются как плитные, так и ребристые поперечные сечения железобетонных пролетных строений, характерные их типы приведены на рисунках 2 и 3.

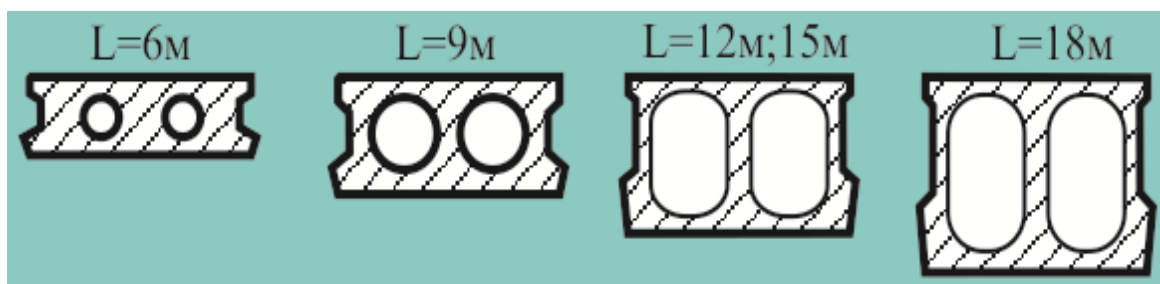


Рисунок 2. Характерные типы плитных поперечных сечений для пролетных строений различной длины.

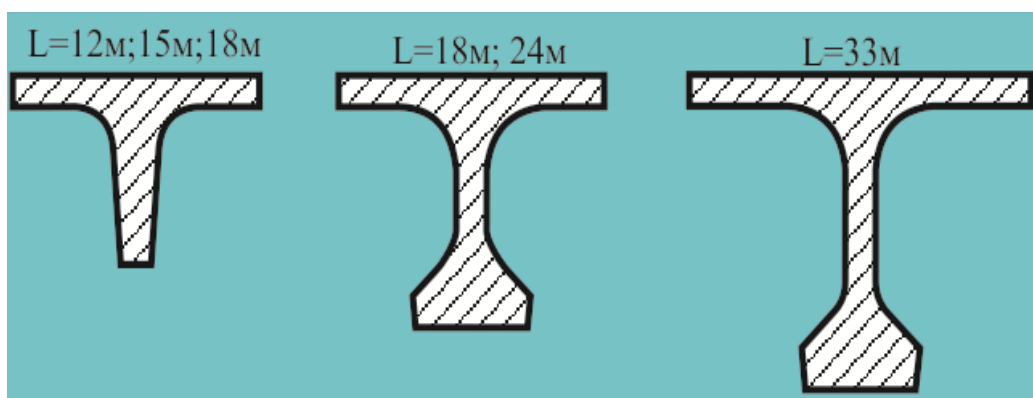


Рисунок 3. Характерные типы ребристых поперечных сечений для пролетных строений различной длины

Особенности технологии возведения железобетонных пролетных строений мостовых сооружений в условиях сухого жаркого климата рассмотрены в книге [9] и статьях [10 - 13].

Представляет большой интерес оценка эксплуатационного состояния мостовых сооружений республики Узбекистан. По данным ряда исследований [14,15] можно отметить, что на 2022 год имеем следующее:

- 52,7% мостов находятся в удовлетворительном состоянии,
- 40,9% мостов требуют ремонта,
- 6,4% мостов - не пригодны к эксплуатации, то есть относятся к аварийным.

Как известно, существующие нормативные документы, включая и нормы республики Узбекистан (ШНК 2.05.03-12 и ШНК 3.06.04-14), требуют проведения регулярных обследований и оценки эксплуатационного состояния мостовых сооружений с целью разработки и реализации мероприятий по обеспечению их дальнейшей безопасной эксплуатации. Однако в Узбекистане до недавнего времени такая работа практически не проводилась, в результате чего эксплуатационное состояние многих мостов Узбекистана неудовлетворительное, хотя ресурс их еще далеко не исчерпан.

Следуя [14] можно выделить три таких периода в эксплуатации мостов Узбекистана:

**Первый период** (до 1955 года). В это время мосты проектировались и строились в соответствии с нормативными документами советского периода, так как Узбекистан был частью Советского Союза.

**Второй период** (с 1955 по 1990 год). В это время интенсивно развивалась «железобетонная наука, в 1955 году был принят как основной метод расчета конструкций – метод расчета по предельным состояниям, согласно которому исследовалось поведение опасных сечений в элементах конструкций на действие предельной нагрузки. При использовании этого метода задавался характер эпюр напряжений в бетоне и арматуре, характерные точки которых определялись из одного уравнения равновесия, другое уравнение равновесия сечения (уравнение моментов) использовалось для проверки соответствия несущей способности сечения по изгибу и момента, возникающего в этом сечении от внешних нагрузок. Предельным считалось такое состояние, когда усилия от внешних нагрузок соответствовали несущей способности сечения. При таком подходе предполагалось, что предельное состояние наступает вследствие приложения к нагружаемому элементу опасной нагрузки. В основе метода лежала идея отказа от детального анализа всех состояний конструкций кроме предельных, по отношению к которым и формулировались требования к рассчитываемой конструкции.

Но анализ только предельных состояний конструкции приводит к тому, что рассматриваются в основном экстремальные нагрузки, а закономерности поведения конструкции при более низких уровнях нагрузок остаются неизвестными.

В этот период при проектировании мостов использовался только метод предельных состояний, а строительство мостов проводилось по нормам Советского Союза.

**Третий период** (с 1991 года по настоящее время). Вследствие распада Советского Союза Туркменистан стал отдельной республикой, и в нем появилась огромная потребность в мостовых сооружениях, запроектированных и построенных в соответствии с новыми нормативами.

Начиная с 1991 года, в республике ведется интенсивный ремонт и строительство новых мостовых сооружений, отремонтировано и построено более 175 мостовых сооружений, путепроводов, а также транспортных развязок. Причем в последнее время реализуется переход от сборного к монолитному железобетонному мостостроению

### **Список литературы**

1. Зезари С.Ф. Прочность и деформативность изгибаемых железобетонных конструкций в условиях сухого жаркого климата. Автореферат дис. ... кандидата технических наук. Москва. 1992.
2. Ризаев Б.Ш. Прочность, деформативность и трещиностойкость внецентренно-сжатых железобетонных элементов в условиях сухого жаркого климата. Автореферат дис. ... кандидата технических наук. Ташкент. 1993.
3. Камбаров Х.У. Железобетонные конструкции в условиях жаркого климата. Автореферат дис. ... доктора технических наук. Ташкент. 1998.
4. Седнави Гассан. Напряженно-деформированное состояние железобетонных пролетных строений мостов с учетом ползучести бетона в условиях жаркого климата. Автореферат дис. ... кандидата технических наук. Москва. 2010.
5. Ризаев Б.Ш., Мавлонов Р.А. Деформативные характеристики тяжелого бетона в условиях сухого жаркого климата. [Текст] / Б.Ш.Ризаев // Журнал «Вестник науки и творчества. / - Россия. Казань, 2017. -Выпуск №3.
6. Ризаев Б.Ш., Эгамбердиева Т.И. Анализ влияния сухого жаркого климата на работу железобетонных элементов// Экономика и социум, № 6 (85) ч.2, 2021, с. 191 – 196.
7. Ризаев Б.Ш., Мамадалиев АТ., Умаров И. И. Деформации усадки бетона в условиях сухого жаркого климата// Экономика и социум, №1(92), 2022, с.3-11.
8. Холмирзаев С.А. Деформативность, трещиностойкость и прочность сжатых железобетонных элементов из керамзитобетона в сухом жарком климате. Автореферат дис. ... кандидата технических наук. Ташкент. 2023.
9. Липсмайер, Г. Строительство в условиях жаркого климата // [Текст] Пер.с англ. А.С.Брика и под.ред.Ю.Н.Соколова.-Москва:Строиздат,1984.-191с.
10. Чижов С.В., Яхшиев Э.Т. Метод возведения дисперсно-армированных железобетонных пролётных строений мостов в условиях сухо-жаркого климата // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №5 (2016)

<http://naukovedenie.ru/PDF/05TVN516.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

11. Тринкер А. Б. Технологии бетонов в жарком климате // Технологии бетонов. 2018. № 1-2. С. 47–49.

12. Арчакова В. А., Давиденко А. Ю. Особенности производства бетонных работ в жарком и сухом климате : сб. ст. Наука молодых – будущее России. Сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых: в 6 томах / ЮЗГУ, Курск. 2018. С. 19–22.

13. Бельхадж Саид, Ибрагимов Р.А. Технология бетонирования в условиях жаркого климата Марокко//Известия КГАСУ, 2020, № 2 (52), с. 41 – 48.

14. Ганиев И.Г. Эксплуатационное состояние железобетонных мостов под эксплуатационными нагрузками//Научный журнал транспортных средств и дорог, 2022 №2, с. 108 – 124.

15. Хамдамов У.Ю., Байбулатов Х.А., Калпенова З.Д. Общее техническое состояние мостов и путепроводов на сети автомобильных дорог республики Узбекистан// Тенденции и инновации современной науки. Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции. Нефтекамск. 2022. С. 17-21.

**Бобриков Александр Игоревич, Примчук Анатолий Григорьевич  
О ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ  
МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

*Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, г.*

*Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10*

*Научный руководитель: Добрянский Руслан Францевич*

УДК 621.643.053

**Аннотация:** в работе проведен анализ сформировавшемуся подходу к осуществлению мониторинга технического состояния линейной части магистрального газопровода. Сделан вывод, что на данный момент наиболее универсальным методом является метод внутритрубной диагностики снарядами-дефектоскопами. Целесообразен поиск принципиально новых решений из-за того, что ВТД является экономически затратным процессом.

**Ключевые слова:** дефектоскоп, ВТД, газопровод, ЭХЗ, ЛЧМГ.

**ON TECHNICAL DIAGNOSTICS OF THE LINEAR PART OF MAIN GAS  
PIPELINES**

**Bobrikov Aleksandr Igorevich**

*Far Eastern Federal University, 690922, Primorsky Krai, Vladivostok, Russian*

*Island, Ajax village, 10*

*Scientific adviser: Dobryansky Ruslan Frantsevich*

**Abstract:** In the work, the analysis of the formed approach to realization of monitoring of a technical condition of a lineal part of the main gas pipeline is carried out. The conclusion is made that at the present moment the most universal method is the method of in-line diagnostics by shells-defectosopes. It is expedient to search for principally new solutions due to the fact that in-pipe inspection is an economically expensive process.

**Keywords:** flaw detector, in-line diagnosis, gas pipeline, ECP, LPMGP.

На сегодняшний день, согласно [1], общая протяженность газопроводов составляет порядка 150 000 км. При этом важным фактором их эксплуатации является то, что среднестатистическое рабочее давление газопровода находится в районе 7,5 МПа. В то же время, например, на одном из участков газопровода «Голубой топаз» рабочее давление составляет не менее 10 МПа. Высокое давление, которое является неотъемлемой частью промышленной эксплуатации магистральных газопроводов, приводит к высоким значениям механических напряжений на конструкцию трубы.

По характеру нагрузки на конструкцию трубопровода можно выделить следующие основные группы магистральных газопроводов: подземные газопроводы, надземные газопроводы, подводные газопроводы.

Техническая диагностика линейной части магистральных газопроводов (ЛЧМГ) проводится с целью мониторинга следующих параметров и характеристик:

- 1) оценка целостности конструкции металлических труб и сварных узлов;
- 2) степень износа изоляционных покрытий и степень старения средств ЭХЗ (электрохимической защиты) [2].

Согласно Р Газпром 2-2.3-691-2013 [3] методика оценки технического состояния магистральных газопроводов включает следующие этапы:

- 1) проведение расчета количественной оценки оставшегося нормативного срока безопасной эксплуатации линейной части магистрального газопровода и выявление возможных причин критического отказа;
- 2) расчет вероятного экономического и экологического рисков в случае возникновения аварийных ситуаций;
- 3) составление экономического анализа по проведению планового технического диагностирования состояния ЛЧ магистрального газопровода;
- 4) составление плана мероприятий по реализации технического диагностирования.

Согласно [1] в настоящее время наиболее целесообразным методом мониторинга технического состояния газопроводов является комплексная трехуровневая система, которая включает:

- 1) осуществление аэрокосмической съемки, которая характеризует проведение геотехнической диагностики;
- 2) проведение классической внутритрубной диагностики (ВТД);

3) точечный мониторинг наиболее критически опасных и уязвимых участков газопровода с применением комплекса инструментов и приборов.

Одним из наиболее известных и разработанных методов осуществления точечного мониторинга является применение так называемых интеллектуальных вставок (рис.1.), которые преимущественно используются на участках газопроводов, расположенных в горной части.

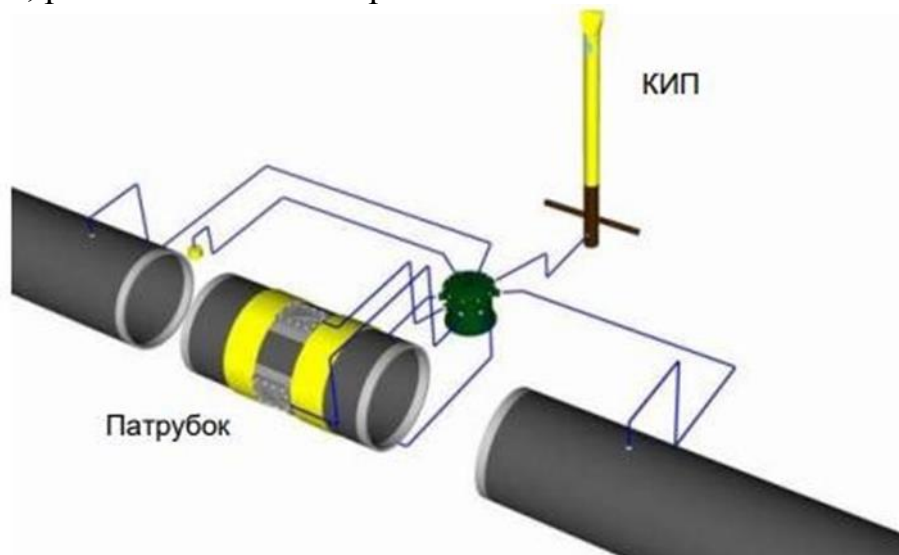


Рисунок 1. Комплекс технических средств интеллектуальной вставки [4]

Применение интеллектуальных вставок позволяет осуществлять как постоянный, так и периодический контроль технического состояния конструкции трубы магистрального трубопровода. Метод основан на измерении величины механических напряжений, что позволяет проводить оценку как предела прочности стенки трубопровода, так оставшийся ресурс прочности.

В целом можно выделить следующие основные методы осуществления технической диагностики состояния элементов линейной части магистральных газопроводов: магнитные; оптические; внутритрубные; аэрокосмические; геодезические; радиолокационные; радиографические; акустические.

Среди перечисленных выше методов повсеместное применение на данный момент имеет метод внутритрубной диагностики. ВТД – метод определения технического состояния внутренней полости трубопровода, благодаря применению специальных устройств – дефектоскопов. Средства – дефектоскопы применяются в основном магнитного типа с продольным или поперечным намагничиванием. Цель проведения ВТД – выявление участков с дефектом конструкции или нарушением целостности стенки трубы для проведения последующих ремонтно-восстановительных работ.

Внутритрубная диагностика необходимая, но в то же время материально-затратный метод контроля технического состояния линейной части магистрального газопровода [5-6]. Для его реализации необходимы следующие технико-конструктивные элементы и особенности:

- 1) наличие камер пуска и приема СОД (для предварительной очистки внутренней полости трубопровода перед непосредственным пуском снаряда – дефектоскопа);
- 2) постоянный внутренний диаметр на диагностируемом участке трубы;
- 3) минимальный радиус изгиба трубопровода на диагностируемом участке не может быть менее пяти его диаметров;
- 4) наличие специальных сигнальных приборов и маркерных устройств, которые будут регистрировать факт прохождения дефектоскопа или очистного скребка.

Комплекс подготовительных работ и непосредственное проведение внутритрубной диагностики снарядами-дефектоскопами регламентирован [5].

Таким образом в работе была рассмотрена такая область технической диагностики, как контроль технического состояния магистральных газопроводов. Данное направление регламентировано многими техническими документами. Одним из наиболее универсальных, несмотря на свою дороговизну в реализации, является метод ВТД снарядами-дефектоскопами. В качестве основного направления дальнейших исследований можно назвать поиск принципиально нового, менее дорого метода, который не уступал бы в качестве объема получаемой информации ВТД.

### **Список литературы**

1. Стеклов, О.И. Комплексная техническая диагностика магистральных газонефтепроводов / О.И. Стеклов // Территория Нефтегаз. – 2006. – № 4. – С. 20-23.
2. Повышение эффективности капитального ремонта магистральных газопроводов на основе совершенствования диагностики технического состояния / А.А. Филатов, Н.Х. Халлыев, И.И. Велиюлин, А. Д. Решетников // Территория Нефтегаз. – 2012. – № 2. – С. 25-27.
3. Р Газпром 2-2.3-691-2013. «Методика формирования программ технического диагностирования и ремонта объектов линейной части магистральных газопроводов ЕСГ ОАО «Газпром»
4. Москалева, В.В. Особенности применения методов технической диагностики линейной части магистральных газопроводов в условиях Краснодарского края / В.В. Москалева, М.А. Меретуков // Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования : Материалы 3 Всероссийской научно-практической конференции, Чебоксары, 25 июля 2022 года. – Чебоксары: Негосударственное образовательное частное учреждение дополнительного профессионального образования "Экспертно-методический центр", 2022. – С. 48-57.
5. Алексеев Г.В., Фершалов М.Ю., Фершалов Ю.Я., Луценко В.Т. Влияние режимных факторов на степень реактивности малорасходных турбинных ступеней // Научное обозрение. 2012. № 2. С. 332-345.



6. СТО Газпром 2-2.3-095-2007 «Методические указания по диагностическому обследованию линейно части магистральных газопроводов»

**Евдокимов А.А.<sup>1,2</sup>, Венедиктова М.А.<sup>1</sup>, Славин А.В.<sup>1</sup>, Федотов М.Ю.<sup>2</sup>**  
**ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ АРОЧНЫХ БЫСТРОВЗВОДИМЫХ**  
**МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ**

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» – ВИАМ,  
Россия, Москва, ул. Радио,17, 105005*

<sup>2</sup>*Российская инженерная академия, Россия, Москва, Газетный пер.,  
д. 9 стр.4, 125009 (e-mail: [evdokanton@mail.ru](mailto:evdokanton@mail.ru))*

**Аннотация:** Статья посвящена рассмотрению технологий, примененных при строительстве быстровозводимого арочного автомобильного моста из композиционных материалов, а также основных этапов его строительства. Мост, построенный по данной технологии в районном поселении Языково Ульяновской области, имеет длину пролета 11,98 м, выдерживает нагрузку до 100 тонн, не требует капитальных вложений долгое время, способен выдерживать воздействие открытого пламени в течение более 10 минут и постоянно контролируется системой мониторинга с применением волоконно-оптических датчиков деформации и температуры.

**TECHNOLOGY OF CONSTRUCTION OF ARCHED PREFABRICATED**  
**BRIDGE STRUCTURES**

*Evdokimov Anton A.<sup>1,2</sup>, Venediktova Maria A.<sup>1</sup>, Slavin Andrey V.<sup>1</sup>,  
Fedotov Mikhail Yu.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*National Research Center «Kurchatov Institute» – VIAM, Russia, Moscow*

<sup>2</sup>*Russian Academy of Engineering, Russia, Moscow, Gazetny lane, 9, bldg. 4, 125009  
(e-mail: [evdokanton@mail.ru](mailto:evdokanton@mail.ru))*

**Abstract:** Article is devoted to the consideration of technologies used which have been applied at construction of the prefabricated arch automobile bridge made of composite materials, as well as the main stages of construction. The bridge constructed on this technology in the regional settlement of Yazykovo of the Ulyanovsk region, has the span length of 11,98 m, maintains loading to 100 tons, long time does not require capital investments, withstands the effects of the flame of fire for more than 15 minutes and is constantly supervised by monitoring system using fiber optic sensors of deformation and temperature.

**Ключевые слова:** полимерный композиционный материал, арочный мост, огнезащитный материал, волоконно-оптический датчик, волоконная брэгговская решетка.

**Key words:** polymer composite materials, arch bridge, flame retardant material, fiber-optic sensor, fiber Bragg grating.

## **Введение**

В настоящее время на территории России существует огромное количество мостов через малые реки, которые находятся в аварийном состоянии и требующие ремонта или реконструкции. Решение этой проблемы требует продуманного и взвешенного подхода, учитывая достаточно сложную экономическую ситуацию в стране: максимальное сокращение издержек на производство комплектующих элементов и стоимости готового мостового сооружения при увеличении сроков полезного использования и межремонтного интервала. Для решения данной проблемы в НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ совместно с АО «НИИГрафит» впервые в России была разработана технология строительства быстровозводимых автомобильных арочных мостов с использованием полимерных композиционных материалов (ПКМ) нового поколения на основе стеклянных и углеродных армирующих волокнистых наполнителей, позволяющая изготавливать составные элементы для строительства в непосредственной близости от строящегося моста, тем самым свести транспортно-логистические издержки фактически к нулю. Кроме того, применение ПКМ нового поколения позволяет увеличить срок полезного использования мостового сооружения свыше 50 лет [1].

Основными несущими конструкциями такого рода сооружений являются арочные элементы, изготавливаемые с применением преформ на основе углеродного волокна. Арочные элементы из углепластика (УП) – полые конструкции, являющиеся несъёмной внешней опалубкой для бетонной смеси, которая посредством насоса нагнетается внутрь арочных элементов. Таким образом, создаётся конструкция, способная воспринимать максимально возможные сжимающие нагрузки за счет создаваемого в бетоне оболочкой из УП пространственно-напряженного состояния, так называемого эффекта «обоймы», приводящего к повышению несущей способности бетонного ядра, т.е. увеличению разрушающей нагрузки без увеличения площади сечения (рисунок 1) [2].

На основании поведённого анализа литературы по этому вопросу были определены приоритетные задачи для решения поставленной цели:

- разработка ПКМ и технологий изготовления несущих конструкций из них, применяемых для изготовления составных частей мостовых конструкций (арочных элементов и профилированного настила), достаточно прочных, чтобы выдержать статические и динамические нагрузки, и, в то же время, легких, чтобы строительство мостов могло выполняться без применения крупногабаритной тяжелой строительной техники;

- обеспечение защиты конструкций мостового сооружения из ПКМ от воздействия открытого пламени огня на максимально возможный срок;

- обеспечение непрерывного удаленного неразрушающего контроля (НК) – мониторинга мостового сооружения в режиме реального времени для недопущения возникновения аварий на объекте.

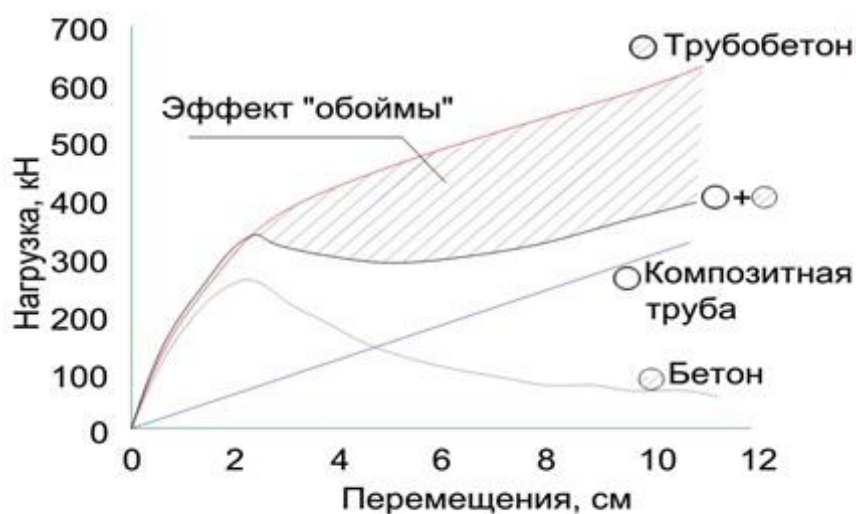


Рисунок 1 – Диаграмма напряжение-деформация у образцов: бетон, труба из ПКМ, бетон внутри трубы из ПКМ (трубобетон)

### Материалы и методы исследования

Технология возведения мостового сооружения подразумевает, что в производственных условиях изготавливаются полые арочные элементы из УП и листы стеклопластикового (СП) профнастила, которые доставляются на место строительства, или организуется производственная площадка в непосредственной близости от места строительства. На заранее возведенный фундамент монтируются арочные элементы весом 30 – 150 кг в зависимости от пролетной длины моста, после чего они заполняются бетоном. Затем поверх арочных элементов монтируется профнастил, на который наносится слой торкретбетона и засыпается грунт, после чего укладывается дорожное покрытие. Таким образом, весь цикл строительства ориентировочно занимает около 3 месяцев.

Основную полезную нагрузку в конструкции арочного моста воспринимает арочный элемент, изготавливаемый с использованием плетёной углеродной преформы и эпоксивинилэфирного связующего по технологии вакуумной инфузии. Данный метод обладает неоспоримым преимуществом при изготовлении крупногабаритных деталей сложной геометрической формы при производствах мелких серий и позволяет изготавливать несущие конструкции в полевых условиях без применения громоздкого и дорогостоящего оборудования [3].

Отдельной важной задачей являлся подбор оптимального угла ориентации углеродного волокна в преформе относительно продольной оси арочного элемента. Была предложена и реализована схема ориентации волокон под углом 40°. При таком угле ориентации радиальные и продольные нагрузки на готовое изделие воспринимаются наиболее скомпенсировано [4].

Дефекты, возникающие в деталях из ПКМ в процессе их изготовления, существенно ухудшают эксплуатационные характеристики изделий и резко снижают их надежность. Поэтому перед отправкой готовых арочных элементов на строительную площадку был проведен их проверка по выявлению дефектов методом ультразвукового контроля (УЗК). Используемый импедансный метод УЗК позволяет выявлять дефекты разного вида, в том числе в виде трещин и расслоений, ориентированных перпендикулярно поверхности арочного элемента. Это дает возможность контролировать качество арочных элементов на этапе изготовления [5].

Поверх арочных элементов и сбоку от них в конструкции моста предусматривается монтаж листов профилированного настила из ПКМ на основе равнопрочной ткани и эпоксивинилэфирного связующего, также изготавливаемого методом вакуумной инфузии. Таким образом, в первом случае листы профилированного настила использовались в качестве распределительного слоя, передающего нагрузку от дорожного полотна на арочные элементы, во втором – как порталная стенка, воспринимающей боковые нагрузки от засыпной песчано-гравийной смеси.

#### **Экспериментальные результаты и их обсуждение**

В соответствии с проектной документацией на «Автомобильный арочный мост с арочными элементами постоянного круглого сечения из ПКМ с бетонным сердечником и профилированным настилом, с двумя полосами движения и пешеходными тротуарами» был построен пилотный объект – двухполосный быстровозводимый мост с использованием в качестве надземных частей опор арочных элементов и профилированного настила из ПКМ нового поколения по адресу: Ульяновская область, районное поселение Языково в створе ул. Крупской в месте пересечения с ручьем Соловей. Для строительства пилотного мостового сооружения было необходимо 19 арочных элементов длиной 11,98 м и стрелой подъема 1,62 м радиусом по огибающей поверхности 11,0 м и 32 листа профилированного настила габаритами 3000×1500 мм толщиной 4 мм. При этом на 3 арочных элемента были интегрированы по 6 волоконно-оптических датчиков (ВОД) деформации и 1 ВОД температуры.

Перед работами по устройству фундамента проводились подготовительные работы по планировке территории. Конструкция фундамента представляла собой два ряда забивных свай длиной 12 м сечением 35х35 см. В соответствии с проектной документацией забивка свай производилась под углом 10-15° на глубину 10 м. При этом использовался дизельный молот, установленный на мачте самоходной копровой установки.

Для объединения свай с ростверком производилась срезка их оголовков. Работы по срезке оголовков и последующие работы по устройству ростверков осуществлялись под защитой шпунтового ограждения типа Ларсена Л-IV. Конструкция шпунтового ограждения представляла собой не замкнутую трапецию. Погружения шпунта осуществлялось при помощи той же копровой установки, что и для погружения свай. Для предотвращения поступления воды

со дна котлована, огороженного шпунтовым ограждением, устраивался бетонный томпанажный слой.

Устройство ростверка осуществлялось в 2 яруса в несколько этапов. На первом этапе проводилось изготовление арматурного каркаса обоих ярусов с обвязкой арматурного каркаса железобетонных свай. Затем производилось бетонирование первого яруса ростверка.

Далее вручную производилась установка арочных элементов, в том числе и с ВОД в соответствии со схемой (рисунок 2). Бетонирование второго яруса ростверка осуществлялось после монтажа всех арочных элементов. При защите мест контакта металл-углепластик использовалась антикоррозионная паста марки ВП-1, а также системы на основе грунтовок ЭП-076 и эмали ЭП-140, разработанные в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

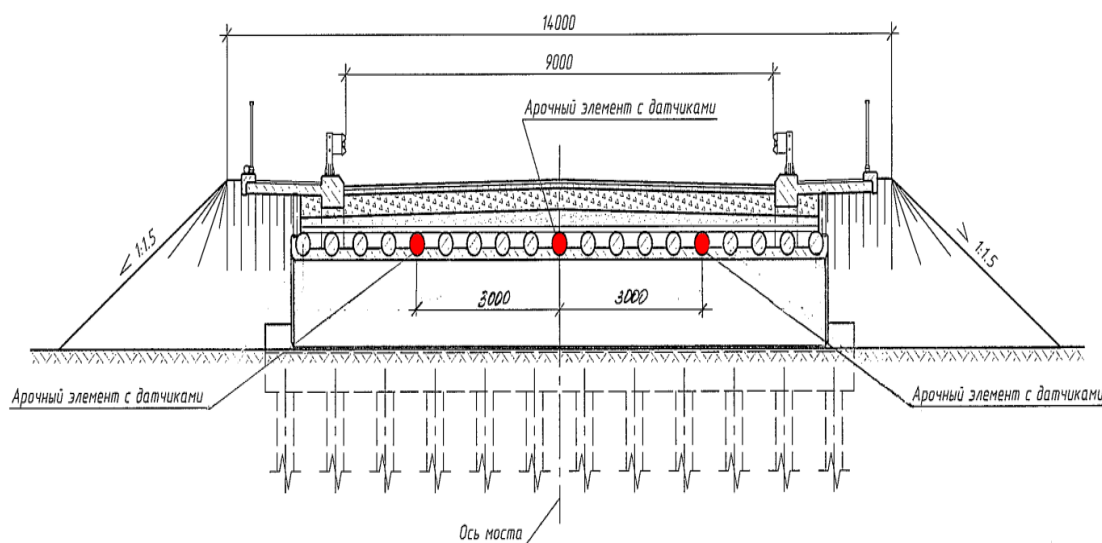


Рисунок 2. – Схема расположения арочных элементов в мосту

После набора прочности бетона второго яруса ростверка были проведены подготовительные работы по бетонированию арочных элементов, включающие в себя изготовление технологических отверстий диаметром 150 мм в центре каждого арочного пролета. Бетонирование арочных элементов осуществлялось через сделанное отверстие безусадочным бетоном с показателем подвижности П5 с помощью автобетононасоса. Полнота заполнения арочных элементов бетоном контролировалась по отверстиям диаметром 5 мм, сделанным в арке по всей длине через 1 м. Также проводилась диагностика арочных элементов на наличие внутренних полостей на границе ПКМ-бетон с помощью импедансного метода УЗК.

В период набора прочности бетонного ядра арочных элементов проводились работы по монтажу профилированного настила поверх арочных элементов, а также монтаж порталных стенок из профилированного настила из ПКМ, воспринимающего распорные нагрузки, передаваемые на грунт от дорожного полотна, и играющего роль внешней опалубки и гидроизоляции.

Дополнительным условием к эксплуатации мостового сооружения, возведенного с использованием конструкций из ПКМ, является обеспечение

защиты открытых наружных порталных стенок от пожара и воспламенения. В НИЦ «Курчатовский институт – ВИАМ» для этого были проведены исследования по подбору наиболее подходящего огне-, теплозащитного покрытия (ОТЗП) и выбрана огнезащитная паста вспенивающего типа марки ВЗО-9х поскольку она является трудносгораемой и самозатухающей, имея минимальное тепло- и дымовыделение, высокий коэффициент вспенивания. Кроме того, паста полностью отвечает комплексу требований FAR-25 (АП-25) и стойка к воздействию агрессивных сред [6, 7]. Результаты исследований защитных свойств ОТЗП, нанесенного на углепластик и стеклопластик представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Результаты испытаний на пожарную опасность систем ПКМ+ОТЗП**

Наименование показателя	Система	Значение
Группа горючести	СП+ВЗО-9Х	Г 1
	УП+ ВЗО-9Х	Г 1
Воспламеняемость	СП+ВЗО-9Х	В 2
	УП+ ВЗО-9Х	В 2
Группа распространения пламени	СП+ВЗО-9Х	РП 1
	УП+ ВЗО-9Х	РП 1
Коэффициент дымообразования	СП+ВЗО-9Х	Умеренная дымообразующая способность
	УП+ ВЗО-9Х	Умеренная дымообразующая способность

В конструкции моста, методом распыления было нанесено ОТЗП на профилированный настил, используемый для изготовления порталных стенок.

Поверх огнезащитного покрытия для дополнительной защиты профилированного настила от воздействия атмосферных факторов была нанесена, разработанная в НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ, фторполиуретановая эмаль марки ВЭ-69. Данная эмаль была выбрана благодаря её высокой адгезии, эластичности и низким показателям влагопропускания.

По окончании устройства порталных стенок после набора прочности бетона в арках была произведена засыпка надарочного пространства привозным песчаным грунтом и песчано-гравийной смесью с уплотнением до коэффициента уплотнения 0,95. После этого были проведены работы по благоустройству моста, включающие в себя асфальтирование тротуаров и проезжей части в два слоя, укрепление конуса берегов и монтаж защитного ограждения (рисунок 3).



Рисунок 3. – Готовый арочный мост

После завершения работ по благоустройству мостового сооружения была проведена установка, подключение и настройка системы мониторинга арочных элементов и детектора транспортного потока.

Контроль за возникновением деформаций в конструкциях чаще всего осуществляется с помощью визуальных методов, сигнальных меток или различных тензорезисторных устройств. Строящиеся, а также большая часть уже имеющихся построек, особенно объекты повышенной опасности, в настоящее время требуют нового подхода к безопасности, которая не может быть осуществлена за счет периодического осмотра и установкой геодезических маяков. Для прогнозирования возможных разрушений на ранней стадии, особенно при возникновении форс-мажорных ситуаций, требуется непрерывный мониторинг всей инженерной конструкции. Такая система была разработана в НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ.

Волоконно-оптическая система мониторинга арочных элементов моста состоит из сети соединенных между собой ВОД деформации и температуры, а также устройства их опроса.

На основании теоретических данных о распределении деформаций и нагрузок в арочном элементе, была разработана пространственная топология ВОД (рисунок 4). Датчики деформации располагались симметрично вдоль верхней и нижней осей арочного элемента, причем значения длин дуг  $L1, L2, L3$  и  $L4$  определялись размерами арочного элемента, при условии, что длины дуг равны  $L1 = L2 = L3 = L4$ . Поскольку показания ВОД деформации зависят от температуры, для корректного измерения деформации на арочном элементе установлен дополнительный свободный от механических воздействий термокомпенсирующий ВОД температуры.

Чувствительный элемент ВОД представлял собой волоконную брэгговскую решетку (ВБР), корпус – из СП на основе клеевого препрега КМКС 2м.120.Т10.37. В качестве клеевого состава для склеивания частей корпусов ВОД, а также наклеивания ВОД на арочный элемент был использован клей ВК-58.

На дорожном полотне пилотного объекта также был установлен экспериментальный дорожный детектор нагрузки и оценки транспортного потока с использованием ВОД на основе ВБР. Принцип действия дорожного детектора на мосту также основан на изменении сигналов от ВБР при воздействии на неё деформаций. К преимуществам применения ВБР в качестве чувствительных элементов в дорожном детекторе следует отнести их нечувствительность к электромагнитным воздействиям, коррозии, имеющиеся возможности объединения ВОД в единую сеть и расположения опросного устройства на значительном расстоянии от объекта.

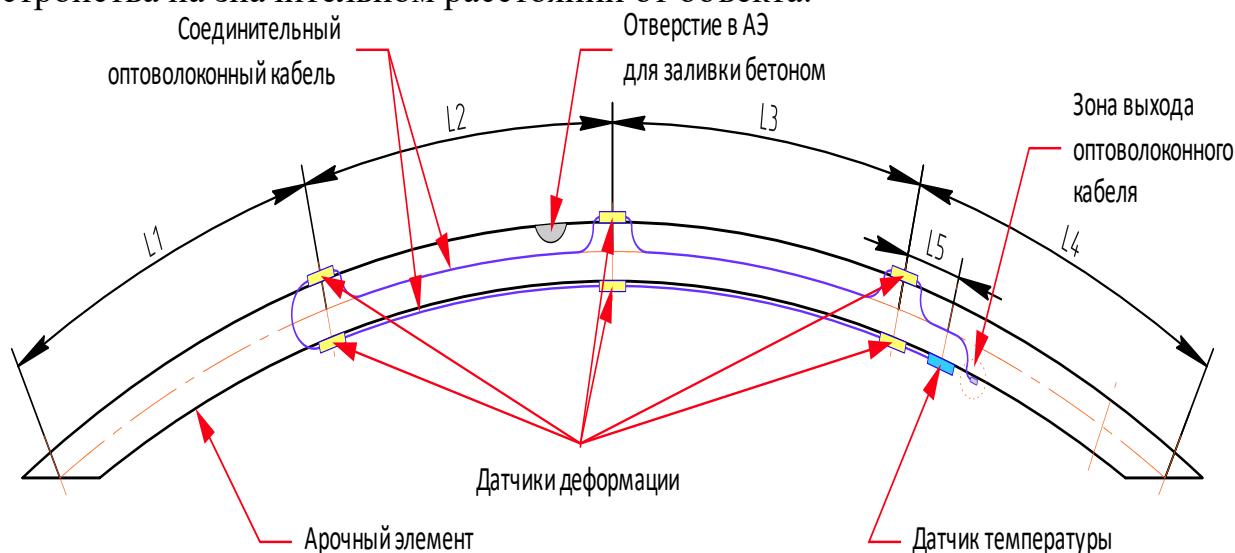


Рисунок 4. – Схема расположения ВОД на арочном элементе

Оптическое волокно с линейкой ВБР было интегрировано в ПКМ и помещено в защитный прочный герметичный корпус, который был непосредственно закреплен на дорожное полотно, что обеспечило равномерное распределение нагрузки на ВОД.

Поскольку ВБР реагирует на изменение температуры окружающей среды, был использован дополнительный термокомпенсирующий ВОД температуры. Он выполнен в виде фрагмента, используемого в детекторе оптического волокна с ВБР, защищенного от механических воздействий, и расположенного внутри корпуса дорожного детектора.

Установленный на мост дорожный детектор полностью соответствует требованиям, предъявляемым для эксплуатации автомобильных дорог: высота не более 15 мм, ширина (в направлении движения транспортных средств) не более 600 мм. Он состоит из двух групп по 9 секций в каждой и устанавливается с помощью анкерных болтов на асфальтированную проезжую часть. Первая группа секций, соединенная в линию поперек проезжей части, установлена на расстоянии 4 м от края фундамента арочных элементов, а вторая – на расстоянии 0,2 м от края первой группы секций. Зная расстояние между линиями детекторов, можно определять скорость автомобилей. Оптоволоконный кабель, выходящий от периферийной секции каждой группы детектора, соединяется с подводящим



кабелем, который проложен в траншее в гофрошланге и соединен с оптическим кроссом.

Оборудование системы мониторинга, включающее оптический разветвитель, анализатор сигналов ВОД, сервер, консоль, источник бесперебойного питания, было установлено в блок-контейнер и подключено между собой для анализа поступающей информации от ВОД и детектора транспортного потока. При этом каждое входящее оптоволокно вначале подключено в оптический разветвитель для возможности упрощения диагностики каждого элемента (арочный элемент или одна из двух групп детектора) и далее к анализатору сигналов (рисунок 5) [8].

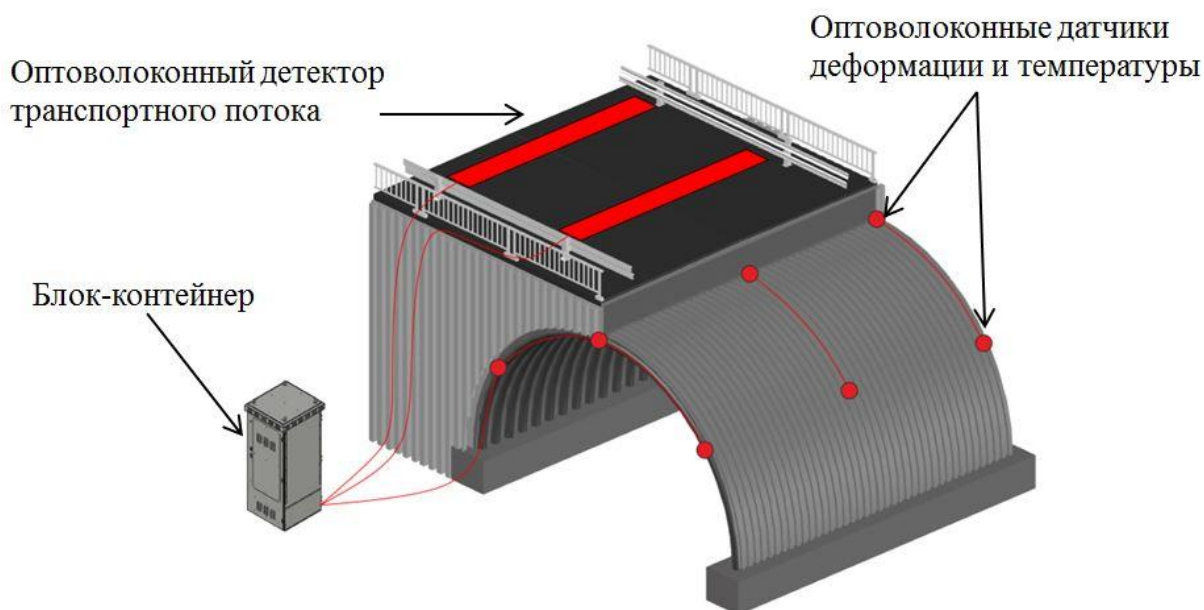


Рисунок 5. – Схема системы мониторинга арочного моста

С целью анализа сигналов от ВОД деформации и температуры, и детектора транспортного потока в НИЦ «Курчатовский институт»-ВИАМ было разработано программное обеспечение, которое установлено на сервер [9]. После подключения оборудования и его соединения с ВОД деформации и температуры и детектором транспортного потока была проведена их настройка и последующее включение для непрерывной работы системы мониторинга моста.

### **Заключение**

В НИЦ «Курчатовский институт»-ВИАМ совместно с АО «НИИграфит» была проведена большая работа по разработке материалов и технологий для производства быстровозводимых арочных мостов из ПКМ. Первый в России по данной технологии был построен за 3,5 месяца в районном поселении Языково Ульяновской области. Мост может выдерживать нагрузку до 100 тонн, не требует капитальных вложений долгое время, способен выдерживать воздействие открытого пламени в течение более 10 минут и постоянно контролируется системой мониторинга, при этом цена мостового сооружения практически не отличается от мостов, построенных по традиционным технологиям.

### Список литературы:

1. Власенко, Ф. С. Применение плетеных преформ для полимерных композиционных материалов в гражданских отраслях промышленности (обзор) / Ф. С. Власенко, А. Е. Раскутин, К. И. Донецкий // Труды ВИАМ. – 2015. – № 1. – С. 5. DOI: [10.18577/2307-6046-2015-0-1-5-5](https://doi.org/10.18577/2307-6046-2015-0-1-5-5).
2. Михалдыкин, Е. С. Применение трубобетонных конструкций с оболочкой из полимерных композиционных материалов при строительстве малых мостов: специальность 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Михалдыкин Евгений Сергеевич, 2021. – 129 с.
3. Вешкин, Е. А. Пути повышения качества деталей из ПКМ при вакуумном формовании / Е. А. Вешкин, В. И. Постнов, П. А. Абрамов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 4-3. – С. 834-839.
4. Евдокимов, А. А. Полимерный композиционный материал, изготавливаемый по технологии вакуумной инфузии с формообразованием при температурах до 40 °С: специальность 05.17.06 «Технология и переработка полимеров и композитов»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Евдокимов Антон Андреевич, 2022. – 116 с.
5. Мурашов, В. В. Контроль качества оболочек арочных элементов надземных частей опор быстровозводимых мостовых сооружений из ПКМ / В. В. Мурашов, М. В. Слюсарев, А. А. Евдокимов // Труды ВИАМ. – 2016. – № 7(43). – С. 10. – DOI [10.18577/2307-6046-2016-0-7-10-10](https://doi.org/10.18577/2307-6046-2016-0-7-10-10).
6. Исследование возможности применения огнезащитной пасты для повышения пожаробезопасности конструкций из ПКМ / М. А. Венедиктова, А. А. Евдокимов, Л. Л. Краснов, А. П. Петрова // Труды ВИАМ. – 2021. – № 9(103). – С. 67-75. – DOI [10.18577/2307-6046-2021-0-9-67-75](https://doi.org/10.18577/2307-6046-2021-0-9-67-75).
7. Венедиктова, М. А. Огне-, теплозащитные покрытия с улучшенными эксплуатационными, технологическими и экологическими характеристиками: специальность 05.16.09 «Материаловедение (машиностроение)»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Венедиктова, Мария Анатольевна, 2021. – 114 с.
8. Дышенко, В. С. Дорожный детектор в системах безостановочного автоматического взвешивания / В. С. Дышенко, А. Е. Раскутин, М. А. Зуев // Труды ВИАМ. – 2016. – № 5(41). – С. 12. – DOI [10.18577/2307-6046-2016-0-5-12-12](https://doi.org/10.18577/2307-6046-2016-0-5-12-12).
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017661616 Российская Федерация. АркаПКМ-Контроль: № 2017618522: заявл. 23.08.2017: опубл. 17.10.2017 / Е. Н. Каблов, А. Е. Раскутин, В. В. Махсидов [и др.]; заявитель Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» (ФГУП «ВИАМ»).

**Караханян Вадим Барменович**  
**ОСОБЕННОСТИ НАГРУЗОК И ВОЗДЕЙСТВИЙ НА**  
**МАГИСТРАЛЬНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ**

*Саратовский государственный технический университет, кафедра  
«Транспортное строительство», Саратов, улица Политехническая, дом 77,  
410054*

**Аннотация:** в статье рассматриваются различные виды нагрузок и воздействий, оказывающих влияние на поведение магистральных трубопроводов. Предложена классификация действующих на трубопроводы нагрузок на постоянные и временные, статические, квазистатические и динамические, причем особо выделены сейсмические нагрузки. Также выделены детерминированные (неслучайные) и случайные нагрузки. Случайные нагрузки могут быть представлены в виде случайных величин или случайных функций, причем случайные нагрузки могут быть непрерывными, т.е. принимающими континуальное множество значений на некотором отрезке, или дискретными, принимающими счетное множество значений. Также нагрузки могут описываться скалярными, векторными и тензорными случайными функциями.

Отмечается, что основной источник информации о случайных внешних нагрузках и воздействиях это опытные данные, причем большинство нагрузок отличается значительным разбросом их основных параметров.

В заключение приводится информация о работах, посвященных моделированию поведения трубопроводов с учетом воздействия агрессивных эксплуатационных сред, причем основное внимание уделено задачам моделирования конструкций с учетом коррозионного износа и коррозионного растрескивания.

**Ключевые слова:** магистральные трубопроводы, нагрузки на трубопроводы, систематизация нагрузок, моделирование коррозионного износа, моделирование коррозионного растрескивания

В процессе сооружения, испытаний, в пусконаладочный период, в период эксплуатации, при проведении профилактических мероприятий и ремонтных работ конструкции магистральных газопроводов подвергаются воздействию внешних нагрузок различной природы.

Среди всего многообразия нагрузок и воздействий основное влияние на надежность, безопасность и долговечность магистральных газопроводов оказывают нагрузки в период эксплуатации. При этом считается, что на остальных стадиях жизнедеятельности газопроводов, суммарная продолжительность которых много меньше периода эксплуатации, риск возникновения аварийных ситуаций должен быть сведен к минимуму в результате реализации системы инструктивных и нормативно-технических мероприятий по контролю качества материалов, монтажных, испытательных, ремонтных и других работ.

Нормативные документы устанавливают два типа нагрузок, действующих на конструкции во время эксплуатации: постоянные и временные.

Применительно к газопроводным конструкциям к постоянным относятся нагрузки от собственного веса, давления газа, реакции опор, давления грунта для подземных газопроводов, гидростатические нагрузки для подводных газопроводов, предварительные и остаточные напряжения в элементах, а также другие нагрузки, которые действуют в течение всего срока службы.

Временные нагрузки подразделяются на длительные, кратковременные и особые. Они отличаются от постоянных нагрузок тем, что в отдельные периоды эксплуатации могут отсутствовать. К таким нагрузкам относятся температурные, климатические нагрузки, нагрузки от неравномерных осадок грунта, в том числе при сезонном оттаивании в зонах вечной мерзлоты, от пучения грунтов, снеговые, гололедные нагрузки, нагрузки от ураганных порывов ветра, резкие перепады давления газа, сейсмические нагрузки, ударное воздействие посторонними предметами, действие взрывной волны и другие нагрузки, связанные с возможностью возникновения аварийных ситуаций.

По характеру воздействия на конструкции нагрузки постоянного и временного типов можно подразделить на статические и динамические. Статические нагрузки — это нагрузки, интенсивность которых не меняется во времени. К этому классу нагрузок относятся также нагрузки, которые изменяются во времени достаточно медленно, так что их период изменения намного превышает период собственных колебаний конструкций. Такие нагрузки называются квазистатическими. Примерами статических (квазистатических) нагрузок являются нагрузки от собственного веса, давления газа, давления грунта, статическая составляющая ветровой или гидравлической нагрузки, температурные и сезонные нагрузки других типов.

Динамические нагрузки отличаются тем, что их характерные периоды изменения во времени сопоставимы с периодами собственных колебаний газопроводных конструкций. К их числу относятся динамические составляющие ветровой или волновой нагрузки, связанные с пульсациями воздуха или воды, вибрационные нагрузки от вспомогательного оборудования, пульсации давления газа и др.

К специальному классу временных нагрузок, которые могут быть как статического, так и динамического типа, относятся особые нагрузки, которые характеризуются тем, что встречаются довольно редко, но по своим последствиям могут привести к созданию критических или аварийных ситуаций. К числу таких нагрузок относятся сейсмические нагрузки, резкие перепады давления газа, воздействие взрывной волны, ураганные порывы ветра и аварийные воздействия других типов.

По способам описания нагрузки (постоянные или временные, статические или динамические) можно подразделить на детерминированные (неслучайные), и случайные. Например, нагрузка от собственного веса относится к типу постоянной статической детерминированной нагрузки, а сейсмическое воздействие — к типу временной особой динамической случайной нагрузки.

Изложенные принципы классификации нагрузок на магистральные газопроводы схематически показаны на рис. 1 [1].

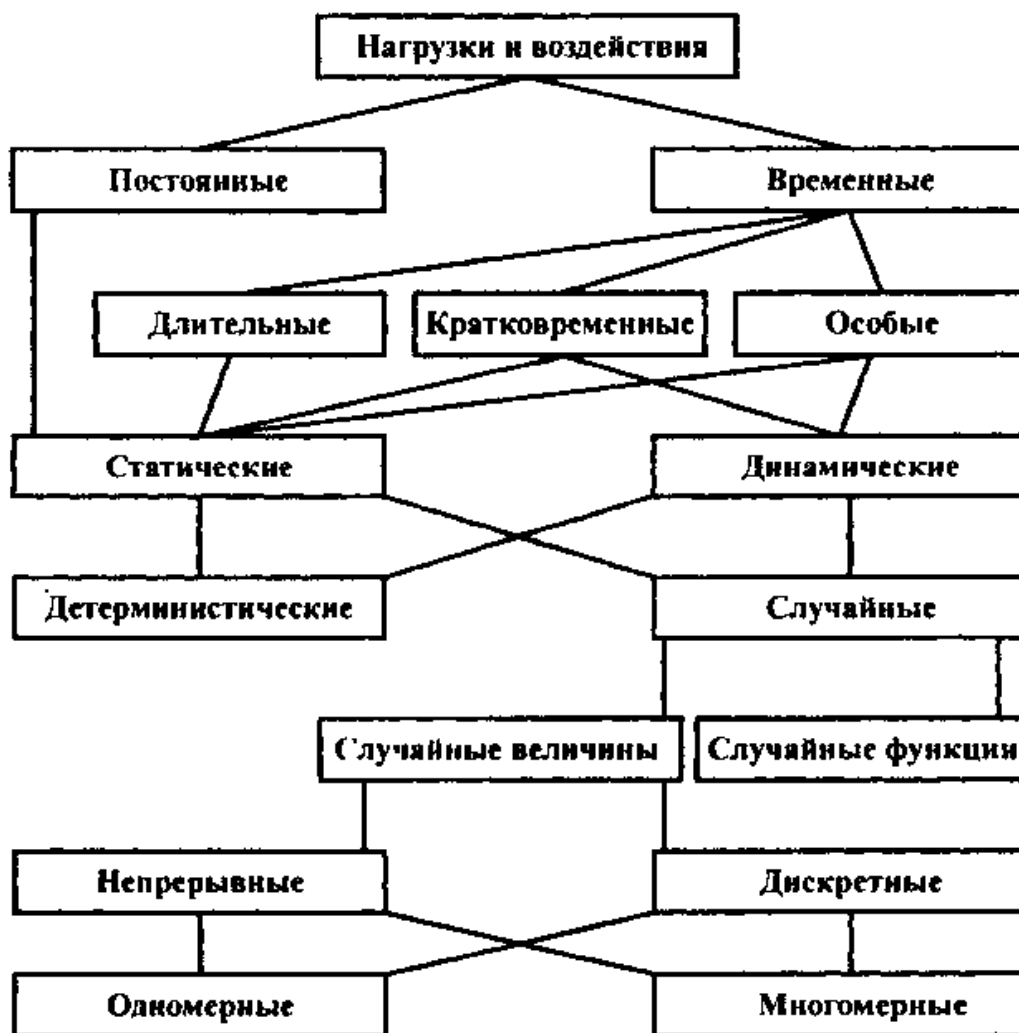


Рисунок 1. Классификация нагрузок и воздействий

В силу большого многообразия случайных нагрузок различной природы целесообразно продолжить классификацию этих нагрузок еще по некоторым признакам.

Случайные нагрузки можно представить в виде случайных величин или случайных функций. Случайные величины могут быть непрерывными, т.е. могут принимать континуальное множество значений на некотором отрезке (в том числе на бесконечном), или дискретными, принимающими счетное (конечное или бесконечное) множество значений. Если случайная нагрузка описывается одной непрерывной или дискретной случайной величиной, она называется одномерной. Если случайная нагрузка задается системой случайных величин, то она называется многомерной или векторной.

По типу аргумента случайные функции подразделяются на случайные процессы - случайные функции времени и случайные поля - случайные функции

пространственных координат. Если в качестве аргументов выступают время и координаты, то случайная функция называется пространственно-временным случайным процессом или пространственно-временным случайным полем в зависимости от того, какие свойства, временные или пространственные, являются определяющими для данной нагрузки.

Примерами случайных процессов могут служить нагрузки от ветровых, сейсмических, взрывных, технологических воздействий на отдельные участки газопровода. Примером случайного поля является давление грунта на подземные трубопроводы. Гидравлические нагрузки на подводные газопроводы служат примером пространственно-временного случайного процесса.

По числу аргументов случайные функции могут быть одномерными или многомерными. Функции одного аргумента могут быть или случайным процессом, или случайным полем. Максимальное число аргументов равно четырем: три пространственные координаты и время. При расчетах газопроводных конструкций по стержневым моделям достаточно задать распределение нагрузок вдоль оси стержней и во времени.

По типу зависимости от аргумента случайные процессы могут быть непрерывными или дискретными. Значения аргумента (времени) также могут быть дискретными или непрерывными. Непрерывная функция непрерывного аргумента (времени) является случайным процессом в общепринятом смысле. Непрерывная функция дискретного аргумента образует случайную последовательность. Дискретная функция непрерывного аргумента представляет собой случайный поток или точечный процесс. Дискретная функция дискретного аргумента называется случайной цепью. При сочетании нагрузок возможны более сложные, смешанные типы случайных процессов.

По тензорному признаку различают скалярные, векторные и тензорные случайные функции. К первому типу относятся температурные воздействия, поля давлений. Примерами векторных нагрузок являются нагрузки от собственного веса, реакции опор, сейсмические и ветровые нагрузки. Поле начальных напряжений в трубопроводе служит примером тензорной случайной функции.

По характеру изменения вероятностных характеристик во времени (в пространстве) случайные процессы (поля) могут быть стационарными (однородными) или нестационарными (неоднородными).

Основным источником информации о случайных внешних нагрузках и воздействиях являются опытные данные, которые подвергаются статистической обработке для получения вероятностных характеристик, причем большинство нагрузок отличается значительным разбросом их основных параметров [2].

В последнее время начали проводиться исследования, посвященные моделированию поведения трубопроводов с учетом и температурных воздействий и воздействия агрессивных эксплуатационных сред. Проблеме моделирования конструкций (в том числе и трубопроводных, и резервуарных) трубопроводов с учетом коррозионного износа посвящены монографии [3-14] и большое количество статей.

Немалый интерес представляет также проблема моделирования поведения трубопроводных конструкций, подвергающихся коррозионному растрескиванию. Отдельным сторонам этой проблемы посвящены публикации [15-22]. Полагаем, что в ближайшее время будут проводиться интенсивные научные исследования по применению вероятностных и нечетких моделей коррозионного износа и коррозионного растрескивания для прогнозирования поведения трубопроводных конструкций.

### Список литературы

1. Чирков, В.П. Нагрузки и воздействия, влияющие на надежность трубопроводных конструкций / В.П. Чирков // Конструктивная надежность газопроводов. Сб. научн. трудов ВНИИГАЗа. - М. : ВНИИГАЗ, 1992.
2. Харионовский, В.В. Надежность и ресурс конструкций газопроводов / В.В. Харионовский. – М. : ОАО "Издательство «Недра»", 2000. – 467 с.
3. Петров В.В., Овчинников И.Г., Шихов Ю.М. Расчет элементов конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой. Изд-во СГУ, 1987. 228 с.
4. Овчинников И.Г., Хадеев В.М. Расчет конструкций, подверженных коррозионному износу. Иваново., 1991., (ИИСИ, СПИ). 102 с.
5. Овчинников И.Г., Айнабеков А.И., Кудайбергенов Н.Б. Инженерные методы расчета конструкций, эксплуатирующихся в агрессивных средах. Изд-во КазХТИ, Шымкент, 1994. 131 с.
6. Овчинников И.Г., Почтман М.Ю. Тонкостенные конструкции в условиях коррозионного износа. Расчет и оптимизация. Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1995. 192 с.
7. Овчинников И.Г., Дворянчиков Н.В. Экспертная диагностика магистральных газопроводов. М. Изд-во «Газ-ойл Пресс сервис» 1996. 78 с
8. Овчинников И.Г., Кудайбергенов Н.Б., Шеин А.А. Эксплуатационная надежность и оценка состояния резервуарных конструкций. Саратов. гос. техн. ун-т. Саратов. 1999. 316 с.
9. Наумова Г.А., Овчинников И.Г. Расчеты на прочность сложных стержневых и трубопроводных конструкций с учетом коррозионных повреждений. СГТУ. Саратов. 2000. 227 с.
10. Овчинников И.Г., Хвалько Т.А. Работоспособность конструкций в условиях высокотемпературной водородной коррозии. Изд-во СГТУ. Саратов, 2003. 176 с.
11. Муравьева Л.В., Овчинников И.Г., Пшеничкина В.А. Оценка надежности трубопроводной конструкции с эксплуатационными повреждениями. Изд-во СГТУ. Саратов, 2004. 255 с.
12. Овчинников И.И., Овчинников И.Г. Идентификация и верификация моделей коррозионных и деформационных процессов. Саратов: СГТУ, 2014. 164 с.

13. Овчинников И.И., Мигунов В.Н., Овчинников И.Г. Моделирование кинетики деформирования армированных конструкций в специальных эксплуатационных средах - Пенза, ПГУАС, 2014. - 280с
14. Овчинников И.И. Моделирование и оптимальное проектирование круглых пластинок, взаимодействующих с агрессивными средами: монография/И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников. – Тюмень: ТИУ, 2023. – 198 с.
15. Гареев А.Г., Насырова Г.И. Прогнозирование и диагностика коррозионного растрескивания магистральных трубопроводов: Уфа: УГНТУ, 1995. - 69 с.
16. Абдуллаш И.Г., Гареев А.Г., Мостовой А.В. Коррозионно механическая стойкость нефтегазовых трубопроводных систем; диагностика и прогнозирование долговечности. - Уфа: Гилем, 1997. - 176 с.
17. Гареев А.Г., Иванов И.А., Абдуллин И.Г. и др. Прогнозирование коррозионно механических разрушений магистральных трубопроводов. М.: ИРЦ Газпром, 1997.-170 с.
18. Повышение безопасности эксплуатации газонефтепроводов в условиях коррозионно-механических воздействий / Гареев А.Г. и др. СПб.: Недра, 2012. 220 с.
19. Канайкин В.А. Разрушение труб магистральных газопроводов / В.А. Канайкин, А.Ф. Матвиенко. – Екатеринбург, 1997. – 102 с.
20. Конакова, М.А. Коррозионное растрескивание под напряжением трубных сталей / М.А. Конакова, Ю.А. Теплинский. СПб.: Инфо-да, 2004. - 358 с.
21. Бирилло, И. Н. Оценка прочностного ресурса газопроводных труб с коррозионными повреждениями. Под общей редакцией д.т.н., профессора И. Ю. Быкова. / И. Н. Бирилло и др. – М.: Центр ЛитНефтеГаз, 2008. – 168 с.
22. Варламов, Д. П. Мониторинг дефектности и прогноз состояния магистральных газопроводов России / Д. П. Варламов и др. – Екатеринбург: Уральский центр академического обслуживания, 2012. – 250 с.

**Квашук Сергей Владимирович, Бородина Вероника Анатольевна**  
**ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ**  
**ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В СЛОЖНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ**  
**УСЛОВИЯХ (НА ПРИМЕРЕ ТРАНСПОРТНОГО КОРИДОРА**  
**КОМСОМОЛЬСК – СОВЕТСКАЯ ГАВАНЬ)**

*Дальневосточный государственный университет путей сообщения*

*Кафедра Мостов, тоннелей и подземных сооружений*

*Россия, 680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, дом 47*

**Аннотация** Изложены результаты изучения экзогенных геологических процессов, существенно осложняющих эксплуатацию сооружений транспортного коридора Комсомольск-на-Амуре — Советская Гавань в пределах Восточно-Сихотэ-Алинского синклиория. Охарактеризованы,



представляющие наибольшую опасность транспортным сооружениям обвалы, осыпи, заболачивание, суффозионные процессы и др.

В ряде случаев, при проектировании не до конца учитывают информацию, полученную при изысканиях.

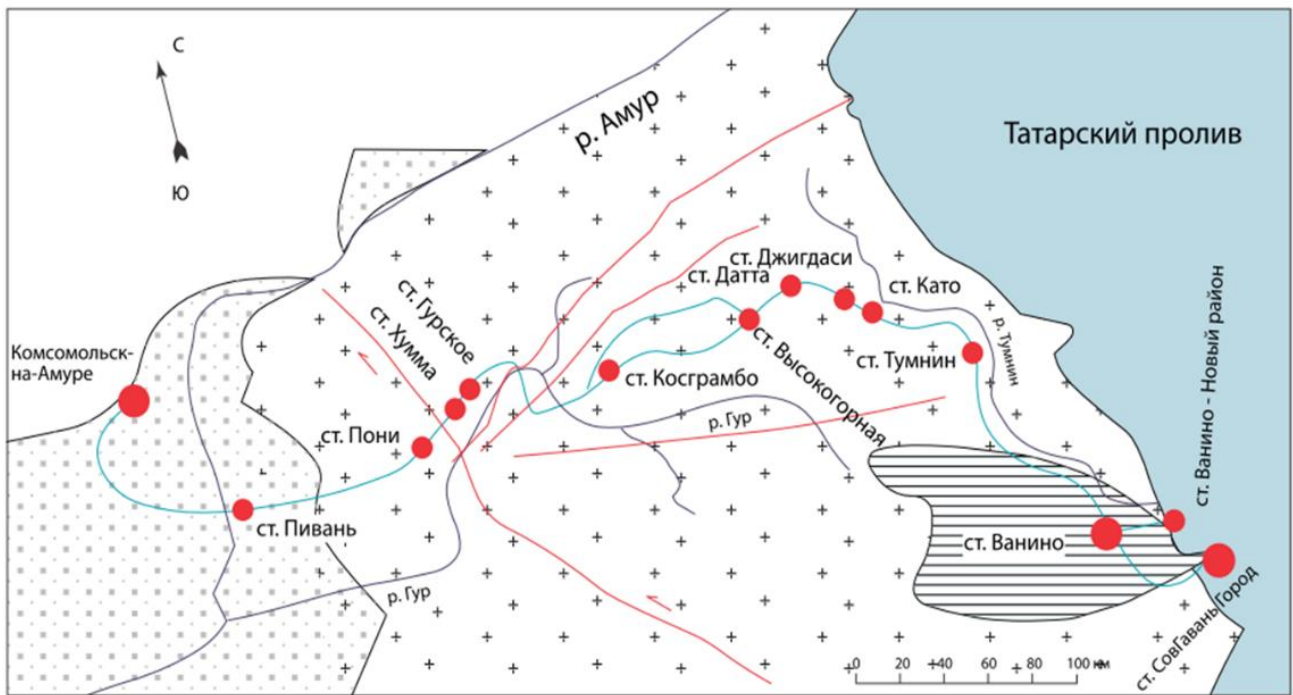
**Ключевые слова:** Сихотэ-Алинь, Восточно-Сихотэ-Алиньский синклиорий, природные и техногенные факторы опасных процессов, гравитационные процессы, суффозия, сейсмичность, подтопление, заболачивание, таяние снегов, лавины.

Восточно-Сихотэ-Алиньский синклиорий, который пересекает транспортный коридор Комсомольск – Советская Гавань, расположен в северной части Сихотэ-Алиньской горно-складчатой системы, принадлежащей Тихоокеанскому складчатому поясу. Неотектонические процессы региона обусловлены взаимодействием геоструктур Сихотэ-Алиньской, Прибрежной Приморско-Приамурской сейсмогенных зон и Япономорского массива. Основными сейсмогенерирующими структурами являются Центральный Сихотэ-Алиньский и Прибрежный тектонические разломы.

Активизация неблагоприятных геологических процессов и явлений определяется комплексом техногенных факторов, сопровождающих индустриализацию региона в целом и развитием транспортного комплекса – модернизации линий в рамках проектов БАМ 2 и БАМ 3: строительством вторых путей, дополнительных приемоотправочных путей, дополнительных разъездов и станций, реконструкции искусственных сооружений, электрификации линии Комсомольск-Советская Гавань с целью увеличения пропускной способности Восточного полигона ОАО РЖД (рис. 1).

Широкое развитие опасных процессов в районе обусловлено также следующими природными факторами:

- ✓ климатические условия,
- ✓ высокая степень расчлененности рельефа,
- ✓ наличие зон дробления тектонических разломов,
- ✓ повышенная трещиноватость пород тектонического генезиса,
- ✓ разгрузка подземных вод на склонах,
- ✓ повышенная сейсмичность.



Условные обозначения

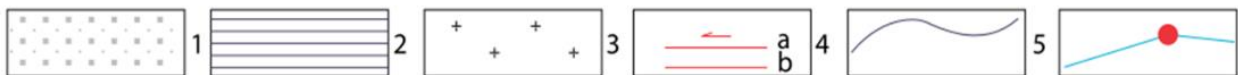


Рисунок 1. Схема геоморфологического районирования Сихотэ-Алиньского региона [4]. Обозначения: 1 – равнины межгорных и предгорных впадин; 2 – плоскогорья и плато; 3 – горные хребты и нагорья; 4 – тектонические нарушения; а – Сихотэ-Алиньский сдвиг, b – Сюркумский и другие разломы; 5 – реки; 6 – железнодорожная линия и станции

Для района свойственна высокая сейсмическая активность – 7, 7 и 8 баллов шкалы MSK-64, по картам ОСР 2016 – А, Б и С. [7].

Сложные тектонические условия определяет густую сетку тектонических нарушений, и, как следствие, развитие многочисленными зонами повышенной трещиноватости и блочности скальных пород.

На устойчивости склонов негативно сказывается создание дорожных выемок и полу выемок. Развитие гравитационных процессов может быть спровоцировано увеличением динамических нагрузок от подвижных составов или их крушения, или иных чрезвычайных ситуаций (рис. 2).



Рисунок 2. Повышенная трещиноватость и блочность скальных горных в зонах тектонических нарушений выявленная в откосах выемок и полувыемок.

На крутых склонах и откосах наблюдаются участки распространения **линейной эрозии**. Этот процесс прослеживается в пределах участков с нарушенным дерновым покровом в результате среза грунта при техногенных воздействиях.

Местами вдоль крутых склонов и откосов просматриваются небольшие локальные обвалы, а также свежие промоины.

Тип по механизму смещения потенциальных опасных склоновых процессов комбинированный обвально-осыпной.

Под влиянием техногенных факторов (изменения природных условий при различных видах инженерно-хозяйственной деятельности: подрезка склона, динамических и статических нагрузок в верхней части склона и т.д.) склон, с учетом его крутизны и происходящего физического выветривания (в обнажениях и за счет вымораживания), может перейти в категорию неустойчивых.

Таяние снегов, выпадение атмосферных осадков и формирование временных водотоков вниз по склонам, вызывает вынос мелкодисперсного заполнителя трещин. В разрезе глубина захвата склона обвально-осыпными процессами определяется мощностью зоны выветривания (преимущественно морозного) и соответственно зоной трещиноватости.

Развитие процессов **заболачивания** в пределах рассматриваемого участка преимущественно техногенного характера и связано с нарушением режима стока подземных и поверхностных вод при освоении территории, переувлажнение придорожных территорий, изменение режима течения поверхностных вод (наносы, размывы), подтопление территории, чему дополнительно способствует плоский слаборасчлененный рельеф местности, малая глубина эрозионного

вреза большинства водотоков, их замедленный сток, превышение осадков над испарением.

**Подтопление** оказывает негативное влияние на здания и сооружения, которое заключается в возможности усиления коррозии подземных металлических конструкций, водопропускных труб, снижении срока их службы; загрязнении поверхностных и подземных вод, используемых для хозяйственно-питьевых целей и др. (рис. 3).



Рисунок 3. Заболачивание местности в ходе подтопления паводковыми водами

**Эрозионные процессы** (Речная эрозия) проявляется в местах пересечения трассы с постоянными водотоками на русловых и пойменных участках. Развита боковая и глубинная эрозия, которая активизируется в период паводков, при выпадении ливневых осадков и снеготаяния.

В результате активных воздействий вдоль береговых течений осыпавшийся материал в периоды паводков смывается речными водами, что приводит к отступанию бровки берега и к последующему разрушению берегового склона, вследствие чего возможен размыв бермы и подмыв откоса насыпи железнодорожного полотна. Скорость отступания берегов на участках с свободными излучинами достигает 2,0-2,5 м, на прямолинейных – до 2 м в год.

### **Заключение**

В связи с изложенным, особо остро обстоит вопрос качества выполняемых инженерных изысканий, а также правильности принимаемых проектных решений в соответствии с результатами изысканий.

В условиях широко развитых опасных геологических процессов, представленных на примере данного региона, возникает необходимость использования методики непрерывного мониторинга геологической среды.

Однако в данный момент отсутствуют какие-либо нормативные документы, регламентирующие проведение инженерных изысканий в условиях

непрерывного мониторинга на опасных участках, а также документы, которые позволили бы определить сметную стоимость данных работ.

При их отсутствии необходимо уделять особое внимание таким вопросам, как непрерывное изучение тектонического строения, пликативных и дизъюнктивных дислокаций, трещиноватости пород; кинематическому анализу склонов и откосов; детализации литологии горных масс в пределах развития экзогенных процессов инженерно-геофизическими исследованиями; локальному геомониторингу среды в рамках проектов, в том числе, с привлечением беспилотных летательных аппаратов.

### **Список литературы**

1. Piotrovich A A, Zhdanova S M. Subgrade reinforcement techniques for the dangerously deforming sections of railway lines in the north of the Russian Far East. *Sciences in Cold and Arid Regions*. 2017. Т. 9. № 3. С. 0197.

2. Квашук С.В., Злобин Г.А., Колтун П.А., 2011. Исследование влияния трещиноватости пород перевальной части Северного Сихотэ-Алиня на устойчивость транспортных сооружений. *Строение литосферы и геодинамика, Материалы XXIV Всероссийской молодежной конференции, Иркутск, 2011, с. 151–152.*

3. Квашук С.В., Колтун П.А., Злобин Г.А., 2011. Геодинамические проблемы при транспортном освоении Дальнего Востока России. / *Превентивные геотехнические меры по уменьшению природных и техногенных бедствий, Сборник трудов IV Международного геотехнического симпозиума, Хабаровск, 2011, с. 320–324.*

4. Козловский Е.А., Ровнин Л.И., Красный Л.И., Евстрахин В.А., 1988. *Геология зоны БАМ. Том 2. Гидрогеология и инженерная геология. Недра, Ленинград.*

5. Котцов М.А., Опыт оценки проявления экзогенных геологических процессов на участке зоны БАМ. *Инженерная геология, 1989. № 4, с. 48–53.*

6. Красный Л.И., 1980. *Геология региона Байкало-Амурской магистрали. Недра, Москва.*

7. Николаев В.В., Семенов Р.М., Оскорбин Л.С., Карсаков Л.П., Малышев Ю.Ф., Онухов Ф.С., Ставров В.Н., 1989. *Сейсмоструктурная и сейсмическое районирование Приамурья, под ред. В.П. Солоненко. Наука, Новосибирск.*

## **Магомедов Мухтар Магомедович, Овчинников Илья Игоревич ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНЫХ МОСТОВ В АСПЕКТЕ ИХ АВАРИЙНОСТИ**

*Саратовский государственный технический университет, кафедра  
«Транспортное строительство», Саратов, улица Политехническая, дом 77,  
410054*

**Аннотация:** Горная местность, будучи изначально трудной для освоения человечеством территорией, предопределила отличное от равнинной местности и обособленное развитие сфер человеческой деятельности, в частности, и транспортной сферы.

Решения транспортной инфраструктуры, выполняющей роль «артерий» для экономики региона, напрямую зависят от условий местности. Поэтому создание транспортной инфраструктуры в горной местности будет сопряжено со многими трудностями, без учета которых получаемые решения будут как экономически необоснованными, так и несовершенными конструктивно и технологически.

Важную роль в транспортной инфраструктуре занимают мосты, обеспечивающие безопасный и быстрый проезд различного рода препятствий. Горные мосты в этом плане выделяются в контексте того, что сильная пересеченность местности предопределяет их исключительность, что во время аварий мостов выражается полной блокадой транспортной линии без практической возможности объезда препятствия.

**Ключевые слова:** мост, горная местность, большепролетные мосты, конструктивное решение, стихийные бедствия.

Аварии мостовых сооружений оборачиваются чреватыми последствиями для транспортной инфраструктуры региона, т.к. создание мостов изначально предполагает преодоление сложных препятствий, объезд которых невозможен, или возможен, но с весьма большими расходами на альтернативные пути. В этом контексте особенно выделяются мостовые сооружения в горной местности ввиду того, что они выступают в качестве единственной цепи соединения нескольких десятков горных населенных пунктов с остальным «внешним» миром. Отсутствие возможности объезда препятствий в горной местности приводит к необходимости не только оперативного устранения возникших повреждений мостов для скорейшего создания безопасного проезда, но и создания, в целом, рационального подхода к их проектированию с акцентом на снижение подверженности сооружений разным стихийным природным воздействиям на различных стадиях жизненного цикла [1-5].

Эксплуатация мостового сооружения, как и любого другого вида инженерных сооружений, предполагает обеспечение безопасности и нормальных условий функционирования его конструктивно-технологических элементов в течение длительного периода времени. Без этого сооружение мостов немыслимо, а достигнутые инженерные успехи в том или ином аспекте их жизненного цикла не будут иметь никакой практической пользы. Можно сказать, что эксплуатация выступает в качестве объективного оценивающего инструмента правильности выбранных тех или иных конструктивных и технологических решений, как самого мостового сооружения, так и всего связанного с ним комплекса инженерных сооружений, мероприятий и подходов к их проектированию. Аналогично, эксплуатация позволяет определить и задать требуемый вектор развития в научно-исследовательской деятельности, главной задачей которой будет повышение безопасности, экономичности и

долговечности мостов, а также снижение их аварийности.

Проблема эксплуатации мостового сооружения располагается между двумя полюсами: критической подверженности любым негативным и агрессивным процессам и абсолютной неподверженности им. Данную мысль конкретно к мостовым сооружениям ясно изложили авторы в научных работах [6-10]. Заметим, что прямой подход к изучению аварийности мостовых сооружений используется сравнительно недавно, поэтому развитие такого подхода имеет перспективное значение, как для научной сферы, так и для экономической сферы того или иного региона. Тут важно отметить, что экономика региона сама определяет роль и качество создания мостовых сооружений, которые, в свою очередь, оказывают прямое влияние на саму экономику региона. В таком понимании диалектическая роль горных мостовых сооружений особенно подчеркивается на фоне их исключительности для обеспечения бесперебойной работы транспортных (соответственно, и экономических) узлов и связей горного региона (рис.1).



Рисунок 1 – Горные транспортные линии по типу «мост-тоннель». Источник: <https://www.terre-armee.fr/en/reinforced-earth/roads-and-motorways/>

В Российской Федерации горная местность занимает порядка 30 % всей ее территории. К ней относятся горные массивы Кавказа, Урала, Алтая, Крыма и др. Также и страны СНГ включают в свою территорию горные массивы. Например, территория Таджикистана на 93 % относится к горной местности<sup>1</sup>.

Как известно, происхождение горных систем объясняется результатом столкновения друг с другом тектонических плит. Очевидным свидетельством этому являются резкие углы выступа пластов земной коры в горной местности. Тектонический процесс хотя и протекает медленно, но непрерывен и несет в себе огромный разрушающий потенциал. При столкновении тектонических плит происходит выход потенциала наружу, который разрушает отдельные

<sup>1</sup> Dic.academic.ru/: сайт. – URL: <https://dic.academic.ru/> (дата обращения: 28.10.2023)

конструкции сооружений и зданий, а иногда и целиком сами эти сооружения и здания.

Сейсмическое воздействие на искусственные сооружения, в частности, на мостовые сооружения является острой проблемой из-за своей масштабности, катастрофичности и непредсказуемости. Землетрясения происходили постоянно, но не всегда они происходят в разрушительных масштабах. По уровню активности землетрясений и их разрушающего фактора вся карта мира разделена на несколько зон. В числе самых активных зон и находятся горные массивы и территории, приуроченные к ним [11].

Горная местность характеризуется протеканием не только сейсмических процессов, но и активацией стихийных факторов, к которым относятся опасные геологические процессы (ОГП), являющиеся генетическим видом сейсмических процессов. В отличие от последних процессов ОГП имеют бóльшую частоту повторения. Также они становятся причиной разрушения не только самих горных мостовых сооружений, но и гибели людей и животных, находящихся на них или около них во время стихийного воздействия. Порой эти аварии блокируют, как было сказано, единственный доступ к нескольким десяткам населенных пунктов, вызывают неблагоприятное перераспределение внутренних усилий в пролетных строениях мостов. В такой связи применение особого подхода к проектированию, строительству и эксплуатации горных мостов принимает весьма важный характер не только для транспортной инфраструктуры, но и для обеспечения безопасности жизнедеятельности людей и сохранности сельскохозяйственной собственности горного региона [13-14].

В аспекте непроектного воздействия ОГП обозначается главное отличие горных транспортных сооружений от сооружений, возведенных в равнинной местности. Если последние сами оказывают негативное влияние на окружающую среду (т.е. от сооружения на грунт), то горная местность сама оказывает негативное влияние на транспортные сооружения [12].

Значит, для горных транспортных сооружений дополнительно к видам **агрессивных** воздействий, характерных для равнинной местности, прибавляется динамическое воздействие геологических, гидрологических, геоморфологических факторов горной местности. Вообще, нарушения поверхностного слоя горного массива и различные факторы агрессивной горной местности варьируются в объемах и должны быть изучены, а также классифицированы по характеру протекания и влияния на мостовые сооружения.

Необходимо отметить, что понятие агрессивного воздействия окружающей среды на мостовые сооружения применяется в научно-исследовательской деятельности сравнительно недавно. В отечественном мостостроении изучение агрессивного воздействия окружающей среды, в основном освещается в работах авторов [15-20]. При оценке роли непроектного воздействия горной местности на мостовые сооружения можно отталкиваться от определения агрессивного воздействия, подразумеваемого авторами в вышеуказанных работах. Исследования авторов затрагивают, в основном, равнинные мосты, для которых – на момент разработки теории агрессивного воздействия окружающей среды –



непроектным негативным влиянием считались взаимодействия материала конструкций мостов с агрессивной эксплуатационной средой. Существовавшие и использовавшиеся для расчета мостовых конструкций методы расчета по предельным состояниям были лишены возможности корректного учета влияния важных аспектов окружающей среды – коррозионного воздействия воздушной и водной масс, контактирующих с материалом конструкций мостов. В такой постановке вопроса агрессивное воздействие следует понимать, как косвенное отрицательное влияние на распределение внутренних усилий в конструкциях, что отражается в длительном временном интервале ухудшением жесткостных и прочностных параметров мостовых конструкций за счет уменьшения их сечений и деградации механических свойств составляющих материалов. То есть прямое влияние агрессивной среды происходит по типу «окружающая среда - материал конструкций моста», но не по типу «окружающая среда - силовое поле моста». Результаты агрессивного воздействия реализуются на длительном временном интервале эксплуатации мостов в зависимости от скорости протекания коррозионных процессов и применяемых методов защиты.

В контексте вышесказанного для горных мостов агрессивное воздействие окружающей среды понимается шире. Одновременно с коррозионными процессами (по типу «окружающая среда - материал моста») имеет место негативное воздействие стихийных процессов – ОГП, которые оказывают уже не косвенное, а прямое влияние на конструктивно-силовые и формообразующие параметры горных мостов. Так, например, камнепады – классифицируемые по различным признакам – приводят как к мгновенной ликвидации или перераспределению пространственной силовой связи конструкций горных мостов, так и к снижению прочностных параметров за счет диссипации энергии удара продуктов ОГП или к непроектной концентрации больших ударных воздействий к определенной конструкции моста. Влияние других стихийных воздействий на горные мосты хоть и отличается по природе возникновения и протекания, но, в сущности, их воздействие сходно с воздействием камнепадов.

Подытоживая вышесказанное, отметим, что агрессивное воздействие для горных мостов будет подразумевать стихийные процессы горной местности, критическое влияние которых на мосты будет осуществляться в течение короткого интервала времени их эксплуатации. Для дальнейшего обсуждения (не только в рамках настоящей работы) агрессивного воздействия горной местности будем применять понятие «непроектного воздействия» на горные мосты, учитывая недостаточную изученность этой проблемы на настоящий момент времени.

### **Список литературы**

1. Ванеев, С. Д. Защита автомобильных дорог в горных условиях / С. Д. Ванеев, М. Э. Дзапаров, С. Т. Дзугаев // Современные научно-технические и социально-гуманитарные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: Сборник докладов II Всероссийской научно-практической конференции, Владикавказ, 12–14 мая 2020 года. Том Часть II. – Владикавказ:

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 2021. – С. 57-61.

2. Bettina Knoflach, Hannah Tussetschläger, Rudolf Sailer, Gertraud Meißl & Johann Stötter. High mountain rockfall dynamics: rockfall activity and runout assessment under the aspect of a changing cryosphere// *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 2013. – 2021. – V. 103:1. pp. 83-102. DOI: 10.1080/04353676.2020.1864947

3. D. Ristic, N. Pillana, V. Hristovski, J. Ristik, V. Misini. Advanced technology for seismic protection of bridges Verified by shaking table test of bridge models// *Advanced Technology for Seismic Protection of Bridges Verified By Shaking Table Test of Bridge Models*. – 2015.

4. Морозов, М. Сели и селезащита / М. Морозов, А. Кривцов // *Инженерная защита*. – 2014. – № 3(3). – С. 50-59.

5. Maroje Sušac, Mirjana Vugrinski, Dalibor Udovič, Davor Marušić, Želiko Arbanas. Design of the rockfall protection at the Špičunak location, Gorski kotar, Croatia// *5th Regional Symposium on Landslides in Adriatic-Balkan Region "Landslide Modelling & Applications"*. – 2022.

6. Майстренко И.Ю., Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Кокодеев А.В. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 1 // *Транспортные сооружения*. — 2017. — Т 4. — № 4. — DOI: 10.15862/13TS417

7. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Майстренко И.Ю., Кокодеев А.В. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 2 // *Транспортные сооружения*. — 2017. — Т 4. — № 4. — DOI: 10.15862/14TS417

8. Майстренко И.Ю. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Ч. 3 / И.Ю. Майстренко, И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников [и др.] // *Интернет-журнал «Транспортные сооружения»*. – 2018. – №1. – С. 1–41. – DOI: 10.15862/08SATS118 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://t-s.today/PDF/08SATS118.pdf>

9. Овчинников И.И. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Ч. 4 / И.И. Овчинников, И.Ю. Майстренко, И.Г. Овчинников [и др.] // *Транспортные сооружения*. – 2018. – №1. – С. 1–25 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://t-s.today/PDF/05SATS118.pdf>

10. Аварии транспортных сооружений и их предупреждение / И.И. Овчинников, Ш.Н. Валиев, И.Г. Овчинников, И.С. Шатилов. – Чебоксары: ИД «Среда», 2020. – 216 с.

11. J Peranić, M Vivoda Prodan, S Dugonjić Jovančević, D Udovič, S Mihalić Arbanas, S Bernat Gazibaraž, M Krkačž, Ž Arbanas. A modern approach in analyzing and designing of rockfall protection measures: the city of Omiš rockfall protection case study// *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 833 012009, DOI: 10.1088/1755-1315/833/1/012009

12. Кортиев Л.И., Кортиев А.Л. Особенности взаимодействия дорожно-транспортного комплекса и природной среды в горных условиях и оценка риска природного и техногенного характера при чрезвычайных ситуациях // *Вестник*

Воронежского государственного технического университета. Энергетика и рациональное природопользование. – 2015. – № 5 (3). – С. 27–33.

13. Шеина, Т. В. Технологии защиты автодорог от камнепадов / Т. В. Шеина, Е. А. Авдеева // Градостроительство и архитектура. – 2018. – Т. 8. – № 1(30). – С. 28-34. – DOI 10.17673/Vestnik.2018.01.5.

14. Мальнева, И. В. Природные катастрофы, связанные с опасными геологическими процессами, и их прогнозирование / И. В. Мальнева // Жизнь Земли. – 2017. – Т. 39. – № 1. – С. 12-25.

15. Петров В.В., Овчинников И.Г., Шихов Ю.М. Расчет элементов конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой. Изд-во СГУ, 1987.

16. Овчинников И.Г., Раткин В.В. Землянский А.А. Моделирование поведения железобетонных элементов конструкций в условиях воздействия хлоридосодержащих сред // СГТУ - Саратов. 2000.

17. Овчинников И.Г., Наумова Г.А. Расчеты на прочность сложных стержневых и трубопроводных конструкций с учетом коррозионных повреждений // СГТУ. Саратов. 2000.

18. Овчинников И.Г., Инамов Р.Р., Гарибов Р.Б. Прочность и долговечность железобетонных конструкций в условиях сульфатной агрессии // Изд-во СГУ. Саратов, 2001. 163 с.

19. Овчинников И.Г., Пшеничников М.С., Раткин В.В. Моделирование ползучести железобетонных элементов конструкций транспортных сооружений в агрессивных средах // Изд-во СГТУ. Саратов, 2001. 138 с.

20. Овчинников И.Г., Раткин В.В., Гарибов Р.Б. Работоспособность сталежелезобетонных элементов конструкций в условиях воздействия хлоридсодержащих сред // Изд-во СГУ. Саратов, 2002. 155 с.

**Овчинников Игорь Георгиевич, Жаналиев Бекзат Бактыбекович,  
Овчинников Илья Игоревич  
ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ  
СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ «СОВРЕМЕННЫХ»  
НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ**

*Тюменский индустриальный университет, базовая кафедра «АО -  
Мостострой-11», Тюмень, ул. Володарского, 36, 625000*

**Аннотация.** Рассматривается проблема корректного использования существующих нормативных документов в сфере транспортного строительства. Например, в этой сфере разработано около 400 нормативных документов, корректность ряда которых подлежит сомнению, при этом разработчики нередко используют терминологию, отличающуюся от общепринятой при расчете строительных конструкций. Отмечается некорректность применения положений метода предельных состояний для расчета, ибо анализ только предельных состояний конструкции приводит к тому, что рассматриваются в основном экстремальные нагрузки, а закономерности поведения конструкции при более

низких (рабочих) уровнях нагрузок остаются неизвестными, да и долговечность не определяется. Если при расчете по предельным состояниям полагается, что это состояние реализуется путем достижения нагрузкой некоторой предельной величины при неизменных других внешних воздействиях, то в реальных условиях эксплуатации предельное состояние наступает вследствие изменения формы конструкции, размеров сечений конструкции, а чаще свойств ее материала под влиянием условий эксплуатации. Отмечается необходимость более широкого применения для расчета конструкций деформационного подхода, согласно которому прочностная и деформационная стороны задачи расчета конструкций взаимосвязаны, а также необходимость учета воздействия агрессивных эксплуатационных сред.

**Ключевые слова:** нормативные документы, предельные состояния, деформационный подход, учет воздействия агрессивных сред, долговечность

В статье обращается внимание специалистов отрасли транспортного строительства на некоторые нестыковки, которые в настоящее время имеются, но которые или игнорируются, или замалчиваются, что может в дальнейшем привести к неблагоприятным последствиям. Например, в настоящее время есть определенная «неразбериха» с нормативными документами. Часть из них противоречат друг другу, что признает даже Главгосэкспертиза [1]. Кроме того, по нашим данным, при проверке представленной нормативной документации Главгосэкспертиза руководствуется не ГОСТами, а именно сводами правил, например, [2]. В связи с этим мы полагаем, что имеет смысл создать такую иерархию документов, которая бы четко указывала, какой нормативный документ следует использовать в той или иной ситуации.

Кроме того, различных нормативных документов стало так много, что инженеры путаются в них и затрудняются в выборе правильного. Практикующие инженеры нередко говорят: вот в «советское» время было несколько СНИПов и их знание обеспечивало нормальную работу, а как работать сейчас, когда нормативных документов стало очень много? Кстати, и у Главгосэкспертизы также имеется проблема. Раньше проекты, представляемые на экспертизу, проходили проверку на соответствие существовавшим на тот момент довольно жестким нормам проектирования, и эксперты, прекрасно знакомые с этими нормативными документами, стояли на страже правильности соблюдения их требований, а значит, на страже безопасности проектируемых сооружений. Теперь же в соответствии с новыми «правилами игры» они должны проверять правильность проектных решений, не всегда опирающихся на твердые нормы, а во многом обоснованных сложнейшими расчетами, выполненными с помощью современных программных комплексов.

В определенной мере это связано с отсутствием в отечественной практике наработанных и унифицированных подходов к методологии компьютерного моделирования, которые должны были бы быть изложены в нормативных документах или в руководствах, либо рекомендациях компетентных организаций или инженерных обществ.

Еще одна проблема, заключается в том, что согласно анализу нормативных документов РФ по расчету прочности нежестких дорожных одежд, проведенному авторами статьи [3], выявлено несоответствие применяемой терминологии общепринятой при расчете строительных конструкций как промышленных и гражданских, так и транспортных сооружений. В статье отмечено, что расчет дорожных одежд на прочность выполняется по методикам 50-х годов XX века, а в нормах проектирования и рекомендациях по расчету дорожных одежд допущено особое толкование термина «прочность», отличающееся от общепринятого в строительной отрасли.

Отметим также, что, например, согласно своду правил [4] (пункт 7.7.2) аэродромные покрытия следует рассчитывать по методу предельных состояний, причем расчетное предельное состояние жестких покрытий: - бетонных и армобетонных - это предельное состояние по прочности.

Кроме того, некоторыми специалистами по расчету бетона и железобетона высказывается утверждение о том, что якобы «в соответствии с современными воззрениями бетон при растяжении и сжатии работает с одинаковым модулем упругости до проявления нелинейности. То же относится к железобетону».

В связи с этим мы полагаем, что следует проанализировать данную проблему более корректно.

#### **Формулировка проблемы**

Сначала отметим, что для расчета бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений длительное время применялся (и, как видно из вышесказанного, продолжает применяться) метод предельных состояний, согласно которому исследуется поведение опасного сечения на действие предельной нагрузки. При использовании этого метода задается характер эпюр напряжений в бетоне и арматуре, характерные точки которых определяются из одного уравнения равновесия, другое уравнение равновесия сечения (уравнение моментов) используется для проверки соответствия несущей способности сечения по изгибу и момента, возникающего в этом сечении от внешних нагрузок. Предельным считается такое состояние, когда усилия от внешних нагрузок соответствуют несущей способности сечения. При таком подходе предполагается, что предельное состояние наступает вследствие приложения к нагружаемому элементу опасной нагрузки.

Нагрузки на бетонные и железобетонные конструкции рассматриваются с точки зрения метода предельных состояний, который был введен в СССР в качестве руководящего принципа расчета строительных конструкций 1 января 1955 года. В дальнейшем этот метод получил широкое признание в мире, и в настоящее время положен в основу стандарта ИСО (ISO ST 2394. General Principles on Reliability for Structures. – Zurich: ISO, 1994. – 50 p.) и системы Еврокодов (ENV 1991-1. Eurocode-1: Basis of Design and Action on Structures. Part 1: Basis of Design. – Brussels: CEN, 1994. – 106 p.), правда под названием «метод частных коэффициентов надежности».

В основе метода лежала идея отказа от детального анализа всех состояний конструкций, кроме предельных, по отношению к которым и формулируются

требования к рассчитываемой конструкции. С точки зрения методологии частных коэффициентов надежности произошла замена одного общего коэффициента запаса (или как его нередко называли, коэффициента незнания) системой нескольких (частных) коэффициентов, связанных с отдельными сторонами проблемы безопасности конструкции (характером нагрузки, свойствами материала, степенью ответственности сооружения...).

В соответствии с основной задачей расчета по методу предельных состояний установлены две группы предельных состояний.

I группа - по несущей способности: в этом случае выполняются расчеты по потере несущей способности или полной непригодности к эксплуатации, т.е. расчеты на прочность, устойчивость, выносливость. Цель расчета: обеспечить прочность конструкции при хрупком, вязком или ином характере разрушения, при потере устойчивости формы конструкции или ее положения, при усталостном разрушении, при разрушении от совместных воздействий силовых факторов и неблагоприятных влияний внешней среды.

II группа - по пригодности к нормальной эксплуатации. Выполняются расчеты на образование, раскрытие (закрытие) трещин и чрезмерные перемещения (прогибы, углы поворота, углы перекоса, амплитуды колебаний).

Цель расчета: не допустить в конструкции возникновения указанных чрезмерных перемещений, а также чрезмерного образования и раскрытия трещин, затрудняющих нормальную эксплуатацию или снижающих долговечность конструкции. Расчет по второй группе предельных состояний должен гарантировать сохранение эксплуатационных качеств конструкции с учетом изменчивости прочностных и деформативных свойств материалов. Удовлетворение условия II группы предельных состояний в общем случае включает расчеты по образованию, раскрытию трещин и по деформациям (прогибам, перемещениям и пр.).

Но анализ только предельных состояний конструкции приводит к тому, что рассматриваются в основном экстремальные нагрузки, а закономерности поведения конструкции при более низких (рабочих) уровнях нагрузок остаются неизвестными. Здесь следует отметить 3 (три) особенности метода предельных состояний.

Во-первых, проблеме определения несущей способности бетонных и железобетонных конструкций посвящена значительная часть курса железобетонных конструкций, а проблеме корректного определения нагрузок и воздействий практически не уделяется должного внимания. Основным источником данных о нагрузках являются нормы проектирования, в которых не дается никаких пояснений, но по установившейся привычке расчетчиков безоговорочно доверять нормам, приводимые в них данные считаются непогрешимыми. Исключением является книга [5].

Во-вторых, совершенно не учитывается тот факт, что сооружения в подавляющем большинстве случаев достигают предельного состояния не из-за увеличения нагрузки, а из-за изменения механических характеристик

материалов под влиянием агрессивной эксплуатационной среды, из-за появления и развития дефектов и повреждений и других факторов.

В-третьих, в методе расчета по предельным состояниям деформационный расчет бетонных и железобетонных конструкций практически отделен от прочностного расчета, причем если в прочностном расчете материал арматуры и бетона в сжатой зоне сечения предполагается находящимся в пластичном состоянии, то в деформационном расчете этот же материал предполагается упругим с определенным модулем упругости.

Такая нестыковка гипотез о характере деформирования материалов длительное время расчетчиков не смущала. Можно сказать, что нормируемые расчеты на прочность по модели предельного состояния не вписываются в концепцию контроля бетонных и железобетонных конструкций в эксплуатационной стадии, так как они контролируют работу элементов конструкций в практически крайне редко реализуемой ситуации и носят характер оценки предельных (интегральных) возможностей сечений этих конструкций. Необходимость в таком расчете может возникнуть при анализе аварийной ситуации, когда потребуется выявить ее причины и установить фактическую прочность материала в момент аварии.

#### **Результаты такого грубого анализа проблемы**

Можно предполагать, что выполнение расчета по предельным состояниям на действие эксплуатационных нагрузок и других эксплуатационных воздействий - это введение в заблуждение инженера о возможных в эксплуатации режимах работы конструкций. Другими словами, если при расчете по предельным состояниям полагается, что это состояние реализуется путем достижения нагрузкой некоторой предельной величины при неизменных других внешних воздействиях, то в реальных условиях эксплуатации предельное состояние наступает вследствие изменения формы конструкции, размеров сечений конструкции и свойств ее материала под влиянием условий эксплуатации.

Поэтому в настоящее время с нашей точки зрения расчеты бетонных и железобетонных конструкций в эксплуатационной стадии должны учитывать кинетику происходящих деградиационных процессов, и те изменения расчетной схемы, к которым приводят эти процессы и другие эксплуатационные повреждения.

В последнее время для расчета бетонных и железобетонных конструкций активно начинает применяться деформационный подход, согласно которому прочностная и деформационная стороны задачи расчета конструкций взаимосвязаны. Но для учета указанных выше особенностей процессов деформирования бетонных и железобетонных конструкций к известным трем сторонам задачи расчета конструкций: статической (связанной с определением усилий в конструкции от действующих нагрузок), геометрической (связанной с установлением зависимостей между перемещениями и деформациями в точках конструкций, а также с обеспечением неразрывности этих деформаций), и физической (связанной с определением зависимости между напряжениями и

деформациями или между усилиями и перемещениями), добавляются еще уравнения, описывающие кинетику процессов взаимодействия конструкций и составляющих их материалов с внешними воздействиями (в частности — агрессивными внешними средами и полями), зависимости, связывающие характеристики материалов конструкции с параметрами внешних воздействий, и уравнения, описывающие развитие повреждений того или иного вида, приводящих к постепенному разрушению конструкции [6]. С учетом того, что все характеристики материалов, геометрических параметров конструкций, действующих на конструкции нагрузок, имеют определенный разброс, характер которого изменяется во время эксплуатации, возникает задача моделирования поведения конструкций во времени с учетом происходящих в конструкции процессов. Для решения задач подобного вида наиболее подходящей методологией, с нашей точки зрения, является сочетание подхода, основанного на использовании деформационных моделей с вероятностными характеристиками входящих в них переменных и параметров с методом статистического моделирования (методом Монте-Карло) [7]. Также отметим, что теория расчета бетонных и железобетонных элементов конструкций, продолжает развиваться и далее в направлении учета запроектных воздействий, расчетной оценки долговечности и живучести конструкций [8].

### **Заключение**

К нашему глубокому сожалению, расчеты транспортных сооружений в отличие от расчета промышленных и гражданских объектов пока еще проводятся с использованием метода предельных состояний, в который не заложена возможность учета влияния агрессивных эксплуатационных сред и оценки долговечности сооружений.

### **Список литературы**

1. Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н., Овчинников И.И. Во избежание ошибок//Дорожная Держава. №120. 2023. Стр. 28-32.
2. Свод правил СП 35.13330.2011 "СНиП 2.05.03-84\*. МОСТЫ И ТРУБЫ" Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\* С изменениями: (3 декабря 2016 г., 11 ноября 2019 г., 29 декабря 2020 г.).
3. Матвеев С.А., Краснощеков Ю.В., Кадисов Г.М., Мартынов Е.А., Малофеев А.Г. Анализ сложившейся терминологии при расчете дорожных одежд на прочность// Наука и техника в дорожной отрасли», 2019, № 3, с.37-38.
4. Свод правил СП 121.13330.2019. Аэродромы. СНиП 32-03-96. – М.: ФАУ ФСЦ, 2019. – 170 с.
5. Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Махинько А.В., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. М. Издательство Ассоциации строительных вузов. 2007.- 482 стр.
6. Овчинников, И.И. Мигунов В.Н., Овчинников И.Г. Моделирование кинетики деформирования армированных конструкций в специальных эксплуатационных средах. Пенза: ПГУАС. – 2014. – 280 с.



7. Межнякова А.В., Овчинников И.Г., Скачков Ю.П. Вероятностный расчет железобетонных элементов конструкций с учетом воздействия хлоридсодержащих сред. Пенза. ПГУ. - 2011. - 188 с.

8. Гениев Г.А., Колчунов В.И., Ключева Н.В., Никулин А.И., Пятикрестовский К.П. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях. - М. : АСВ (Ассоциация строительных вузов), 2004. - 215 с.

**Примчук Анатолий Григорьевич, Алехнович Вадим Олегович  
СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ  
СКАЛЬНОГО ГРУНТА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА**

*Военный учебный центр при Дальневосточном федеральном университете;  
Приморский край, г. Владивосток, ул. Экипажная 18 строение 1, 690001  
Научный руководитель: Козлов Павел Геннадьевич*

**Аннотация.** По мере замерзания механическая прочность грунта резко возрастает, что приводит к увеличению затрат машинного времени и труда на его разработку, а, следовательно, и к удорожанию стоимости работ. В связи с этим при необходимости проведения земляных работ в зимнее время принимают меры по предохранению грунта от промерзания, а разрабатывают его только после оттаивания или рыхления. Рыхление грунтов необходимо при отрывке траншей, разработке скальных, тяжелых и промерзших грунтов, для повышения производительности скреперов.

**Ключевые слова:** бульдозер, гидромолот, рыхлитель, скальный грунт, экскаватор

**Средства механизации земляных работ** играют ключевую роль в проведении работ на территории Дальнего Востока, особенно в условиях скального грунта. Выбор подходящих технологий и машин позволяет значительно увеличить эффективность и скорость выполнения работ, сократить затраты ресурсов и снизить риски для рабочих.

Дальний Восток имеет сложные геологические и климатические условия, что делает процесс проведения земляных работ трудоемким и дорогостоящим. В связи с этим возникает необходимость в использовании средств механизации, которые могут значительно повысить эффективность и снизить затраты на проведение таких работ.

Важным этапом исследования является классификация грунтов, встречающихся на Дальнем Востоке, с целью определения наиболее эффективных средств механизации для каждой категории грунта.

## Классификация грунтов Дальнего Востока России

Классы	Группы	Подгруппы	Типы	Виды	Разновидности
Скальные грунты с жесткими структурным и связями	Скальные грунты	Магматические породы Метаморфические породы Осадочные	Силикатные Карбонатные Железистые	Граниты, базальты Гнейсы, сланцы Мраморы Железные руды Песчаники Известняки Доломиты	Выделяются по: 1.Прочности 2.Плотности 3.Выветрелости 4.Водорастворимости 5.Водопроницаемости
	Полускальные грунты	Магматические эффузивные породы Осадочные	Силикатные Кремнистые Карбонатные Сульфатные Галоидные	Вулканические туфы Аргиллиты Опоки, трепелы Мел. Мергели Гипсы, ангидриты Галиты	
Дисперсные грунты с механическими и водно-коллоидным и связями	Связные грунты Несвязные грунты	Осадочные породы	Минеральные Органоминеральные Органические Силикатные, карбонатные, полиминеральные	Глинистые грунты Илы, сапропели, заторфованные земли, торф Пески, крупнообломочные грунты	Выделяются по: 1.Гранулометрическому и минералогическому составу 2.Числу пластичности 3.Набуханию 4.Просадочности 5.Водонасыщению 6.Коэффициенту пористости 7.Плотности
Мерзлые грунты с криогенным и структурным и связями	Скальные грунты Полускальные грунты Связные грунты	Промерзшие магматические, метаморфические и осадочные породы	Ледяные минеральные Ледяные органоминеральные	Все виды грунтов магматических, метаморфических и осадочных	Выделяются по: 1.Льдистости 2.Температурно-прочностным

	Ледяные грунты	Промерзшие магматическ ие эффузивные породы Осадочные породы Промерзшие осадочные породы	Ледяные органические льды	Все виды дисперсных связных и несвязных грунтов Ледниковые Наледные, речные, озерные	Свойствам 3.Засоленнос ти 4.Криогенно й текстуре
--	-------------------	---	---------------------------------	--	--

Скальные грунты представляют собой залежи естественных горных пород: гранитов, песчаников, известняков и т. д. Скальные массивы достаточной мощности (что проверяется расчётом основания на продавливание весом сооружения) при отсутствии пустот, трещин и т. д. являются прекрасным основанием для всякого рода сооружений. В результате воздействия физических агентов (вода, воздух, температурные изменения и т. д.) скальная порода разрушается, превращаясь из монолита в рыхлую массу. Первоначально появляются отдельные трещины и пустоты, которые мало влияют на прочность массива, так как легко могут быть забетонированы или заделаны другим способом. В дальнейшем массив распадается на отдельные более или менее значительные глыбы - разборная скала. Прочность массива при этом сильно уменьшается и зависит от размера отдельных глыб и степени их разрушения.

Разработке скальных и мерзлых грунтолов различными способами уделяли много внимания авторы работ [1-3].

**Сложность работы в скальном грунте зависит от нескольких факторов:**

1. Прочности скального грунта: в зависимости от типа скалы, ее прочности и состава может потребоваться использование специального оборудования для ее разрушения и удаления.

2. Глубины и размеров скального грунта: если скальный грунт находится на малой глубине и имеет небольшие размеры, работа с ним может быть относительно простой. Однако, если скалы глубоко залегают или имеют большие размеры, может потребоваться более сложное оборудование и методы работы.

3. Наличия трещин и полостей в скалах: если скалы содержат трещины и полости, устранение грунта может быть сложнее, так как требуется обеспечить безопасность работников и избежать обрушения границ скалы.

4. Наличия подземных коммуникаций: если под скальным грунтом проходят подземные коммуникации, работа в них может усложниться, так как необходимо обеспечить их сохранность при удалении скалы.

5. Климатических условий: в зависимости от климатических условий (например, высокая влажность, низкие температуры), работа в скальном грунте может быть более сложной из-за необходимости принимать дополнительные меры безопасности и использовать специализированное оборудование.

Следовательно, можно сделать вывод о необходимости механизации при работе в условиях скального грунта. Механизированная техника позволяет

выполнять работы быстрее и более эффективно, чем при ручной работе. Это особенно важно при работе с скальным грунтом, который требует дополнительных усилий для разрушения и удаления. Работа на скалах может быть опасной и требовать специфических навыков. Механизация позволяет снизить риск травм и несчастных случаев, предоставляя более безопасные средства для выполнения работ.

#### **Средства механизации:**

1. Экскаваторы - машины, предназначенные для копания и перемещения грунта (рис. 1). Они бывают различных видов, например, одноковшовые, многоковшовые и гидравлические. Одноковшовые экскаваторы используются для выполнения больших объемов работ, таких как строительство дорог и дамб. Многоковшовые экскаваторы применяются для разработки траншей и каналов, а гидравлические экскаваторы используются в стесненных условиях и при работе с тяжелыми грунтами.

Рабочим органом одноковшового экскаватора является ковш. В зависимости от назначения и конструктивных особенностей ковша экскаваторов можно разделить на следующие типы:

**Универсальные** - это наиболее распространенные модели стандартной конструкции. Они могут работать как на легких и средних грунтах (черноземы, пески, суглинки, супеси и песчаные суглинки), так и на тяжелых (гравий, щебень и известняк). Они различаются по объему.

**Усиленные** - конструкция такая же, как и у предыдущей группы, но рабочий орган приспособлен к более тяжелым почвам и породам.

**Рыхлители** – ковши со ступенчатыми зубьями. Хорошо работает на мерзлых почвах. Легко дробит камни на мелкие кусочки, которые затем удаляются.



Рисунок 1. Погрузка скального грунта экскаватором на самосвалы

**Погрузочные** - эти рабочие инструменты используются для погрузки и выгрузки сыпучих материалов, таких как грунт, песок, торф и шлак, из транспортных средств. Конструкция легкая и имеет плоскую режущую кромку. Для уменьшения износа ребер и сочленений в результате истирания могут быть установлены защитные элементы.

**Планировочные ковши** - для работы на каналах, набережных, реках и откосах шоссе. Используются для углубления продольных выемок, стенки которых наклонены от  $40^\circ$  до  $85^\circ$ . Широкие прямоугольные модели с одним или двумя центральными ребрами и режущей кромкой. Улучшенные модели с усилением имеют ножи. Иногда имеются перфорации. Часто имеется вращающийся гидроцилиндр.

**Зачистные** - используются в водоемах для углубления дна и очистки его от наносов. Конструкция сварная и легкая, с острыми кромками и подвижными зубьями. Стенки и днище часто перфорированы.

**Скальные ковши** - эти ковши работают в сложных условиях, особенно с твердыми грунтами (гранит, базальт и т.д.). Здесь используется износостойкая сталь, которая укрепляет боковые пластины, зубья и плоскости между ними. Щеки и днище покрыты защитой от сварки. Ножи с наплавкой. Часто устанавливаются бокорезы.

**Профильные** - такие ковши используются для рытья траншей с откосами, которые необходимо располагать под определенным углом к вертикали. Их используют для изготовления каналов, траншей, канав и т.д. Они выполнены в трапециевидной форме. Лопасты выходят за границы ковша. Ширина дна постоянна, но наклон стенок можно регулировать. Такие рабочие органы обеспечивают выемку грунта, образующего боковые стенки траншеи, под заданным углом. При этом вынутый грунт в траншее не проваливается.

**Траншейные** - предназначены для рытья прямоугольных нешироких траншей с целью прокладки трубопроводов, кабелей и т.д. Могут вынимать грунт любой твердости, в том числе в труднодоступных местах. Отличаются небольшой шириной и малым объемом.

2. Бульдозеры - самоходные землеройно-транспортные машины, которые используются для перемещения грунта на короткие расстояния (рис. 2). Они применяются при строительстве дорог, прокладке трубопроводов и других работах.



Рисунок 2. Буртование скального грунта бульдозером

3. Гидромолоты - одним из наиболее распространенных средств механизации для работы в скальном грунте являются гидромолоты. Они представляют собой специальные устройства, приводимые в действие гидравлическим приводом (рис. 3). Гидромолоты способны расщеплять скальный грунт, облегчая его удаление и создавая условия для дальнейших земляных работ.



Рисунок 3. Применение гидромолота на экскаваторе

4. Буровые установки – машины, предназначенные для бурения скважин (рис. 4). Они используются для установки опор мостов, линий электропередач и других объектов.



Рисунок 4. Буровая установка для взрывных скважин при рыхлении грунта

5. Дробильно-сортировочное оборудование - оборудование, предназначенное для переработки грунта перед проведением земляных работ (рис. 5). Оно включает в себя дробилки, грохоты, конвейеры и другое оборудование.



Рисунок 5. Дробильный комплекс для гравия и щебня

### **Заключение**

Таким образом, средства механизации земляных работ для работы в условиях скального грунта на Дальнем Востоке играют важную роль в обеспечении эффективного и безопасного выполнения строительных процессов. Гидромолоты, буровые установки, экскаваторы с скальными и усиленными ковшами и землеройные машины с усиленными рабочими органами являются основными средствами механизации, используемыми в этих условиях. Использование такой техники позволяет значительно ускорить работу и снизить затраты на выполнение земляных работ в скальном грунте на Дальнем Востоке.

## Список литературы

1. Козлов П.Г. Возведение полевых фортификационных сооружений в зимних условиях // Инженерное дело на Дальнем Востоке России: Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. Владивосток: ВУЦ ДВФУ. 2023, С. 159-167
2. Козлов П.Г. Прогрессивные технологии в строительстве военных дорог в условиях Приморского края // Актуальные вопросы строительного материаловедения: материалы Всероссийской научно-практической конференции (Улан-Удэ, 21–24 июля 2021 г.) / науч. ред. Л. А. Урханова. — Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2021. — 243 с. ISBN 978-5-9793-1632-1 (С. 137-141)
3. Рященко Т.Г., Маслов Е.А., Брыжак Е.В., Корнилова Т.А., Вашестюк Ю.В., Болотнев А.Ю. Инженерно-геологическая оценка скальных грунтов на примере анализа коллекции образцов Албазинского месторождения // Науки о Земле и недропользование. 2022. Т. 45. № 2 (79). С. 197-210.
4. Алексеев Г.В., Фершалов М.Ю., Фершалов Ю.Я., Луценко В.Т., Якубовский Ю.В., Карастелёв Б.Я., Кончаков Е.И. Влияние конструктивных факторов на степень реактивности малорасходных турбинных ступеней // Научное обозрение. 2012. № 2. С. 346-357.

**Сергеева Н.Д. Саввина Е.В.**

### **ВИМ -ТЕХНОЛОГИЯ КАК ОСНОВА ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ СКВОЗНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОДОРОГ**

*Брянский государственный инженерно-технологический университет,  
кафедра: «Строительное производство».  
241037 г. Брянск просп. Станке Димитрова д.3*

**Аннотация.** Анализ роста стоимости строительства, ремонта и реконструкции автодорог в Брянском регионе связан с множеством причин, в их числе роста стоимости дорожно-строительных материалов; роста транспортных расходов, в том числе из-за полного отсутствия в регионе собственных щебеночных карьеров; низкой обеспеченностью объектов проектной документацией с оптимизацией выбора решений и др. Поэтому внедрение технологии ВИМ-моделирования, позволяющая на стадиях планирования, проектирования, строительства и эксплуатации автодорожной сети г. Брянска и области позволит обеспечить производство проектной документацией с оптимизацией технико-экономических показателей технологических процессов, но и внедрить сквозную информационную модель контроля качества строительства, реконструкции и ремонта дорог.

**Актуальность:** Возможности технологии ВИМ информационного моделирования в общегражданском строительстве обеспечивают создание цифровой трехмерной модели объекта учитываются все учетом свойств



конструкций, материалов, способов исполнения, и др. Дорожно- строительная отрасль существенно отстает, в том числе и в организации эффективного контроля качества. Цель – снижение производственных издержек. Авторы приводят основные направления создания системы сквозной модели контроля качества.

**Ключевые слова:** дорожная отрасль; технология BIM моделирования; жизненный цикл; трехмерная модель; контроль качества.

Технологии BIM (Building Information Modeling) информационного моделирования в строительстве уже широко применяется для создания цифровой трехмерной модели объекта. Известно, при BIM-моделировании строительного объекта учитывается все многочисленные свойства конструкций, материалов, способов исполнения, марок, типов, которые соотносятся с данными процесса эксплуатации и, конечно, планы, разрезы, фасады, чертежи отдельных узлов. Отметим, что в РФ имеется трехмерная информационная модель объекта капитального строительства (ТИМ-модель), включающая регламентированный набор сведений, документов и материалов для обмена информацией в электронном виде с государственными структурами. Появление ТИМ обусловлено не только тем, что в 95% ситуаций взаимодействие между участниками происходит на бумаге, а 20- 50% в цикле занимает время на оформление документации, но и отсутствием автоматизации работы заказчика, подрядчика, проведение строительного контроля и надзора. Ситуация осложнена тем, что фактически отсутствует классификатор строительной информации, стандартов для организации работы в цифровой форме, цифровых платформ для оперативного доступа к государственным услугам при строительстве и осуществлении контроля в том числе за стоимостью строительного объекта и др. Точно такая же ситуация и в сфере дорожно-строительной и дорожно-эксплуатационной сфере города и области.

Таблица 1

**Характеристика улично – дорожной сети г. Брянска**

Показатели	Магистральные дороги регулируемого движения (категория 1Б6)	Магистральные улицы общегородского значения регулируемого движения (категория 1Б4)	Улицы районного значения, транспортно-пешеходные (категория II)	Улицы и дороги местного значения в жилой застройке (категория III)	Улицы и дороги в научно-производственных, промышленных и коммунально-складских зонах района (категория IV)	Проезды, (категория V)	ИТОГО
Количество, шт.	7	33	126	231	327	441	1165
Площадь, тыс. м <sup>2</sup>	515,873	920,7209	1 874,917	1 145,5544	1 444,5797	1 003,717	6905,362

Протяжённость, км.	21,57	54,6471	179,362	138,982	236,435	230,043	861,0391
С асфальтобетонным покрытием, км.	21,57	54,6471	171,2	81,3	141,5	121,5	591,7171
с щебеночным покрытием, км.	-	-	7,0	12,0	1,0	1,0	21,0
грунтовые, км.	-	-	1,162	45,682	93,935	107,543	248,322
Протяжённость тротуаров, км.	21,6	54,6	125,6	69,5	70,1	23,0	364,4
Площадь тротуаров, тыс. м <sup>2</sup>	178,8497	270,5814	428,1269	147,9654	51,7064	29,6258	1106,8556

\*по состоянию на 01.01.2024 год.

Анализ данных характеристики улично – дорожной сети г. Брянска (табл. 1) свидетельствуют о больших объемах работ по реконструкции и ремонту дорог и тротуаров особенно категорий 1Бб; 1Б4 с интенсивностью движения порядка 14000 ед/сут., а также дорог категорий П и Ш с интенсивностью движения автотранспорта в диапазоне от 2000 до 6000 ед/сут. При этом отметим значительные объемы дорог грунтовых дорог и дорог с щебеночным покрытием. Рост стоимости ремонта и реконструкции автодорог связан с множеством причин, в их числе рост стоимости дорожно-строительных материалов; рост транспортных расходов, в том числе из-за полного отсутствия в регионе собственных щебеночных карьеров; низкая обеспеченность объектов проектной документацией; высокая доля ручных операций и др.

Отметим также, что большие объемы ремонта и реконструкции дорог выполняются вообще по техническому заданию, следовательно, сложно оценивать такие процессы как рациональные с позиций производственных издержек. В это перечень следует отнести объемы брака не только по причинам низкого качества дорожно-строительных материалов, но и нарушения технологической дисциплины, что приводит к проблеме повторного ремонта даже новых дорог через один календарный год. Отдельная проблема заключается в планировании современного обустройства магистралей категории 1Б. Речь идет о разметках, освещенности в ночное время, обустройстве «островков безопасности», зон отдыха, туалетов и другой инфраструктурой. Именно с учетом вышеизложенного авторы считают правомерным вывод о необходимости перехода дорожно-строительного комплекса города Брянска на внедрение ВИМ-технологий в производственную деятельность как для подготовки проектной документации, так и в контроле качества выполняемых объемов работ.

Почему же в РФ и, в частности в регионе Нечерноземной зоны, сдерживается практика внедрения BIM-технологий? Дело в том, что:

- строительным компаниям, в первую очередь, интересны передовые методы нормирования, планирования ресурсов, управления себестоимостью проектов и обучение специалистов;

- банковскому сектору в первую очередь, интересны передовые мероприятия по снижению рисков на услугах, связанных со строительством объектов;

- инвесторам, в первую очередь, интересно внедрение автоматизированной системы мониторинга и контроля процессов реализации строительных проектов, генерации отчетов по срокам и важнейшим экономическим показателям в реальном времени, а также для возможности эффективной котировки предложений подрядчиков.

Сфера дорожного строительства в РФ значительно отстает от сферы общегражданского строительства в использовании BIM-технологии. Среди инноваций в дорожно- строительной сфере используются только две основные технологии автоматического управления:

- на базе глобальной навигационной спутниковой системы;

- на базе использования роботизированных тахеометров [7, 8].

Но при любом из этих вариантов необходима трёхмерная модель поверхности, которая заменит двухмерную. Поэтому имеющиеся небольшие подвижки в разработке инновационного продукта, направленного на создание информационных моделей дорожных объектов перспективны, но связаны с обязательными условиями учета рельефа и геологии местности, инженерных коммуникаций, трафика, а также типа конструкции дорожной одежды и расположения объектов инженерного обустройства.

Информационное моделирование дорог базируется на том, что модель должна быть параметрической и обеспечивать возможность внесения оперативных изменений и быть совместимой со стандартизованными форматами данных с учетом стадии ее жизненного цикла [6, 7].

Как известно, к стадиям жизненного цикла автомобильной дороги относят:

1. Планирование - этап формирования нескольких вариантов возможного прохождения трассы и выбора рационального.

2. Проектирование - этап создания геометрической модели автомобильной дороги, пересечений, развязок, объектов инженерного обустройства, искусственных сооружений, послойной модели дорожной одежды.

3. Строительство / реконструкция / капитальный ремонт / ремонт— этап реализации проектного решения и подготовки дороги к сдаче в эксплуатацию.

4. Эксплуатация — этап, на протяжении которого дорога эксплуатируется с проведением всего комплекса мероприятий по регулярному обслуживанию и ремонту.

Отметим, что идеально в начале этапа эксплуатации все данные и сам проект автомобильной дороги должен быть помещен в общее хранилище данных и пополняться материалами паспортизации, диагностики и другой информацией (например, данными выполненной диагностики технического состояния, данными статистики ДТП и др.). На стадии эксплуатации необходим этап планирования работ по содержанию автомобильных дорог, в этом случае информационная модель выступает в качестве инженерного инструмента для определения объемов работ поскольку содержит комплексную информацию по объектам (например, ширина проезжей части, тип покрытия, дорожные знаки, ограждения и т. п.) с точным их описанием. Однако, технология информационного моделирования подразумевает под собой не только использование соответствующего программного обеспечения, повышение уровня применения инноваций, но и обеспечение контроля качества.

Процесс контроля качества – гарант обеспечения строительства и ремонта дорог с максимальной степенью безопасности движения. В настоящее время в мировой практике процесс контроля качества переживает стадию формирования путем полной автоматизации.

Авторы считают, что составляющими в организации прогрессивного процесса обеспечения эффективного контроля качества является ВИМ-технология, способная создать сквозную информационную модель автодороги на все этапы ее жизненного цикла; паспортизация автодорог; система мониторинга технического состояния и числа ДТП; паспортизация диагностики (по участкам и объекта в целом), видеопаспортизация дорог.

Считаем, что в целом информационная модель способна:

- проверять информационное наполнение;
- проверить геометрические параметры несоответствия проектным параметрам объекта;
- проверить соответствие состояния объекта нормативным документам;
- управлять процессам расчета сметы;
- управлять умной строительно-дорожной техникой, оборудованной системами искусственного интеллекта для автоматизации работ в режиме реального времени;
- управлять сбором данных контроля объемов выполненных работ и качества строительства и ремонта дорог посредством установки сенсоров и камер видеонаблюдения;
- управлять системой мониторинга и оптимизации маршрутов парка умной техники;
- управлять рентабельностью при строительстве или ремонте дорог посредством анализа и оценки калькуляций, ведомостей объемов выполненных работ и др.

Актуальность перехода на технологию информационного моделирования усиливается высокой динамикой «наступления» инноваций в отрасль дорожного строительства. Среди них, например, перспективные смарт-дороги для беспилотного движения автотранспорта, оборудованные компьютерным

зрением путем полного видеобзора; внедрение инновационных строительных материалов, в их числе покрытие из пластикового мусора, который формируется в устойчивые конструкции; внедрение новых систем освещения и т.д. Поскольку внедрение инноваций связано с анализом и оценкой их свойств в долгосрочной перспективе для внесения коррекций, организация контроля качества носит не только функцию обеспечения безопасности движения, но и выступает как экономическая составляющая в производственной деятельности строительно-дорожных и эксплуатационных организаций.

### **Заключение**

Таким образом, внедрение технологии информационного моделирования, позволяющая на стадиях планирования, проектирования, строительства и эксплуатации автодорожной сети г. Брянска и области обеспечить производства проектной документацией с оптимизацией технико-экономических показателей технологических процессов, но и применять сквозную информационную модель контроля качества строительства или ремонта дороги. Цель – снижение производственных издержек.

Такая модель способна:

- проверять информационное наполнение;
- проверить геометрические параметры несоответствия проектным параметрам объекта;
- проверить соответствие состояния объекта нормативным документам;
- управлять процессам расчета сметы;
- управлять умной строительно-дорожной техникой, оборудованной системами искусственного интеллекта для автоматизации работ в режиме реального времени;
- управлять сбором данных контроля объемов выполненных работ и качества строительства и ремонта дорог посредством установки сенсоров и камер видеобзора;
- управлять системой мониторинга и оптимизации маршрутов парка умной техники;
- управлять рентабельностью при строительстве или ремонте дорог посредством анализа и оценки калькуляций, ведомостей объемов выполненных работ и др.

### **Перечень нормативной документации**

1. ПП РФ №1431 от 15.09.2020 г. «Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели ОКС, состава сведений, документов и материалов, включаемых в ИМ ОКС и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов ...».

2. ПП РФ №1416 от 12.09.2020 «Об утверждении Правил формирования и ведения классификатора строительной информации».

3. СП 331.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах».

4. СП 404.1325800.2018 «Информационное моделирование в строительстве. Правила разработки планов проектов, реализуемых с применением технологии информационного моделирования»

5. СП 471.1325800.2019 «Информационное моделирование в строительстве. Контроль качества производства строительных работ».

6. СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования ИМ объектов на разных стадиях жизненного цикла».

7. СП 328.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила описания компонентов информационной модели».

8. СП 480.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Требования к формированию информационных моделей объектов капитального строительства для эксплуатации многоквартирных - автономные бульдозеры эо дроны для мониторинга

9. СП 481.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила применения в экономически эффективной проектной документации повторного использования и при ее привязке».

### **Список литературы**

1. Скворцов А. В. BIM для дорожной отрасли: что-то новое или мы этим уже занимаемся? // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 1(2). С. 8–11. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.1.2.

2. Король М. Г. BIM: Информационное моделирование — цифровой век строительной отрасли // Стройметалл. 2014. № 39. С. 26–30.

3. Скворцов А.В., Сарычев Д.С. Жизненный цикл проектов автомобильных дорог в контексте информационного моделирования // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1(4). С. 4–14. DOI:10.17273/CADGIS.2015.1.1

4. Скворцов А. В. Трудности перехода от автоматизированного проектирования к информационному моделированию дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2(5). С. 4–12. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.1.

5. IndorCAD 10 как BIM-инструмент анализа проектных решений и обнаружения коллизий / В. Н. Бойков, Н. С. Мирза, Д. А. Петренко, А. В. Скворцов // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2(5). С. 108–113. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.16.

6. Скворцов А. В. Стандарты для обмена данными // Автомобильные дороги. 2015. № 2. С. 84–89.

7. Скворцов А. В. Модели данных BIM для инфраструктуры // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1(4). С. 16–23. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.2.

8. Скворцов А. В. Общая среда данных как ключевой элемент информационного моделирования автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2(5). С. 37–41. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.6.

9. Баранник С. В. Применимость BIM-технологий в дорожной отрасли // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1(4). С. 24–28. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.3.
10. Медведев В. И. Использование интернет-карт в САПР и ГИС в качестве подложек // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2(5). С. 119–125. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.18.
11. Рукавишникова Е. Е., Лубкина К. А., Скворцов А. В. Проектирование, расчет и контроль дорожных одежд // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. № 1(1). С. 33–35. DOI: 10.17273/CADGIS.2013.1.7.
12. Гулин В. Н. Цифровые модели для систем управления дорожно-строительными машинами // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1(4). С. 56–59. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.6.
13. Райкова Л. С., Петренко Д. А. Строительство автомобильных дорог на основе 3D-моделей // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). С. 81–85. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2.13.
14. Сарычев Д. С., Скворцов А. В. Базовая модель дорожных данных в проекте ГОСТ // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). С. 98–102. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2.16.
15. Скворцов А. В. Адресный план автомобильной дороги // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. № 1(1). С. 47–54. DOI: 10.17273/CADGIS.2013.1.10.
16. Скачкова А. С., Кривых И. В., Субботин С. А. Учет гарантийных обязательств на выполненные работы в ГИС IndorRoad // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). С. 115–119. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2.19.
17. Бойков В. Н., Субботин С. А. Анализ дорожно-транспортных происшествий с использованием ГИС IndorRoad // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 1(2). С. 74–76. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.1.16.
18. Кривопапов А. Д., Петренко Д. А., Райкова Л. С. Разработка проектов организации дорожного движения: настоящее и будущее // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). С. 86–92. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2.14.
19. Скворцов А. В. BIM автомобильных дорог: оценка зрелости технологии // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). С. 12–21. DOI: 10.17273/CADGIS.2014.2.3.

**Шевель Александр Евгеньевич, Козлов Павел Геннадьевич**  
**СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**  
**И СООРУЖЕНИЙ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

*Военный учебный центр при Дальневосточном федеральном университете;  
Приморский край, г. Владивосток, ул. Экипажная 18 строение 1, 690001*

**Аннотация.** В условиях настоящего времени проблемы, возникающие при эксплуатации сооружений дорожной инфраструктуры, являются неотъемлемой

частью жизни. В связи с этим, вопросы, связанные с реконструкцией, эксплуатацией и строительством становятся максимально актуальными. В статье даётся краткий обзор по модернизации, эксплуатации, строительству и реконструкции сооружений дорожной инфраструктуры.

**Ключевые слова:** дорожные сооружения, модернизация, реконструкция, строительство, эксплуатация

К дорожным сооружениям относят: автомобильные дороги, мосты, трубопроводы, транспортные развязки, подземные пешеходные переходы, транспортные тоннели и эстакады, водопропускные сооружения.

**Строительство,** это самый важный из процессов в жизни дорожного сооружения, в котором, зачастую, закладываются как основные эксплуатационные характеристики, так и модернизационный потенциал. В основном строительство производится в несколько этапов:

- подготовка площадки для строительства автодороги (сооружения);
- укладка дорожного покрытия и оборудование автомобильной дороги (сооружения).

При строительстве принимают во внимание факторы, определяющие характеристики сооружения, а именно надёжность, пропускная способность, удобство эксплуатации качество и долговечность планируемого сооружения. Оденбах И.А., Таурит Е.Б. предлагают некоторые инновации, которые представляют особую значимость в области строительства автомобильных дорог. Авторы рекомендуют для увеличения прочности дорожного покрытия к воздействию воды, использовать гранитные наполнители, модифицированные битумы и широкий комплекс добавок (рис. 1). Использование гранитных наполнителей увеличивает сроки истираемости дорожного покрытия, формирования колеи и повышение показателя морозостойкости с 50 до 300 циклов попеременного замораживания и оттаивания [1].



Рисунок 1. Использование гранитного наполнителя для строительства дорожных покрытий автомобильных дорог



**При проектировании** автодороги в плане необходимо разработать план трассы. Выбор направления трассы между заданными пунктами производят с учетом технических требований к дороге (предельно допустимых продольных уклонов, радиусов горизонтальных кривых и т. п.), специальных военных требований (маскируемость, живучесть и т. п.), рельефа местности, контурных препятствий, грунтовых, гидрогеологических и других условий.

Проектирование, строительство и приемку дорог осуществляют по требованиям, предъявляемым к автомобильным дорогам общегосударственной классификации (табл. 1).

Таблица 1

**Требования к автомобильным дорогам  
по техническому совершенству**

Наименование технических показателей	Категория дороги				
	I	II	III	IV	V
Интенсивность движения, авт./сутки	Более 7000	3000-7000	1000-3000	200-1000	Менее 200
Расчетная скорость движения, км/час	150 120-80	120 100-60	100 80-50	80 60-40	60 40-30
Число полос движения	4 и более	2	2	2	1
Ширина полосы движения, м	3,75	3,75	3,5	3,0	-
Ширина проезжей части, м	2x7,5 и более	7,5	7,0	6,0	4,5
Ширина земляного полотна, м	27,5 и более	15,0	12,0	10,0	8,0
Наибольший продольный уклон, %	3 4-6	4 5-7	5 6-8	6 7-9	7 9-10
Наименьшие радиусы кривых в плане, м	1000 600-250	600 400-125	400 250-100	250 125-60	125 60-30
Минимальный требуемый модуль деформации, кг/см <sup>2</sup>	700	600	500	380/300	300

**Примечание:** в числителе указаны нормы для равнинной местности, а в знаменателе – для пересеченной и горной.

На равнинной местности трассу прокладывают большими по протяженности прямолинейными участками. Возникающие при этом изломы трассы вызываются необходимостью обхода каких-либо препятствий (болот, озер, оврагов и т. п.) или условиями пересечения с водостоками и существующими дорогами. На пересеченной местности, кроме того, отклонения от прямого направления вызываются необходимостью избежать больших объемов работ по возведению земляного полотна и строительству искусственных сооружений.

На поворотах трассы, вызываемых обходом препятствий и трудных участков, проектируют горизонтальные кривые с различными радиусами. По условиям безопасности движения и удобства строительства следует проектировать кривые с возможно большими радиусами в пределах 400 м.

Однако при этом должна быть проведена возможность вписывания таких кривых на местности [2].

**Эксплуатация** дорожных сооружений, заключается зачастую в поддержании последних в надлежащем качестве, наблюдением и недопущением нарушения их целостности (рис. 2).



Рисунок 2. Ремонт дорожного полотна в тоннеле на выезде с Золотого моста. г. Владивосток

В этом необходимо особое внимание уделить грамотному мониторингу сооружений на протяжении всего срока эксплуатации, а также дополнительным проверкам при чрезвычайных ситуациях и сложных погодных условиях. Мониторинг может проводиться как при наземном или воздушном наблюдении, так и при помощи дистанционных систем мониторинга, заложенных в проект сооружения.

Под модернизацией понимается актуализация дорожной инфраструктуры путём внедрения новых технологий, позволяющих качественно, а зачастую и на порядок, улучшить все характеристики сооружения. В основном модернизация заключается во внедрении инновационных материалов, технологий проектирования, приёмов укладки дорожного полотна и методов его восстановления, а также, инновационной технологии подхода к эксплуатации готового объекта. Всё вышеперечисленное позволяет делать дорожные сооружения прочнее, дешевле, относительно своих характеристик и гораздо экологичнее.

**Реконструкция** – это строительство на базе, либо восстановление старого сооружения с внедрением новых технологий, улучшением эксплуатационных характеристик сооружения и добавлением новых задач для сооружения. Реконструирование автодороги может быть полным или частичным (рис. 3). Первый вариант носит более глобальный характер, тогда как второй направлен на решение меньше числа задач. Частичная реконструкция используется в тех

случаях, когда полное реконструирование проводить нецелесообразно. При реконструкции автомобильных дорог дорожно-строительные компании в основном используют технологию регенерации и стабилизации основания (ресайклинг). Процесс основан на повторном использовании материалов старой дорожной одежды, что позволяет снизить затраты на строительство. При реконструкции очень важна привязка к уже существующей дорожной инфраструктуре, поскольку при игнорировании оной может нарушиться как пропускная способность, так и удобство эксплуатации реконструируемого или смежных с ним сооружений [3].



Рисунок 3. Частичное реконструирование автодороги

Дорожная инфраструктура как экономическая категория - это часть транспортной инфраструктуры, обеспечивающая потребности пассажирских и грузовых перевозок автомобильным транспортом. На развитие и функционирование автотранспортной отрасли региона оказывают влияние внутренние и внешние факторы. Под внутренними факторами понимаются те, которые действуют внутри региона и обусловлены развитием региона, его географическим положением и особенностями регионального управления. К ним относятся природно-географические, социальные, технологические и экологические факторы. Внешние факторы - это те факторы, которые влияют на дорожную инфраструктуру извне. К ним относятся политические и экономические условия [4, 5].

### **Заключение**

В заключении стоит отметить, что любые вопросы, связанные с модернизацией, эксплуатацией, строительством и реконструкцией дорожных сооружений будут неизменно актуальны в повседневной повестке, поскольку современность, технологичность и развитость дорожной инфраструктуры, и её составляющих в частности, напрямую влияют на все сферы экономики, от которой, в свою очередь, зависит устойчивость и экономический рост государства.

### Список литературы

1. Оденбах И.А., Таурит Е.Б. Некоторые новые технологии в дорожном строительстве // Строительные материалы и изделия, 2020. - Т. 3. № 1. С. 62 - 69.
2. Федюк, Р.С. Ремонт и содержание автомобильных дорог и аэродромов : учебник / Р.С. Федюк, П.Г. Козлов. – Москва : КноРус, 2024. – С. 15 - 24
3. <https://asfalt-kachestvo.ru/news/rekonstrukciya-avtomobilnoj-dorogi.html>
4. Юсупова Д.А., Гончарова М.Н., Геймбихнер В.Р. Состояние и перспективы развития автодорожной инфраструктуры Новосибирской области // Молодой исследователь Дона, 2022. - № 6 (39). С. 68-78.
5. Фершалов Ю.Я., Ханькович И.Н., Минаев А.Н., Карастелёв Б.Я., Якубовский Ю.В., Кончаков Е.И. Влияние конструктивных факторов на КПД малорасходных турбинных ступеней // Научное обозрение. 2012. № 5. С. 440-450.

## Секция № 9. Строительная механика

**Руководитель секции: Федюк Роман Сергеевич д.т.н., доц.,  
профессор Военного учебного центра при ДВФУ**

**Бобриков Александр Игоревич, Примчук Анатолий Григорьевич  
АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО  
СОСТОЯНИЯ ОБСАДНЫХ КОЛОНН НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН**

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

*Научный руководитель: Добрянский Руслан Францевич*

УДК 553.982.2

**Аннотация:** в данной работе проведен анализ такой области технического диагностирования, как контроль технического состояния обсадных колонн нефтяных скважин. Рассмотрен комплекс геофизических методов. Описан принцип анализа рисков и управления проектированием геолого-техническими мероприятиями.

**Ключевые слова:** межколонное давление, ГИС, акустическое цементирование, акустический каротаж, обсадные колонны.

### **ANALYSIS OF THE MAIN METHODS FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF OIL WELL CASING**

**Bobrikov Aleksandr Igorevich**

*Scientific adviser: Dobryansky Ruslan Frantsevich*

**Abstract:** In this paper we analyzed such an area of technical diagnostics as the control of the technical condition of oil well casing. The complex of geophysical methods is considered. Described the principle of risk analysis and management of engineering and technical measures design.

**Keywords:** inter-casing pressure, well logging, acoustic cementing, acoustic logging, casing strings.

Эксплуатирование любого вида нефтяных скважин неизбежно связано с пагубным влиянием на технологические узлы оборудования со стороны таких факторов, как: избыточное давление, коррозионный и механический износ. Все это уменьшает нормативный срок службы скважин и увеличивает вероятность их обводнения или выхода из строя [1].

Среди осложнений, которые может привести наличие высокого межколонного давления (МКД), можно выделить четыре основных:

1) несвоевременно регистрируемое поступление пластовых вод и флюида в межколонное пространство и вероятность их последующего выхода к устью скважины. Все это может стать причиной возникновения неконтролируемого

фонтана;

2) образование грифонов за счет нарушения герметичности цемента и обсадных колонн;

3) вероятность образования так называемых межпластовых перетоков и техногенных залежей из-за гидроразрыва пласта [2].

В качестве мероприятий, которые позволяют избежать наиболее вероятные факторы технологического нарушения скважинного оборудования, применяется принцип анализа рисков и управления проектированием геолого-техническими мероприятиями (ГТМ). Основным направлением применения ГТМ является поиск вероятных очагов притока воды в скважины. Стоит отметить, что применение ГТМ не позволит исключить риск обводнения скважин со стопроцентной вероятностью, но позволит свести его к наиболее возможному в данных геологических условиях минимуму.

Реализация принципа анализа рисков и управления проектированием геолого-техническими мероприятиями напрямую связана с проведением ремонтно-изоляционных работ (РИР) в нефтяных скважинах при разработке нефтяных месторождений [3].

Проведение РИР связано с анализом двух основных факторов риска:

1) факторы риска геологического типа: тип залежи, режим разработки залежи, наличие/отсутствие неоднородности пласта-коллектора, свойства водонефтяной эмульсии, свойства грунтовых вод, глубина залегания нефтяной ловушки, тип коллектора, тип нефтяной ловушки, расположение относительно друг друга водоносных и нефтеносных грунтов, наличие трещин и пор, величина пластового давления;

2) факторы риска технологического и технического характера: величина дебита скважины, характеристики и тип обсадных колонн, неоднородность пласта-коллектора, вид бурового раствора, характеристики бурового шлама, способ эксплуатации добывающей скважины, тип бурения скважины, материал долота буровой установки при разработке скважины.

Одним из направлений технического диагностирования скважинного оборудования является комплекс геофизических исследований (ГИС), направленный на осуществление контроля технического состояния и качества цементирования обсадных колонн. Данный комплекс мероприятий включает в себя следующие методы:

1) Акустическая цементометрия. Осуществляется фиксирование волновых колебаний, которые создаются специальным источником, в обсадной колонне, цементном камне и горных породах. Данный метод позволяет определить характер взаимодействия цементного слоя как с обсадной колонной, так с горными породами;

2) Гамма-каротаж (ГК). Метод позволяет составить наглядную картину того, какой радиоактивностью обладают породы в скважине. С помощью метода гамма-каротажа можно оценить литологию, составить примерную картину и интервал залегания коллекторов, определить процент глинистых пород;

3) Гамма-гамма цементометрия (ГГЦ). Является некоего рода

модифицированным гамма-каротажем. Ее назначение – дать оценку качества цементирования обсадных колонн и произвести оценку технического состояния колонн (выявить изменение таких параметров, как толщина стенок колонны и местоположение дефектов);

4) Электромагнитная дефектоскопия и толщинометрия (ЭМДСТ-С). В данном методе применяется создаваемое специально вихревое электромагнитное поле в обсадной колонне. Основной задачей данного метода является определение текущих местоположений башмака, муфт и дефектов обсадной колонны. Стоит отметить, что применение ЭМДСТ-С позволяет не только определить местоположение дефектов, но и дать оценку их величине как в продольном, так и в поперечном направлениях [4].

Стоит отметить, что согласно [5] на сегодняшний день наиболее полноценным с точки зрения получаемых выходных данных можно считать метод акустического каротажа. На рис. 1 продемонстрирована реализация метода акустического каротажа (акустической цементометрии).

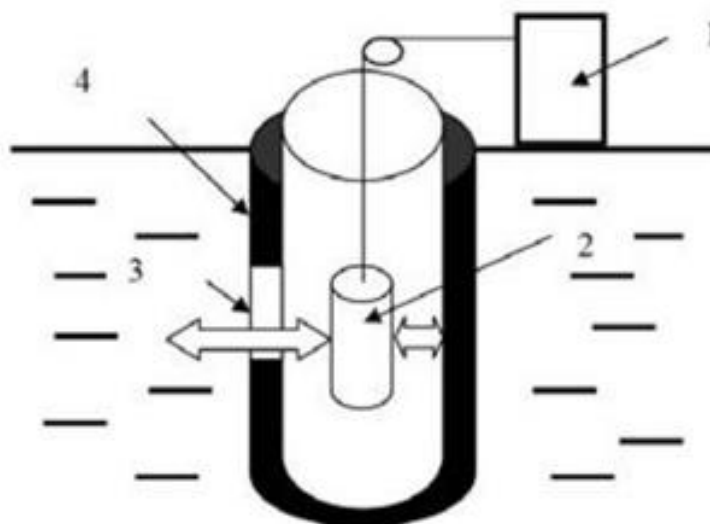


Рисунок 1. Реализация метода акустической цементометрии:

1 – каротажная станция, 2 – зонд, 3 – дефект, 4 – цементное кольцо [5]

Среди достоинств акустического каротажа промышленные исследователи выделяют в первую очередь возможность получения такой важной информации для технического диагностирования нефтяных скважин, как степень сцепления цемента с обсадной колонной и геологическими породами, что позволяет сделать вывод о состоянии герметичности межтрубного пространства. Тем не менее, как и любой другой метод технической диагностики, акустическое цементирование не избежало наличия недостатков, наиболее значимым из которых является недостоверная интерпретация входных данных при высокой скорости звука в разрезе (5000 м/с и более).

Таким образом, в работе был проведен анализ существующих методов технического диагностирования и контроля скважинного оборудования. Можно сделать вывод, что наиболее разработанным и изученным на данный момент времени является комплекс мероприятий ГИС. При этом среди комплекса геофизических исследований преимущественно отдают предпочтение в

промышленном использовании методу акустического цементирования, который, несмотря на явные положительные стороны, имеет свои недостатки. Дальнейшие исследования в данной области должны быть направлены либо на модернизацию акустического каротажа, либо на поиск принципиально новых решений.

### **Список литературы**

- 1) Фейзилова Г.Э. Результаты электромагнитной дефектоскопии нефтяных и газовых скважин / Г.Э.Фейзилова // Вектор геонаук. – Т.5. – №2. – 2022. – С.23-27
- 2) Горбачева О.А. Анализ эффективности использования современных методов диагностики источников межколонных давлений в скважинах нефтяных и газовых месторождений / О.А. Горбачева, Е.В. Егорова, Г.И. Журавлев, Ю.С. Минченко // Геология, география и глобальная энергия. – № 4 (71). – 2018. – С.66- 73
- 3) Леонтьев Д.С. Методические аспекты диагностики причин обводнения нефтяных скважин / Д.С.Леонтьев, И.И.Клещенко // Известия высших учебных заведений. – №2 (110). – 2015. – С.61-67
- 4) Губина А.И. Диагностика нефтяных скважин сканирующими геофизическими методами / А.И.Губина, П.Н.Гуляев // Трубы.Трубопроводы: резьбоуплотнительные смазки. – 2011. – №3. – С. 144-145
- 5) Андреев Н.К. Неразрушающий акустический контроль и диагностика технического состояния водных и нефтяных скважин / Н.К. Андреев, А.С. Малацион // Известия высших учебных заведений, проблемы энергетики. - № 1-2. – 2014. – С.107-115
- 6) Фершалов М.Ю., Фершалов Ю.Я., Алексеев Г.В. Степень реактивности малорасходной турбины с малыми конструктивными углами выхода сопел соплового аппарата // Научное обозрение. 2013. № 1. С. 149-153.

### **Бирюков Александр Николаевич, Таутиев Ислам Магомедович ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ**

*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*

**Аннотация:** в статье представлен алгоритм оптимизации выбора машин и механизмов для выполнения монтажных работ, отличающийся от ранее разработанных тем, что комплекты машин и механизмов формируются по критерию оптимальности, величины отношения производительности монтажного процесса к сметной стоимости выполненных монтажных работ, а так же учитывается совокупность новых факторов компенсирующих влияние стесненности на условия производства монтажных работ и позволяют выполнять данные работы уменьшая сроки производства работ.



**Ключевые слова:** алгоритм, оптимизация, демонтажные работы, комплект, машины и механизмы, критерий оптимальности.

Производство демонтажных работ требует соответствующих машин и механизмов для каждого варианта технологического процесса. Возникает необходимость оптимизации выбора машин и механизмов с целью выполнения демонтажных работ в установленные сроки с минимальными затратами.

Для оптимизации выбора машин и механизмов для проведения демонтажных работ используется линейное программирование или метод «ветвей и границ». Суть оптимального выбора машин и механизмов заключается в нахождении такого варианта комплекта машин и механизмов, при котором было бы обеспечено выполнение всех работ по планируемым демонтажным процессам для любого объекта, предусмотренного программой строительной организации или графиком непрерывного долговременного потока.

Критерием оптимальности является величина, соответствующая отношению производительности демонтажного процесса ( $m^3$  за маш.-час) к сметной стоимости выполненных демонтажных работ (руб.).

Принятые обозначения:

$A_j, B_j$  – имеющиеся ведущие и ведомые машины и механизмы для выполнения демонтажных работ;  $j = 1, 2, \dots, m$ ;

$K_i$  – формируемые комплекты машин и механизмов с взаимосвязанными параметрами для комплексной механизации сложных технологических процессов при выполнении демонтажных работ ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) [2]:

$$\sum_{i=1}^n K_i = \sum_{j=1}^m A_j + \sum_{j=1}^m B_j \quad (1)$$

$N_i$  - объекты демонтажных работ;  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Исходными данными являются:

$P_i$  - производственные возможности (производительность) имеющихся машин и механизмов для выполнения демонтажных работ;

$V_i$  - объем (трудоемкость) демонтажных работ на каждом объекте;

$C_{ij}$  -затраты, связанные с выполнением единицы демонтажных работ  $V_i$  машиной и механизмом  $A_j, B_j$  ( $j=1, 2, \dots, m$ ) на каждом объекте  $N_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ).

$X_{ij}$  - объем работ, выполняемый  $i$ -ым комплектом машин и механизмов на  $i$ -ом объекте.

При решении данной задачи используется метод «ветвей и границ», большое количество возможных решений распределения машин и механизмов по комплектам разделяется на постоянно уменьшающиеся подмножества, каждому из которых соответствует минимально возможная величина затрат, так называемая «нижняя граница». Последовательная (пошаговая) разбивка приводит к подмножеству с одним вариантом формирования нормокомплекта машин и механизмов, суммарные затраты для которого не больше «нижних границ» всех других конечных подмножеств. Это и будет оптимальный вариант формирования нормокомплекта машин и механизмов [3].

Задача оптимального распределения машин и механизмов по комплектам сводится к нахождению таких значений переменных  $X_{ij}$ , которые минимизируют целевую функцию  $y$ , которая определяется по формуле [4]:

$$y = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \rightarrow \min. \quad (2)$$

В данном виде задача определения оптимального распределения специализированных монтажных подразделений будет представлять собой транспортную задачу, которую возможно решить одним из существующих методов, например, методом ветвей и границ.

Так как комплекты создают временно под конкретные монтажные работы, введем допущение, что общая производительность всех подразделений равна общей трудоемкости работ на всех объектах (тем самым будет получена закрытая (сбалансированная) распределительная задача):

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = \sum_{i=1}^n V_i. \quad (3)$$

В последующем формируются матрицы с данными по объему монтажных работ, директивным срокам продолжительности монтажных работ и срокам начала работ по каждому объекту очереди и другим характеристикам [6]:

$$V_{\text{дем}} = \begin{pmatrix} V_{1,\text{дем}} \\ V_{2,\text{дем}} \\ \dots \\ V_{n,\text{дем}} \end{pmatrix}; H_{\text{оп}} = \begin{pmatrix} H_{1,\text{оп}} \\ H_{2,\text{оп}} \\ \dots \\ H_{n,\text{оп}} \end{pmatrix}; T_{\text{дир}} = \begin{pmatrix} T_{1,\text{дир}} \\ T_{2,\text{дир}} \\ \dots \\ T_{n,\text{дир}} \end{pmatrix}; T_{\text{нач}} = \begin{pmatrix} T_{1,\text{нач}} \\ T_{2,\text{нач}} \\ \dots \\ T_{n,\text{нач}} \end{pmatrix}; \quad (4)$$

где  $V_{\text{дем}}$  – объем демонтируемых конструкций здания;  $T_{\text{дир}}$  – директивное время на производство работ;  $H_{\text{об}}$  – объемно-планировочные габариты объекта;  $C_{\text{lim}}$  – лимит затрат на производство монтажных работ;  $T_{\text{нач}}$  – директивная дата начала производства работ.

Формируются матрицы с данными по ведущим и ведомым машинам и механизмам

$$A_j = \begin{pmatrix} A_{1,j} \\ A_{2,j} \\ \dots \\ A_{n,j} \end{pmatrix}; B_j = \begin{pmatrix} B_{1,j} \\ B_{2,j} \\ \dots \\ B_{n,j} \end{pmatrix}; \Pi_{aj} = \begin{pmatrix} \Pi_{1,aj} \\ \Pi_{2,aj} \\ \dots \\ \Pi_{n,aj} \end{pmatrix}; \Pi_{bj} = \begin{pmatrix} \Pi_{1,bj} \\ \Pi_{2,bj} \\ \dots \\ \Pi_{n,bj} \end{pmatrix}; \quad (5)$$

где  $\Pi_{aj}$  и  $\Pi_{bj}$  – производительность ведущих и ведомых машин и механизмов;  $C_{aj(bj)}$  – затраты на эксплуатацию ведущих и ведомых машин и механизмов;

Определяются показатели [7], характеризующие специфику конкретного объекта, необходимые как ограничения при выборе машин и механизмов. Показатель демонтируемости  $P_{\text{дем}}$ , характеризующий удельный вес конструкций подлежащих демонтажу от общего объема конструкций и связанный с ним показатель необходимости мониторинга сохраняемых конструкций  $P_{\text{мск}}$  являющиеся ограничениями при выборе машин и механизмов, по формулам [8]:

$$P_{\text{дем}} = 1 - \frac{V_{\text{дем}}}{V}, \quad P_{\text{мск}} = 1 - \frac{V_{\text{мск}}}{V}, \quad (6)$$

где  $V_{\text{дем}}$  – объем демонтируемых конструкций здания;  $V$  – объем конструкций здания;  $V_{\text{мск}}$  – объем сохраняемых конструкций здания подлежащих мониторингу технического состояния [9].

Определяются ограничения по выбору машин и механизмов связанные со стесненностью (показатели внутренней стесненности, внутриплощадочных проездов, закрытости застройки, плотности застройки, стесненности использования демонтажных механизмов, стесненности по транспортным габаритам демонтажного механизма, непрерывности процесса производства демонтажных работ на участке по количеству действий прерывания) [10,11]:

$$P_{\text{вн.стес}} = \frac{S_{\text{дем}}}{S}, P_{\text{пр}} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i \times b_i}{S}; P_{\text{закр}} = \frac{P_{\text{сопр}}}{P_{\text{своб}}}; P_{\text{плотн},i} = \frac{S_{\text{факт.им}} - S_{\text{зд}}}{S_{\text{треб},i}};$$

$$P_{\text{сдм},ij} = \frac{\left(\frac{\sum_{i=1}^n M_i}{\sum_{k=1}^n W_k}\right)}{n \times m}; P_{\text{гдм}} = \frac{F_{\text{гдм}}}{F_{\text{удр}}}; P_{\text{нпдр}} = \frac{1}{1+N} \quad (7)$$

Определяется показатель наличия инженерных систем:

$$P_{\text{пис}} = \frac{S_{\text{инж.сист}}}{S_{\text{дем}}}, \quad (8)$$

Формируются матрицы с данными по показателям, характеризующим специфику конкретного объекта демонтажа:

$$P_{\text{дем}} = \begin{pmatrix} P_{1,\text{дем}} \\ P_{2,\text{дем}} \\ \dots \\ P_{n,\text{дем}} \end{pmatrix}; \dots; P_{\text{нпдр}} = \begin{pmatrix} P_{1,\text{нпдр}} \\ P_{2,\text{нпдр}} \\ \dots \\ P_{n,\text{нпдр}} \end{pmatrix}; \quad (9)$$

Для каждого средства механизации составляют матрицу затрат, причем объем вычислений после решения задачи первого уровня значительно сокращается.

Алгоритм оптимизации выбора машин и механизмов для выполнения демонтажных работ приведен на (рис. 1).

На первом этапе проводится информационная подготовка процесса, сбор и тщательный анализ технических, технологических, экономических и других показателей, связанных с объектом производства демонтажных работ, условиями работы, возможными технологическими процессами выполнения работ и возможными средствами механизации, которые потенциально, могли бы выполнить те или иные демонтажные процессы [11,12].

На втором этапе по выбранному критерию оптимизации проводится синтез, моделирование и оптимизация нормокомплектов машин и механизмов. В данной постановке принцип оптимальности называется принципом минимизации затрат.

В допустимых границах формирование нормокомплектов машин и механизмов может рассматриваться как единая система с учетом внутренних связей, между ведущей и ведомой машинами, и внешних связей, условий в которых будет работать нормокомплект машин и механизмов [11].



Рисунок 1. Алгоритм оптимизации выбора машин и механизмов для выполнения демонтажных работ

### Заключение

Таким образом, авторами разработан алгоритм оптимизации выбора машин и механизмов для выполнения демонтажных работ, отличающийся от ранее разработанных тем, что комплекты машин и механизмов формируются по

критерию оптимальности, величины отношения производительности монтажного процесса к сметной стоимости выполненных монтажных работ, а так же учитывается совокупность новых факторов компенсирующих влияние стесненности на условия производства монтажных работ и позволяют выполнять данные работы уменьшая сроки производства работ.

### Список литературы

1. Белицкий Б.Ф. Технология и механизация строительного производства. Ростов н/Д: ФЕНИКС, 2004. 752 с.

2. Бирюков, А. Н. Общие принципы проектирования комплектов строительных машин при механизации монтажных работ / А. Н. Бирюков, И. М. Таутиев, А. К. Абрамов // Актуальные проблемы естественных и технических наук : Сборник статей межвузовской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 21 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург: Военный институт (инженерно-технический) - структурное подразделение Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования "Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева" Министерства обороны Российской Федерации, 2023. – С. 6-16. – EDN НУУОСУ.

3. Бирюков А.Н., Таутиев И.М. Взаимосвязь строительных машин в комплексе экскаватор-самосвал при проведении монтажных работ зданий и сооружений // В сборнике: Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт. Материалы IX-ой Международной научно-практической конференции, посвящённой памяти академика РААСН Чернышова Е.М. 2022. С. 601-307.

4. Бирюков А.Н., Таутиев И.М. Анализ современного состояния процесса выбора средств механизации при проведении монтажных работ/В сборнике: Современные проблемы менеджмента в строительстве. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2022. С. 246-254.

5. Венецкий И.Г., Венецкая В.И. Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе. М. Статистика. 1979. 228 с.

6. Канторович Л. В., Горстко А. Б. Математическое оптимальное программирование в экономике. – М.: Знание, 1968. – 96 с.

7. Кудрявцев Е.М. Комплексная механизация и автоматизация строительства. М.: Стройиздат, 1989. 246 с.

8. Морозов А.С., Тонких Г.П., Демидов К.А. Рекомендации по способам разборки поврежденных зданий и сооружений. – М.: 26 ЦНИИ МО РФ, 2007. - 127 с.

9. Побегайлов О.А. Инновационно-ориентированный подход к использованию городской земли// Инженерный вестник Дона, 2013. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1721](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1721).

10. Таутиев И.М. Расчёт комплектов строительных машин для демонтажа зданий из сборных конструкций/В сборнике: Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2022. № 51 (20). С. 183-190.

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023660552 Российская Федерация. Программа расчета комплекта машин для выполнения демонтажных работ при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций : № 2023618689 : заявл. 02.05.2023 : опубл. 22.05.2023 / И. М. Таутиев, А. Н. Бирюков, А. С. Мокроусов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва» Министерства обороны Российской Федерации. – EDN ACXDDV.

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023667676 Российская Федерация. Программа для расчета эксплуатационной производительности ведущей машины : № 2023665744 : заявл. 27.07.2023 : опубл. 17.08.2023 / А. Н. Бирюков, Ю. А. Бирюков, И. М. Таутиев, В. П. Фомин ; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва» Министерства обороны Российской Федерации. – EDN TAEGZR.

**Быстров Никита Сергеевич<sup>1</sup>, Овчинников Игорь Георгиевич<sup>2</sup>**  
**МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ**  
**СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И РИСКА КАРСТОВОГО**  
**ПРОВАЛА**

<sup>1</sup>*Уральский государственный университет путей и сообщения, кафедра  
Мосты и транспортные тоннели. г. Екатеринбург*

<sup>2</sup>*Тюменский индустриальный университет, базовая кафедра  
АО Мостострой-11. г. Тюмень*

**Аннотация:** в условиях современного развития городов обеспечение безопасности и надежности зданий становится критически важной задачей. Особенно актуальным является противостояние прогрессирующему обрушению в условиях экстремальных воздействий. В статье представлены методы и стратегии, направленные на противостояние прогрессирующему обрушению зданий при совместном воздействии особых нагрузок типа «землетрясение - карстовый провал». Исследование проведено с целью обеспечения устойчивости и безопасности зданий в сложных геологических и природных условиях. В статье представлены основные расчетные стадии, необходимые для проверки здания на устойчивость к прогрессирующему обрушению, на основе которых сформулирован ряд задач, которые необходимо решить в процессе проектирования для успешной реализации проекта. Представленные методы позволяют эффективно укрепить здания и повысить их устойчивость. Основной целью работы является представление общего обзора основных способов

усиления здания при рассматриваемых особых воздействиях. В дальнейшем является актуальным выявление наиболее эффективных подходов по обеспечению стойкости зданий при комбинации особых нагрузок типа «землетрясение-карстовый провал».

**Ключевые слова:** сейсмическое воздействие, карстовый провал, прогрессирующее обрушение, ядро жесткости, надежность, особые нагрузки.

Расчет зданий на прогрессирующее обрушение - это важная и актуальная проблема в области строительства. Прогрессирующее обрушение представляет собой особо опасный сценарий разрушения здания, при котором небольшое повреждение в одной его части может привести к катастрофическому обрушению всей конструкции. Такие события могут иметь огромные последствия для жизни и здоровья людей, и способствовать огромным экономическим и социальным потерям.

Сегодня в обществе все чаще возникают потребности, связанные с решением таких проблем как террористические угрозы, природные катастрофы и т.п. Все это подчеркивает необходимость повышения надежности зданий, чтобы они могли выдерживать экстремальные нагрузки и гарантировать безопасность. Изучение и анализ сценариев прогрессирующего обрушения зданий и сооружений указывает на то, что общим фактором, приводящим к аварии, являются непредвиденные обстоятельства, связанные с возникновением экстремальных воздействий на объект [1,2]. На протяжении последних десятилетий ведётся активная работа по изучению методов оценки живучести объектов в условиях экстремальных воздействий, например, провалов грунта [3], взрывов [4] и т.п.

При расчете зданий на устойчивость к прогрессирующему обрушению, повышенное внимание следует уделять чрезвычайным ситуациям, связанным с комбинацией особых воздействий. Трагические события в Нью-Йорке 11 сентября 2001 года, связанные с атакой террористов на высотные здания Всемирного торгового центра, поставили перед человечеством ряд политических, социальных, технических проблем [5]. Также данное событие подняло вопрос сочетания и комбинирования особых нагрузок. Он возникает на основе одновременного влияния разных видов особых воздействий на здания и сооружения. Например, такие нагрузки могут включать землетрясения, наводнения, взрывы, пожары и другие чрезвычайные ситуации. В работах [6,7] делается подробный разбор комбинации типа «удар-взрыв-пожар», фото катастрофы в результате которой произошло разрушение Всемирного торгового центра представлено на рисунке 1.



Рисунок 1. Комбинации особых воздействий типа «удар-взрыв-пожар» в Нью-Йорке, 11 сентября 2001 года. Ссылка: [https://avatars.mds.yandex.net/get-images-cbir/141136/w\\_yVp1-cpBE1pThNLRNqmQ4375/ocr](https://avatars.mds.yandex.net/get-images-cbir/141136/w_yVp1-cpBE1pThNLRNqmQ4375/ocr)

Проблематика сочетания особых нагрузок требует глубокого внимания и исследований, поскольку различные виды нагрузок могут взаимодействовать друг с другом, вызывая непредвиденные последствия. Далее будет рассмотрено сочетание особых воздействий типа «землетрясение-карстовый провал» и основные конструктивные мероприятия для обеспечения устойчивости здания к ним.

При комбинации особых воздействий типа «землетрясение-карстовый провал», несущие элементы здания могут разделяться по следующим характерным группам:

1. Несущие конструкции, полностью сохранившие свои эксплуатационные качества.
2. Частично поврежденные несущие конструкции, которые в результате аварийного воздействия утратили какую-то часть несущей способности, но не выключились из работы целиком.
3. Разрушенные несущие конструкции, которые в результате аварийного воздействия полностью утратили свою несущую способность и выключились из расчетной схемы.

Утрата стойкости одного из несущих элементов здания приводит к перераспределению нагрузок на оставшиеся несущие конструкции. Это, в свою очередь, приводит к увеличению усилий в уцелевших элементах и ухудшению условий их работы. Из этих соображений, развитие расчетной схемы здания,



которое происходит за счет особого воздействия «землетрясение-карстовый провал», может быть разделено на следующие расчетные стадии:

Стадия 0. Первичная расчетная схема здания до аварийного воздействия. На данной стадии расчет здания производится без учета влияния особых воздействий.

Стадия 1. Расчет здания на сейсмическое воздействие. На данной стадии осуществляется подбор конструктивных элементов для обеспечения устойчивости и нормальной эксплуатации здания при землетрясении. Если все требования, выдвинутые к несущим элементам нормами РФ, удовлетворяются, то рассматривается следующая расчетная стадия.

Стадия 2. Расчет здания на образование карстовой воронки. На данной стадии производится подбор конструктивных элементов для обеспечения устойчивости здания при карстовом провале. Если все требования, выдвинутые к несущим элементам нормами РФ, удовлетворяются, то рассматривается следующая расчетная стадия.

Стадия 3. Расчет здания с учетом комбинации особых воздействий. На данной стадии осуществляется подбор конструктивных элементов для обеспечения устойчивости здания. Если все требования, выдвинутые к несущим элементам нормами РФ, удовлетворяются, то рассматривается следующая расчетная стадия.

Стадия 4. Анализ расчетной модели, в результате, которого происходит определение конструкций с наибольшими напряжениями. На данной стадии моделируются расчетные ситуации по разрушению несущего элемента и выключению его из работы расчетной схемы. Важно отметить, что выход из строя одной несущей конструкции – это одна расчетная ситуация. В результате разрушения одного из несущих элементов не должно происходить прогрессирующего обрушения здания [8,9].

Учитывая представленные расчетные стадии, для проверки устойчивости здания к прогрессирующему обрушению при комбинированном воздействии особых нагрузок, необходимо решить следующие задачи:

1. Определение нагрузок и сценариев их воздействия.
2. Анализ конструктивной системы. Оценка несущих элементов и выявление ключевых компонентов, которые могут привести к прогрессирующему обрушению.
3. Моделирование поведения. Создание компьютерных моделей, позволяющих симулировать поведение здания под воздействием выбранных нагрузок и определить моменты начала разрушения.
4. Оценка уязвимости. Определение точек нарушения структурной целостности и оценка степени устойчивости здания при различных сценариях.
5. Анализ результатов и определение потенциально уязвимых зон и конструктивных элементов.
6. Заключение об устойчивости объекта к прогрессирующему обрушению при рассматриваемой комбинации особых воздействий.

Карстовые процессы обычно происходят в таких породах как гипс, известняки, соли и др., которые характеризуются способностью растворяться в воде. Для активного растворения породы требуется наличие подземных водных источников, а землетрясение в свою очередь может вызывать сильные колебания и структурные деформации грунта, которые способствуют раскрытию новых трещин и пустот. Это может увеличить взаимодействие растворимых пород с подземными водами и способствовать процессам образования карстовых воронок. Пример образования карстовых воронок представлен на рисунке 2.



Рисунок 2. Карстовая воронка в Гватемале. Ссылка:

[https://avatars.mds.yandex.net/get-images-cbir/247260/o\\_PRo25hlx-jiQcPYQQorA4867/ocr](https://avatars.mds.yandex.net/get-images-cbir/247260/o_PRo25hlx-jiQcPYQQorA4867/ocr)

Расчет несущих элементов здания должен быть выполнен в пространственной постановке с учетом совместной работы всего здания с основанием под ним. При строительстве в карстовых районах расчет должен включать в себя возможность образования в любом месте под зданием одной карстовой воронки диаметром 6 метров, при этом у несущих элементов и их стыков должна быть обеспечена прочность на восприятие воздействий, возникающих при образовании провала. Грунт на краях воронки принято считать условно ненарушенным. В расчетных комплексах карстовый провал моделируют с помощью нулевого коэффициента постели в области рассматриваемой воронки. Сложность данных расчетов связана не с процедурой расчета, а с высокой степенью неопределенности при задании исходных данных. При этом большее количество вопросов возникает всегда при моделировании основания с учетом образования карстовых полостей. Связано это с тем, что геометрические размеры карстовых полостей в грунтах строго не определены.

Рассмотрим основные конструктивные мероприятия по повышению устойчивости здания при карстовых провалах:

- закрепление основания путем тампонирувания грунтов цементными смесями, бетоном или нерастворимыми материалами;

- изменение гидрогеологической ситуации с целью укрепления или замедления процессов, связанных с карстовой и суффозионной активностью. Планировка участка должна гарантировать эффективный отвод атмосферных вод в ливневую канализацию;

- при применении свайного фундамента некоторые сваи могут оказаться внутри карстовой воронки. Это в свою очередь приводит к зависанию свай на ростверке и созданию в нем дополнительных усилий. В связи с этим необходимо сопряжение сваи с ростверком делать без арматурных выпусков и с заделкой головы сваи не более 0,1 метра в ростверк для возможности реализации выскальзывания сваи. Пример шарнирного узла примыкания сваи к ростверку представлен на рисунке 3;

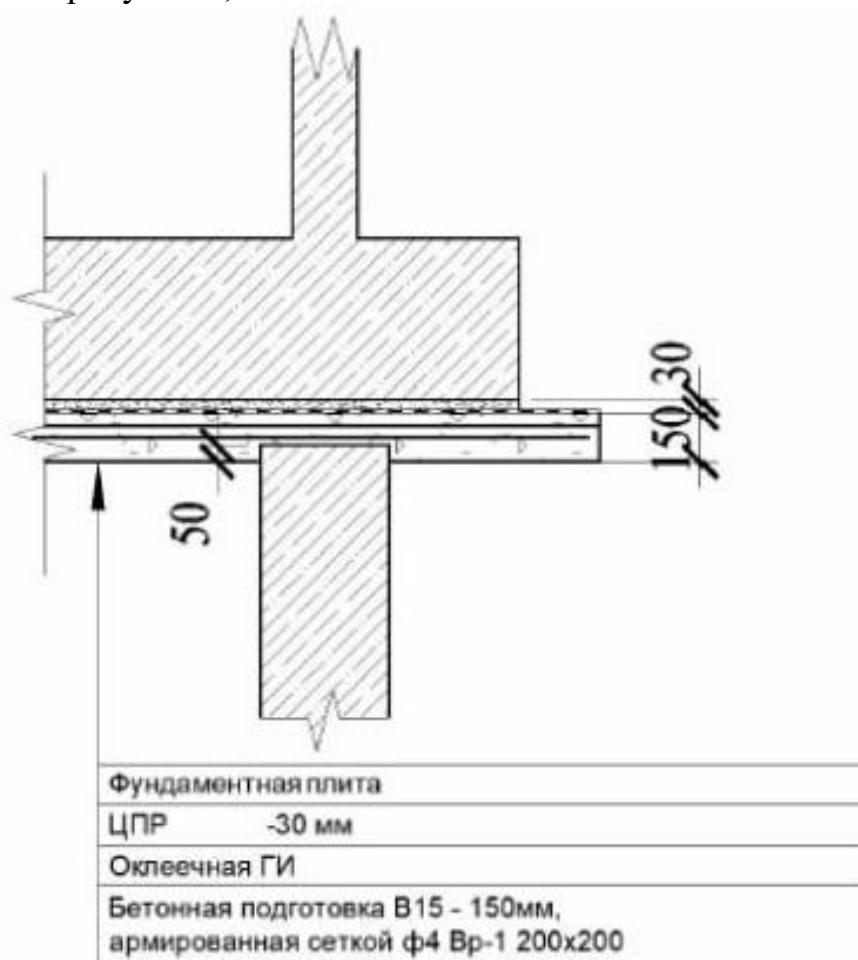


Рисунок 3. Шарнирный узел примыкания сваи к ростверку.

- повышение пространственной жесткости здания для возможности восприятия деформаций в основании;

- использование закладных изделий в фундаментах в виде гильз компенсационного нагнетания раствора для возможности тампонирования полостей, которые образовались под фундаментами зданий. Например, в фундаментную плиту можно заложить гильзы диаметром 114x5 с шагом 6x6 метров;

При строительстве на территориях, где возможны карстовые процессы, в первую очередь необходимо произвести инженерно-геологические меры защиты и укрепления основания. По результатам данных мероприятий нужно выполнить повторную классификацию места строительства, по которой в дальнейшем и будет производиться проектирование.

В зависимости от уровня ответственности объекта в нормах Российской Федерации выделяют два метода расчета зданий и сооружений на сейсмические воздействия - прямой динамический анализ и линейно-спектральный. В СП 14.13330.2018 реализован расчет по линейно-спектральному методу, который построен на основе концепции спектров ответов. На рисунке 4 представлена схема сейсмического воздействия на здание.

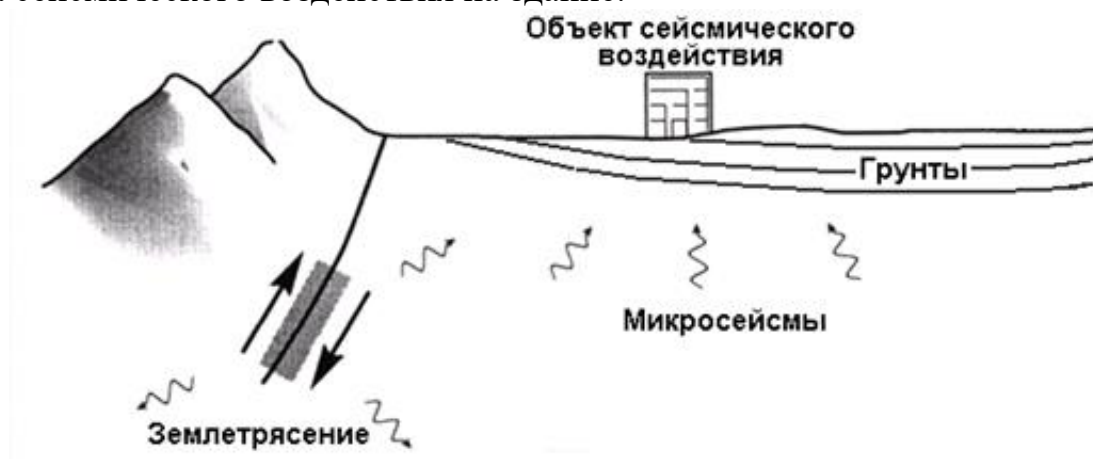


Рисунок 4. Схема сейсмического воздействия на здание. Ссылка: [https://avatars.mds.yandex.net/get-images-cbir/1467503/rmZuFDJFJm-AkRcrqPkS\\_A6445/ocr](https://avatars.mds.yandex.net/get-images-cbir/1467503/rmZuFDJFJm-AkRcrqPkS_A6445/ocr)

Рассмотрим основные конструктивные мероприятия по повышению устойчивости здания при сейсмических воздействиях. Стоит отметить, что для повышения устойчивости зданий к прогрессирующему обрушению применяются такие же конструктивные мероприятия. Ниже перечислены основные из них:

- принятие оптимальной формы здания для успешного восприятия ветровых нагрузок, что в свою очередь приводит к уменьшению колебаний системы и повышению устойчивости здания [10];

- реализация оптимального объемно-планировочного решения, которое гарантирует оптимальное размещение несущих конструкций для надежной эксплуатации здания;

- отказ от использования сборных элементов в пользу монолитных конструкций;

- использование конструктивных решений, которые допускают пластические деформации в узлах;

- симметричное размещение диафрагм и ядер жесткости. Оно означает, что монолитные плиты перекрытия размещаются на одинаковом расстоянии от

вертикальных ядер жесткости здания. Это обеспечивает равномерное распределение горизонтальных нагрузок, таких как ветровые или сейсмические нагрузки, и минимизирует возможность дисбаланса в работе конструкции;

- применение бескаркасной системы, которая включает несущие стены по всему периметру здания;

- систематическая расстановка несущих конструкций без смещений по всей высоте здания;

- применение горизонтальных диафрагм жесткости;

- использование аутригерных систем. Аутригерные системы также часто заменяют ленточными поясами, данные решения на сегодняшний день являются самыми эффективными для регулирования горизонтальных деформаций. Их допускается применять не в каждом уровне, количество определяется расчетом и зависит от сейсмичности строительной площадки [11,12]. Пример аутригерной системы представлен на рисунке 5.

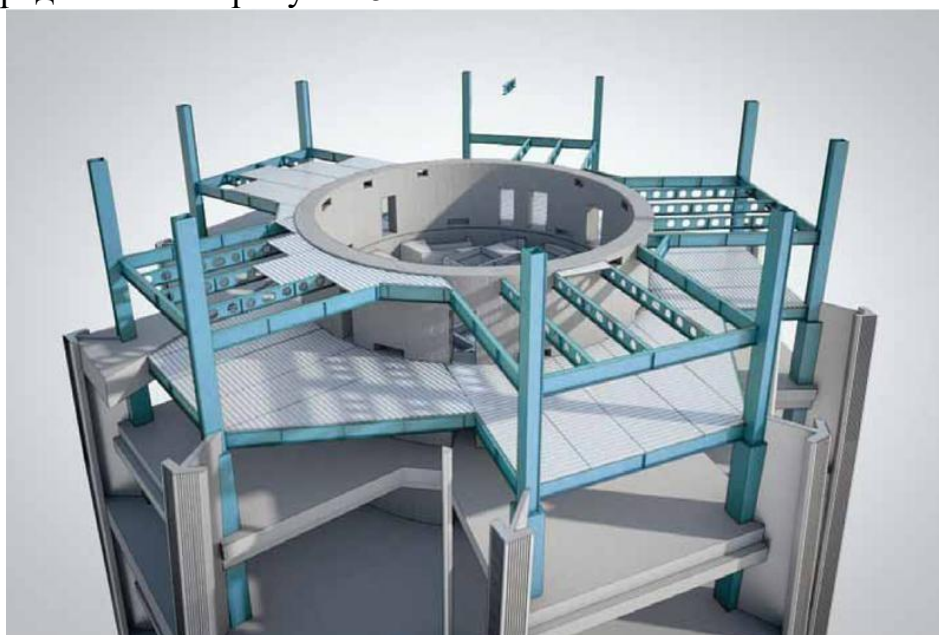


Рисунок 5. Аутригерная система, применяемая в Лахта-центре. Ссылка:

<https://avatars.mds.yandex.net/get-images-cbir/2933980/wGkx4VGeqLvWkVEXZ2YjvA5748/ocr>

Роль аутригерных систем заключается в создании связей между ядром жесткости и несущими конструкциями, расположенными по периметру здания [13]. Применение аутригерных систем дает возможность увеличить пространственную жесткость здания. Однако в зданиях, у которых высота составляет менее 160 метров, применение аутригерных систем является не рациональным. Дешевле повысить жесткость здания за счет увеличения момента инерции ядра или применения перекрытий балочного типа. Также жесткость здания можно увеличить за счет добавления диафрагм по всей высоте здания и т.п.

Сейсмические воздействия и карстовые провалы представляют реальную опасность для многих регионов. Исследования в этой области играют важнейшую роль в безопасности наших городов и общества в целом. Эффективное внедрение рассмотренных методов позволит минимизировать риски прогрессирующего обрушения и обеспечить стойкость зданий перед вызовами, вызванными природными явлениями. В дальнейшем актуальным направлением исследований является моделирование и анализ поведения зданий при разных видах особых воздействий. Это позволит более точно понимать реакцию объектов в экстремальных условиях.

Определяющим фактором в конечном итоге будет практическая реализация разработанных моделей на реальных объектах. Данный фактор позволит оценить эффективность новых подходов, что в свою очередь приведет к строительству более безопасных и надежных зданий, способных справляться с различными экстремальными внешними угрозами.

### **Список литературы**

1. Назаров Ю.П., Городецкий А.С., Симбиркин В.Н. К проблеме обеспечения живучести строительных конструкций при аварийных воздействиях // Строительная механика и расчет сооружений. 2009. №4. с. 5-9.

2. Лукашевич И.Е., Кириллов И.А., Ройтман В.М. и др. Программная система для анализа опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в городском окружении на основе технологии «виртуальной реальности». – Городской строительный комплекс и безопасность жизнеобеспечения граждан (Сборник докладов). -М.: МГСУ, 2005. С.21-28.

3. Ortiz J.A., Hernandez L.A., Hernandez M. et al. Full-scale experimental and numerical study about structural behaviour of a thin-walled cold-formed steel building affected by ground settlements due to land subsidence // Prevention and Mitigation of Natural and Anthropogenic Hazards due to Land Subsidence: Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences (IAHS). Nagoya, Japan, 2015. Vol. 372. Pp. 141–144

4. Расторгуев Б.С., Плотников А.И., Хуснутдинов Д.З. Проектирование зданий и сооружений при аварийных взрывных воздействиях: Учебное пособие. – М.: Изд. АСВ, 2007. - 152 с.

5. World Trade Center Building Performance Study: Data Collection, Preliminary Observations, and Recommendations. Federal Emergency Management Agency (FEMA), 403 /May 2002, New York.

6. Ройтман В.М. Стойкость зданий и сооружений против прогрессирующего обрушения при комбинированных особых воздействиях участием пожара // Вестник МГСУ. – М.: МГСУ, 2009. Спец. вып. №2. С.37-59.

7. Roytman V.V., Pasman H.J., Lukashovich I.E. The Concept of Evaluation of Building Resistance against combined hazardous Effects “Impact-Explosion-Fire” after Aircraft Crash. –Fire and Explosion Hazards: Proceedings of the Fourth International Seminar, 2003, Londonderry, NI, UK, pp.283-293.

8. Общие положения к техническим требованиям по проектированию жилых зданий высотой более 75 м. – М.: Москомархитектура, 2002. 69 с.

9. Методика расчета монолитных жилых зданий на устойчивость против прогрессирующего обрушения: Научн.-техн.отчет /Дог.№Н2-410/. – М.: МНИИТЭП, 2004. - 40 с.

10. Shumeyko V. The support systems of unique high-rise buildings. MATEC Web of Conferences 2017. Vol. 106, p. 02026. EDP Sciences.

11. Schueller, Wolfgang. High-rise building structures. John Wiley & Sons, 1977. 274 p.

12. Шумейко В.И., Кудинов, О.А. Об особенностях проектирования уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений //Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2164](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2164).

13. Karamysheva A.A., Shumeyko V.I. Rational constructional and planning concepts of high-rise buildings' stabilization // Engineering studies. Volume 9, №3, 2017. pp. 696-702.

## **Никитин Максим Александрович, Овчинников Илья Игоревич АВАРИИ НАДЗЕМНЫХ ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ, АНАЛИЗ ИХ ПРИЧИН**

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина  
Ю.А., Институт урбанистики, архитектуры и строительства, кафедра  
Транспортное строительство (ТСТ), г. Саратов*

**Аннотация:** В данной статье рассмотрены основные причины возникновения аварийных ситуаций на мостовых сооружениях, приведены примеры аварий на пешеходных мостах и надземных переходах, выполнен анализ данных происшествий и причин их возникновения, а также сформированы суждения по повышению безопасности пешеходных мостов.

**Ключевые слова:** пешеходные мосты, пешеходные путепроводы, надземные пешеходные переходы, аварии на пешеходных мостах, анализ причин.

Любые мостовые сооружения, будь то автомобильные, железнодорожные или пешеходные мосты, или путепроводы, являются одними из самых ответственных и дорогих объектов транспортной сети, без которых невозможно развитие экономики и благополучия страны. Возрастающие транспортные потоки требуют безопасной и бесперебойной эксплуатации мостов, эстакад, путепроводов и надземных пешеходных переходов, в любое время года, независимо от погодных условий.

Исходя из этого можно сделать вывод, что вопрос обеспечения безопасной эксплуатации данных сооружений является важнейшей задачей, так как аварии на мостовых сооружениях наносят огромный ущерб экономике страны,

окружающей природной среде, а самое главное - составляют угрозу жизни и здоровью людей.

На основе работы [1] можно выделить три группы факторов, влияющих на безопасную эксплуатацию мостовых сооружений.

Первая группа факторов — это качество проектных решений. Сюда относятся:

- изыскательские работы по сбору данных для проектирования;
- выбор места перехода, положения сооружения в плане и профиле, разбивка моста на пролеты;
- выбор конструктивной схемы мостового сооружения, опорных частей, деформационных швов, ограждающих устройств, дорожной одежды и прочее.

Вторая группа факторов — это качество строительно-монтажных работ, соблюдение технических и технологических нормативов в соответствии проектному решению.

К третьей группе факторов относятся вопросы, связанные с эксплуатацией мостовых сооружений:

- осуществление надзора за состоянием конструкции;
- обеспечение бесперебойного пропуска транспорта и пешеходов.

Надземные пешеходные переходы хотя и имеют ряд отличительных особенностей в сравнении с автодорожными и железнодорожными мостовыми сооружениями, но всё же в большинстве случаев конструктивно повторяют их облик. Это означает, что причины, которые приводят к авариям на транспортных сооружениях, применимы и к пешеходным мостам.

Целью данной работы является исследование причин появления аварий на пешеходных переходах.

В данном проекте рассмотрены основные причины возникновения аварийных ситуаций на мостовых сооружениях, приведены примеры аварий на пешеходных мостах и надземных переходах, произведен анализ данных инцидентов и поводов к их возникновению и сформулированы соображения по повышению безопасности пешеходных мостов.

#### **Аварии от воздействия ветровой нагрузки**

Наиболее подверженными ветровой нагрузке мостовыми сооружениями справедливо считаются большепролетные вантовые, висячие и комбинированные мосты и путепроводы.

Наверное, самым известным случаем разрушения моста под действием ветра является катастрофа моста Tacoma Narrows Bridge (рис. 1), соединявшего Такому с полуостровом Китсап в штате Вашингтон 7 ноября 1940 года.





Рисунок 1 - Катастрофа моста Tacoma Narrows Bridge [2]

Tacoma Narrows Bridge с самого начала был обречен на обрушение из-за ошибок конструкции. Исключительно длинный центральный пролет был очень узким - всего 12 метров, а столбы, на которых висела конструкция, вызывали воздушные завихрения даже при небольшом ветре. Кроме того, пролеты моста не были усилены, из-за чего начинались вибрации и колебания.

Примером разрушения пешеходного моста под действием ветровой нагрузки может служить авария на пешеходном мосту через р. Кемь 26 ноября 2010 года (рис. 2).

Мост комбинированной системы (висячий со стальной фермой жесткости), длиной 180 м, пилоны выполнены из трубчатых элементов, кабельная система моста имеет цепную конструкцию из стержневых элементов. Строительство моста началось в июле 2000 года ГУП «Мост» по проекту института «Гипромостстрой». В декабре 2001 года мост был открыт. Причинами обрушения называют неблагоприятные погодные условия – отрицательные температуры воздуха, сильный порывистый ветер до 21 м/с, а также конструктивные недостатки системы.



Рисунок 2 - Обрушение пешеходного моста в Карелии [3]

### **Аварии из-за ошибок во время строительства или ремонта**

Ярким примером аварии из-за ошибок во время строительства может служить случай в г. Нью-Дели в Индии в 2010 году (рис. 3). 21 сентября произошло обрушение монтажного блока железобетонной балки жесткости пешеходного путепровода, строящегося в районе городского стадиона. Пешеходный путепровод запроектирован висячей системы со стальным арочным пилоном коробчатого сечения и железобетонной балкой жесткости. Обрушение произошло во время строительно-монтажных работ при бетонировании стыка железобетонных монтажных блоков. Причиной обрушения называют обрыв одного из креплений подвески. По крайней мере, 23 человека пострадали в результате инцидента.



Рисунок 3 - Обрушение пешеходного моста в Нью-Дели [3]

### **Аварии, вызванные перегрузкой несущих конструкций**

5 мая 2019 года В Орловском парке Дворянское гнездо буквально под ногами пешеходов провалились доски моста (рис. 4). Пешеходы смотрели салют. Чудом обошлось без серьезных травм, однако горожане возмущены: переправу возвели совсем недавно, а качество работы налицо.



Рисунок 4 - Обрушение пешеходного моста в Орловском парке [4]

В городе Конкорд, штат Северная Каролина, США обрушился пешеходный путепровод. 25-ти метровый пролет железобетонного балочного моста (рис. 5), соединяющего автодром с автомобильной стоянкой на высоте 4,5 м, рухнул на проходящую под ним четырехполосную автостраду. Более ста человек, включая детей, получили травмы. Мост был построен только 1995 году и прошел государственную проверку.

Трагедия произошла после окончания очередного этапа автогонок серии NASCAR. Десятки тысяч болельщиков покидали автодром и по мосту направлялись к парковке для автомобилей, когда центральная секция моста обвалилась.



Рисунок 5 - Обрушение пешеходного моста в городе Конкорд, штат Северная Каролина, США [3]

15 февраля 2010 года произошло обрушение пешеходного висячего моста через реку Люцзян в уезде Хунъя юго-западной провинции Сы-Чуань в Китае (рис. 6). Во время «Праздника весны» местные жители и многочисленные туристы вышли на прогулку и воспользовались мостом для перехода через реку. Одновременно на мосту оказалось слишком много людей. К тому же группа молодежи, остановилась в середине 65-метрового пролета, и стала его раскачивать и прыгать. В результате произошло разрушение одной из основных цепей, подвесок и металлического настила. 28 человек упали с десятиметровой высоты в реку и получили травмы. Мост был построен в 1960-х годах, ремонтировался регулярно – последние ремонтные работы проведены в 2009 году.



Рисунок 6 – Пешеходный мост через реку Люцзян в Китае [3]

#### **Аварии мостов, наступившие вследствие усталости материала**

На Кубани 25 марта 2019 года произошло обрушение закрытого автомобильного моста через реку Хадажка на окраине хутора Травлев (Апшеронский район), по которому осуществлялось пешеходное сообщение (рис. 7). Об этом сообщили в пресс-службе ГУ МЧС России по Краснодарскому краю.

По данным администрации Хадыженского городского поселения района, с октября 2018 года мост является аварийным.

Специалисты, обследовавшие мост, сделали заключение, что объект не подлежит ремонту.



Рисунок 7 - Обрушение пешеходного моста через реку Хадажка [6]

15 июля 2008 года произошло разрушение деревянных опор пешеходного моста (рис. 8) в городе Козятин в Винницкой области на Украине, что вызвало просадку железобетонных плит пролетного строения на 40 см и деформацию металлических перил ограждения. Мост был построен в 1940-х годах и проложен через водоем, бывший когда-то истоком реки Гнилопять. Причинами аварии явились ветхость сооружения – мост был признан аварийным и непригодным к эксплуатации.



Рисунок 8 – Пешеходный мост в г. Козятин [6]

18 мая 2017 года на Гоа обрушился пешеходный мост, около 50 человек оказались в воде (рис. 9). В результате трагедии погибли 2 человека, 30 считаются пропавшими без вести.

Мост обрушился, когда сотрудники государственных пожарных и аварийно-спасательных служб спасали юношу, который прыгнул в реку, по-

видимому, в попытке самоубийства. Люди собрались, чтобы понаблюдать за спасательной операцией, и все они упали в реку, когда мост рухнул.

Разрушение произошло из-за аварийного состояния сооружения.



Рисунок 9 – Последствия разрушения пешеходного моста на Гоа [8]

**Аварии мостов, наступившие вследствие деградации материала и неблагоприятного воздействия эксплуатационной среды:**

1. Аварии вследствие недостаточной надежности и расстройств соединений

2. Аварии по причине несоблюдения установленных габаритов перевозимых грузов и ударов подвижной нагрузки

3. Аварии вследствие появления дополнительных усилий и деформаций из-за геологических, гидрологических, оползневых и сейсмических явлений

4. Аварии по причине воздействий на конструкции моста экстремальных (форс-мажорных) нагрузок (столкновение с авиационной техникой, скоростным поездом, пожар, торнадо, диверсия, повреждения в результате аварий, проложенных по ним коммуникаций и т.п.)

5. Аварии, вызванные ошибками в расчетах, использованием некачественного материала.

#### **Статистика**

Для того, чтобы наиболее полно проанализировать причины разрушений пешеходных мостов и надземных пешеходных переходов в частности, обратимся к статистике обрушения пешеходных мостов в России в 2017-2021 годах, приведенных в источнике [5] (данные актуальны на 28.09.2021 год).

#### **2021 год**

**28 сентября** на 50-м километре федеральной трассы Р-242 Пермь - Екатеринбург самосвал MAN не опустил кузов и задел надземный пешеходный переход, что привело к обрушению конструкции. Под обвалившимся сооружением оказалась также ехавшая во встречном направлении "ГАЗель". Водители обеих машин получили тяжелые травмы и скончались на месте.

**24 апреля** вечером на 42-м километре Екатеринбургской кольцевой дороги обрушился пешеходный мост. У грузовика с полуприцепом, перевозившего оборудование для обработки и сортировки камней, во время проезда под мостом лопнули две шины. В результате негабаритный груз автоматически подбросило до верхней части сооружения.

**2020 год**

2 декабря в Московской области на перегоне Химки - Сходня во время демонтажа обрушилась часть пешеходного моста. В результате инцидента произошла задержка в движении "Сапсана" и восьми пригородных электропоездов. Было организовано реверсивное движение поездов по первому главному пути.

11 октября на 614-м километре федеральной автодороги М-10 "Россия" в поселке Любань Ленинградской области обрушился надземный пешеходный переход. Причиной происшествия стал столкнувшийся с мостом самосвал, ехавший с поднятым кузовом. Пострадал водитель грузовика, он был госпитализирован.

29 сентября на трассе М5 "Урал" под Екатеринбургом из-за превышения допустимых габаритов по высоте грузовик столкнулся с пешеходным мостом (рис. 10). Водитель погиб.



Рисунок 10 – На месте обрушения надземного перехода на трассе "Урал" [5]

27 сентября на территории промышленной зоны компании FM Logistic в Ступинском районе Подмосковья обрушился надземный пешеходный переход. Пострадали 39 человек.

2 сентября на 254-м километре трассы Р-254 "Иртыш" в Курганской области из-за проезжавшего с поднятым кузовом автомобиля частично обрушилась часть пешеходного моста. В результате происшествия никто не пострадал.

8 мая в Тюменской области на 13-м километре федеральной автодороги Тюмень - Ханты-Мансийск в результате повреждения стрелой крана произошло обрушение надземного модульного пешеходного перехода (рис. 11). Пострадал один человек.



Рисунок 11 – На месте обрушения надземного перехода в Тюменской области [5]

19 марта стало известно, что на федеральной автомобильной дороге М7 "Волга" в Собинском районе Владимирской области грузовой автомобиль врезался в надземный пешеходный переход. В результате произошедшего часть перехода обрушилась на дорогу. В связи с ЧП было ограничено движение транспорта. Никто не пострадал.

#### **2019 год**

В ночь на 13 сентября в районе населенного пункта Селятино в Подмосковье водитель фуры, перевозившей негабаритный груз, повредил надземный пешеходный переход, еще не введенный в эксплуатацию, и тот обрушился на проезжую часть. Пострадавших в результате происшествия нет. Трасса была перекрыта в обе стороны.

25 марта на окраине хутора Травалев Хадыженского городского поселения Кубани обрушился мост через реку Хадажка. По данным МЧС мост с октября 2018 года являлся аварийным, по нему осуществлялось пешеходное сообщение с семью домовладениями.

В ночь на 1 января в московском Парке Горького обрушился деревянный пешеходный переход над катком. По данным МЧС, пострадали 13 человек, 12 из них были доставлены в больницу, но никто не получил травм, которые могли бы угрожать жизни.

#### **2018 год**

16 октября во Владивостоке грузовик задел конструкцию надземного пешеходного перехода на объездной трассе (рис. 12). В результате виадук упал на проезжую часть и полностью блокировал движение в обоих направлениях. По



данным МЧС, у самосвала произошло самопроизвольное поднятие кузова, в результате чего он снес пешеходный виадук.



Рисунок 12 – Обрушение пешеходного виадука во Владивостоке [5]

10 августа в городе Кировограде Свердловской области в связи с обильными атмосферными осадками и повышением уровня воды в реке Южная Шуралка была размыва часть дорожного полотна по улице Кировградская и обрушен пешеходный мост, соединяющий улицы Пушкина и Некрасова.

31 июля на 31-м километре трассы М-8 "Холмогоры" (Ярославское шоссе) в районе города Пушкино Московской области произошло обрушение пешеходного моста в результате наезда грузовой автомашины (рис. 13). Пострадал водитель грузовика. Движение машин было перекрыто в обе стороны. Позднее движение восстановили. Всего к ликвидации последствий ДТП привлекался 51 человек и 20 единиц техники.



Рисунок 13 – Последствия ДТП с участием КамАЗа на Ярославском шоссе возле Пушкино [5]

## 2017 год

6 августа во Владимирской области на 305-м километре трассы М-7 "Волга" обрушился надземный пешеходный переход. Стрела крана-манипулятора поднялась и задела мост, тот рухнул, повредив два грузовых автомобиля и мотоцикл. В результате пострадали два человека – водители грузовика и мотоцикла.

## Обрушение пешеходного моста в Морви

30 октября 2022 года произошла авария на пешеходном мосту в Морви на реке Мачху в западном индийском штате Гуджарат (рис. 14, 15).



Рисунок 14 – Мост в Морви [7]

В момент обрушения на мосту было порядка 500 человек [3]. По предварительным данным, более 135 человек погибли. Десятки человек получили тяжёлые ранения, некоторые числятся пропавшими без вести.

Пешеходный мост длиной 230 метров был построен 143 года назад во время британского правления в Индии. В течение последних нескольких лет (по другим данным, в течение шести месяцев) мост был закрыт на реконструкцию. Он открылся только за 1—4 дня до обрушения.

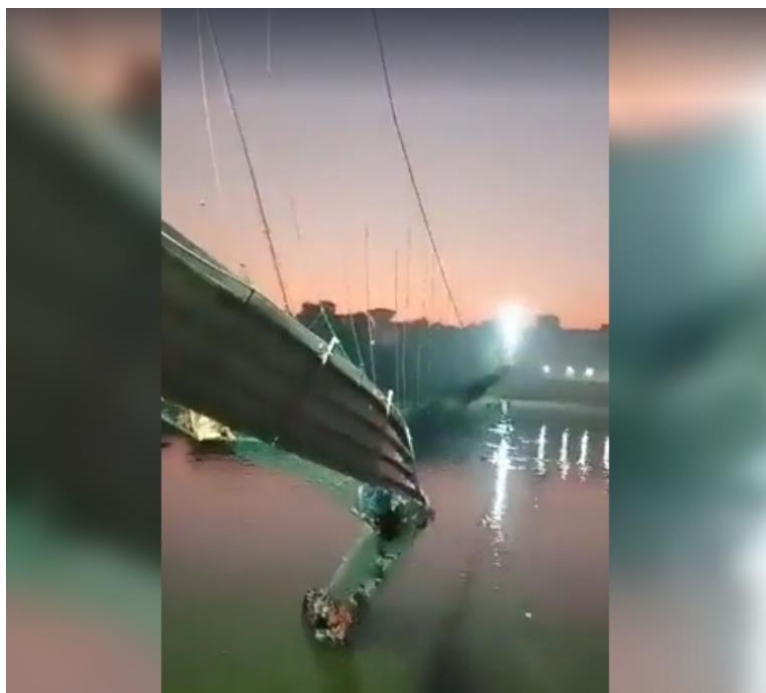


Рисунок 15 – Обрушение моста в Морви [7]

Представитель операторов Oreva Group сообщил газете Indian Express, что слишком много людей находились в средней части моста, «пытаясь раскачать его».

#### **Заключение**

Невооруженным глазом заметно, что причиной большей части аварий надземных пешеходных мостов является столкновение с ними автотранспорта, в частности самосвалов и кранов. Подобные аварии множатся в связи с массовым строительством лёгких пешеходных переходов над оживлёнными трассами. Понятно, что виноваты водители самосвалов, которые проявляют невнимательность. Но в то же время мы видим, что такие аварии случаются очень часто. Это значит, что необходимо принимать определенные меры, которые позволят предотвратить подобные трагедии.

Согласно нормативным документам подмостовой габарит надземных пешеходных переходов должен быть не менее 5 метров. Именно этот минимум практически везде закладывают проектировщики. А высота того же самосвала «КАМАЗ» с поднятым кузовом – 5,8 метра. Из этого можно сделать вывод, что трагедии закладываются ещё на этапе проектирования таких сооружений. Помочь решить данную проблему также может и другое устройство – высотный ограничитель, предупреждающий водителя-нарушителя о проблемах с габаритами. Эти меры ведут к увеличению стоимости самого сооружения. Но без подобных затрат такие аварии, увы, неизбежны.

В общем же смысле пешеходные мосты и надземные переходы обладают теми же свойствами, что и автомобильные и железнодорожные мостовые сооружения, а значит, что причины аварий у них схожи. К ним относятся:

1. Ошибки проектирования и дефекты строительства;
2. Неудовлетворительная эксплуатация и перегрузка;

### 3. Последствия катастрофических природных воздействий.

Проанализировав приведенные выше примеры аварий и выводы, сделанные на их основе, становится очевидно, что снижение аварийности мостовых сооружений может быть достигнуто с помощью:

1. Изучения опыта произошедших аварий, в том числе рассмотренных в курсовом проекте;
2. Повышения качества нормативной документации;
3. Повышения качества проектирования;
4. Повышения качества строительно-монтажных работ;
5. Повышения качества содержания мостовых сооружений, с учетом накопленного опыта проектирования, строительства и эксплуатации;
6. Более качественной подготовки студентов в высших учебных заведениях.

### Список литературы

1. Козырева Л.В. Аварии мостовых сооружений / Л.В. Козырева, Е.В. Китарь // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2015. – № 1 (9). – С. 36-40
2. Такомский мост. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9\\_%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%82;](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%82;)
3. Майстренко И.Ю., Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Кокодеев А.В. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 1 // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 4, №4 (2017) <https://t-s.today/PDF/13TS417.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/13TS417;
4. В Орле в разгар празднования Дня Победы обрушился мост: 12 человек пострадали. URL: [https://krsk.sibnovosti.ru/news/106359/;](https://krsk.sibnovosti.ru/news/106359/)
5. Случаи обрушения пешеходных мостов в России в 2017-2021 годах. URL: <https://ria.ru/20210928/mosty-1752143577.html?ysclid=lbt9pts51y545556607;>
6. Статистика аварий мостов в России и СНГ за 5 лет. URL: <https://avkozlov.livejournal.com/5106.html?ysclid=lbt9pj0e8s104837769;>
7. Обрушение пешеходного моста в Морви. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%80%D1%83%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5\\_%D0%BF%D0%B5%D1%88%D0%B5%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE\\_%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0\\_%D0%B2\\_%D0%9C%D0%BE%D1%80%D0%B2%D0%B8#%D0%A1%D0%BC.\\_%D1%82%D0%B0%D0%BA%D0%B6%D0%B5;](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%80%D1%83%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BF%D0%B5%D1%88%D0%B5%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0_%D0%B2_%D0%9C%D0%BE%D1%80%D0%B2%D0%B8#%D0%A1%D0%BC._%D1%82%D0%B0%D0%BA%D0%B6%D0%B5;)
8. More than 30 go missing after footbridge collapse in Goa. URL: [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.93fe855f-639ef655-4e077be5-74722d776562/https://www.thehindu.com/news/national/other-states/many-go-missing-after-footbridge-collapse-in-goia/article18489353.ece.](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.93fe855f-639ef655-4e077be5-74722d776562/https://www.thehindu.com/news/national/other-states/many-go-missing-after-footbridge-collapse-in-goia/article18489353.ece)

**Чэнь Чуан**

**ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ  
ДИАГНОСТИКИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ НА СЛОЖНЫХ В  
ПЛАНЕ СООРУЖЕНИЯХ**

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет; Кафедра «Железобетонных и каменных конструкций», 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4  
Научный руководитель: Савин С.Н., д.т.н., с.н.с., профессор.*

**Аннотация:** В настоящее время одной из актуальных проблем в сейсмостойком строительстве является проблема заблаговременного испытания работоспособности сейсмоизоляции. При этом, если кинематические опоры легко «запустить» применяя статическую нагрузку, создаваемую различными механическими устройствами, то работоспособность сейсмоизоляции в виде скользящих поясов различных типов выявить затруднительно. Предлагается использовать метод свободных колебаний для решения этой проблемы. При этом можно использовать, как реакцию системы на микросейсмические воздействия, так и на удар сосредоточенной массой в верхней части здания. Основные испытания еще предстоит провести, но есть обнадеживающие данные ряда исследователей и данные авторов по испытаниям работоспособности деформационных швов.

**Ключевые слова:** сейсмостойкость, метод свободных колебаний, метод оценки, деформационный шов, микросейсмическое воздействие.

**Введение**

В последние годы, по мере совершенствования теории проектирования сейсмоизоляции, технология сейсмоизоляции быстро развивается и широко применяется в мире. В Китае, особенно в сейсмических зонах высокой интенсивности, растет доля строительных проектов, использующих технологию сейсмоизоляции. Однако лишь небольшое количество сейсмоизолированных зданий в мире было испытано землетрясениями, а подавляющее большинство сейсмоизолированных зданий еще не испытывалось землетрясениями [1-4].

В настоящее время методы натуральных испытаний сейсмоизолированных конструкций включают в себя, в основном, исследования реакции зданий на фоновую микросейсмическую нагрузку или на удар сосредоточенной массой (метод свободных колебаний). Метод с использованием микросейсмиков, определяющий динамические свойства здания по малым колебаниям, генерируемым зданием под действием нагрузок окружающей среды, имеет главное преимущество - он прост и удобен в применении, поскольку не требует оборудования для возбуждения и не зависит от размеров и конструктивной формы здания [6]. Метод свободных колебаний подходит для больших конструкций, может работать с конструкциями произвольной сложной формы, позволяет рассчитывать реакцию конструкции в любой момент времени, а не только в определенный момент, а также может использоваться для

прогнозирования реакции конструкции при различных условиях [5]. В ходе испытания к зданию или сооружению сначала прикладывается горизонтальная сила для создания начального смещения сейсмоизоляционного слоя, а затем его мгновенно разгружают, чтобы конструкция вошла в состояние свободной затухающей вибрации, и, изучив формы колебаний, можно получить эквивалентные периоды и коэффициенты демпфирования сейсмоизоляционной системы при различных амплитудах начальных смещений [7].

### **Результаты исследования**

Рассмотрим два метода использования свободных колебаний для диагностики работоспособности сейсмоизоляции «скользящего типа».

#### **Метод с использованием фоновой микросейсмической**

Хань и др. [8] провели виброиспытания двух сейсмоизолированных зданий для изучения динамических характеристик при воздействии окружающей среды, и численный анализ показал, что сейсмоизолированные конструкции можно рассматривать как классические системы с пропорциональным демпфированием. После этого Ли Фейян и др. [9] использовали метод идентификации модальных параметров для определения отклика шестиэтажной каркасной сейсмоизолированной конструкции при воздействии микросейсм и получили ее динамические характеристики, на основе которых была создана численная модель. Исходя из этого, Чжэн Вэньчи и др. [10] исследовали влияние температуры окружающей среды на модальную частоту базовой сейсмоизоляционной конструкции с использованием микросейсм. При этом характеристики самой сейсмоизоляции определить не удалось

#### **Метод возбуждения колебаний ударом сосредоточенной массы или «Метод свободных колебаний» [5]**

Использование метода свободных колебаний позволило расширить объем получаемой о динамических характеристиках здания информации. Удалось на практике получить не только вторую и третью формы колебаний зданий, но и идентифицировать колебания связанных динамических систем, и крутильных колебаний.

Наши исследования с использованием Метода свободных колебаний позволяют уверенно диагностировать работу проектных и фактически образованных деформационных швов для зданий сложной формы.

Испытание здания школы № 25 проводилось в период с 8 по 10 января 2019 г. Целью инструментального обследования являлось определение динамических характеристик здания и схемы взаимодействия его блоков, а также прочностных характеристик элементов несущего каркаса, имеющих видимые повреждения в виде вертикальных волосяных трещин.

В ходе испытаний решались следующие частные задачи:

1) оценка взаимодействия конструктивно изолированных и фактически разделенных блоков здания школы;

2) оценка динамических характеристик (собственных частот колебания, форм колебания) и пространственной жесткости отдельных блоков здания школы;

3) оценка интегральной осевой прочности материала несущих элементов железобетонного каркаса в уровне технического подполья;

4) оценка взаимодействия конструкций перекрытий, ригелей и колонн для уточнений схемы их работы.

Анализ колебаний зданий и сооружений, имеющих многозвенную структуру, что характерно для обследуемого объекта, см. рис. 1, является процедурой наиболее сложной, поскольку речь идет о динамической системе, взаимно влияющих друг на друга блоков.

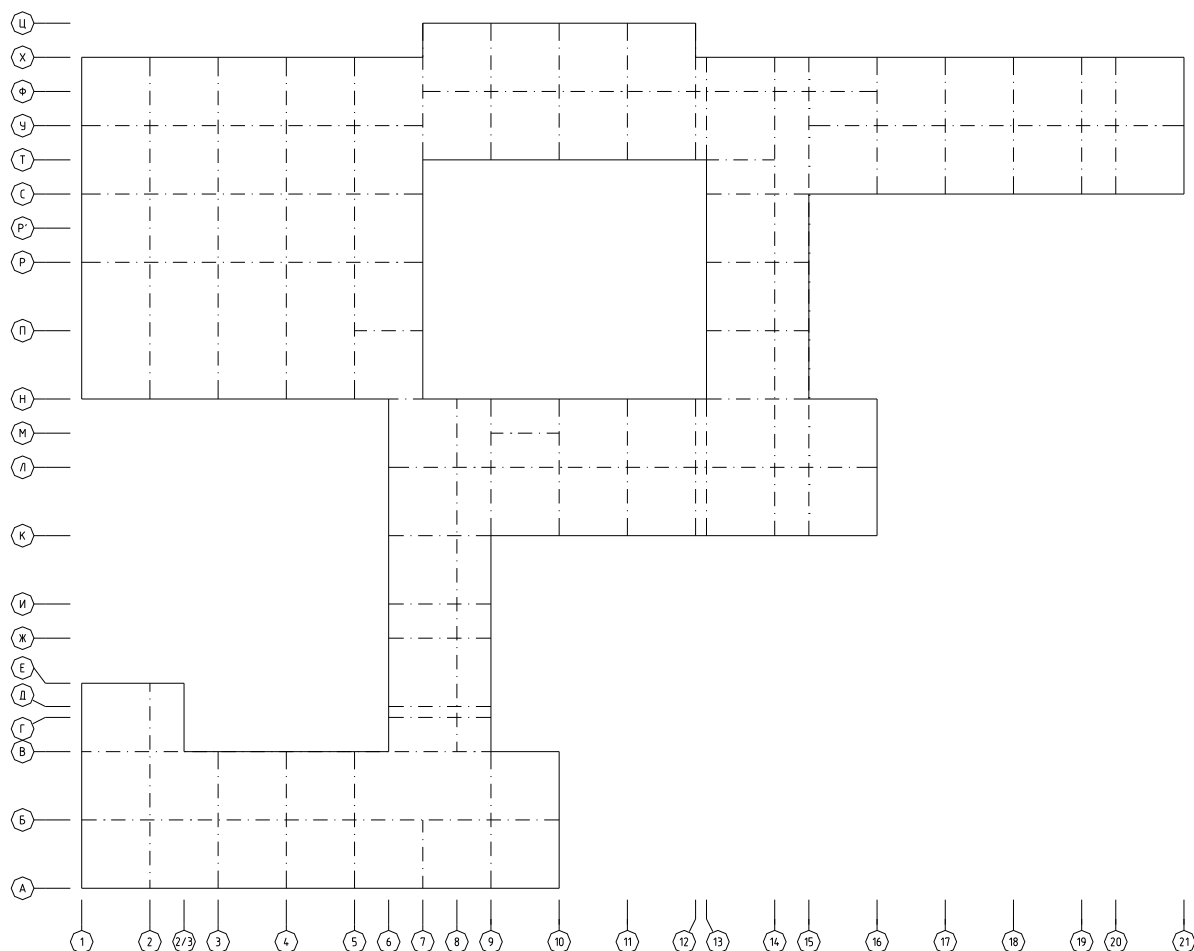


Рисунок 1. План обследуемого здания с обозначением условных осей

Кроме того, не было уверенности, что возбуждаемые микроколебания позволят этот анализ провести. Однако полученный результат подтвердил эффективность метода и его возможности для диагностики эффективности сейсмоизоляции.

Для исследованной динамической модели здания характерна блочная структура, которая с одной стороны, определяется проектным выполнением деформационных швов, см. рис. 2, а с другой – их фактическим существованием, см. рис. 3.

Все блоки здания достаточно жестко связаны между собой в направлении «поперек деформационного шва» и «развязаны» в направлении «вдоль деформационного шва».

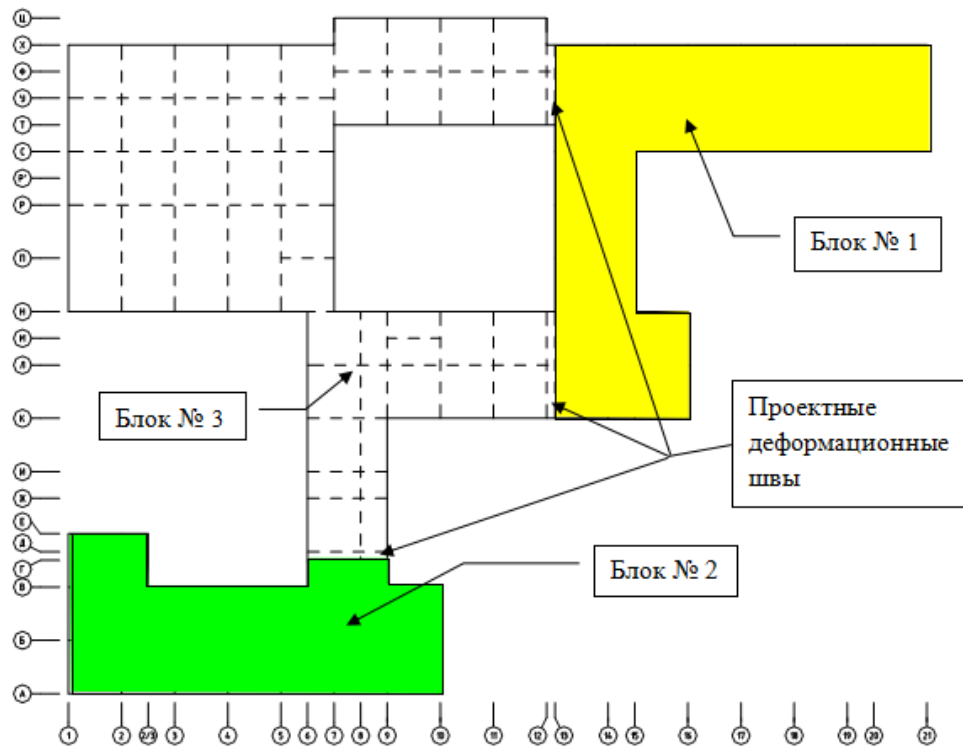


Рисунок 2. Проектное решение блочной структуры здания

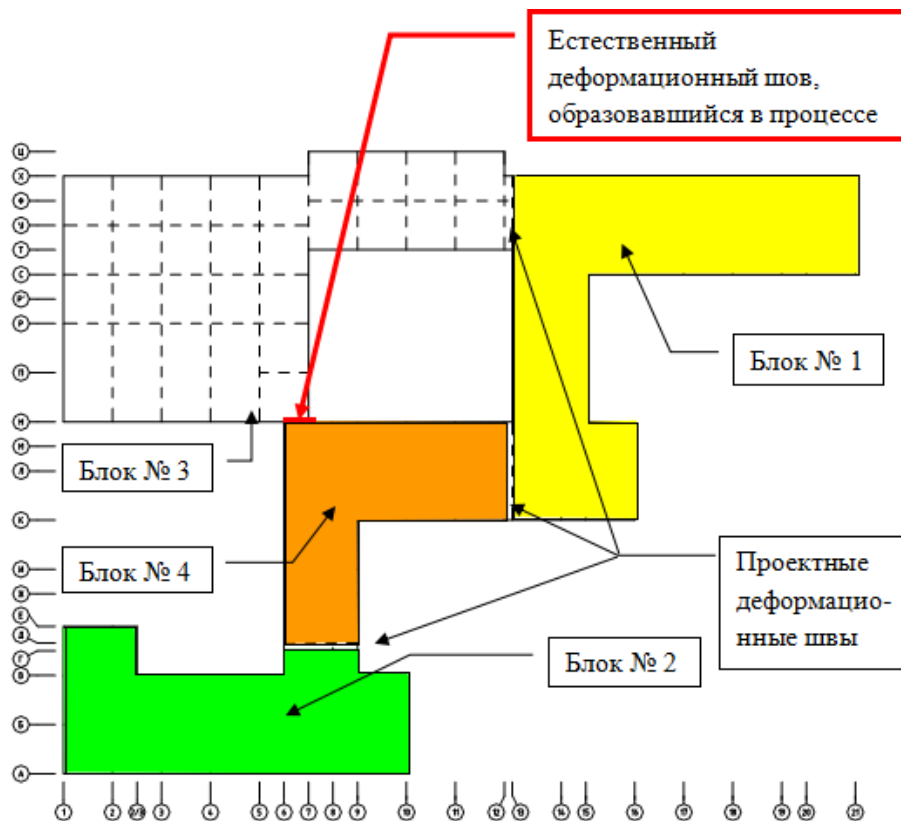


Рисунок 3. Фактическая схема блочной структуры здания



Таким образом, причина образования трещин в стенах и перекрытиях в осях «Н/5-7» связана с ошибкой проектировщиков, не предусмотревших выполнение деформационного шва вдоль оси «Н», который в процессе эксплуатации образовался «по факту» из-за различной высотности смежных блоков здания, температурных деформаций и под воздействием внешних фоновых динамических нагрузок.

Аналогичные исследования были проведены зарубежными учеными. SEKI и др. [11] провели испытания здания церкви, дооснащенного подшипниками из натурального каучука для сейсмической изоляции в Токио, и максимальное начальное смещение составило всего 0,38 мм благодаря использованию человеческой тяги. Впоследствии VIXIO и др. [12] провели испытания на свободное колебание сейсмически изолированного учебного здания, но максимальная деформация сдвига в изолирующем слое составила всего 4,2%, что было намного меньше его эффективного рабочего смещения. BRAGA и др. [13] провели испытания трехэтажного здания с изолированным фундаментом, используя гибридную систему виброизоляции, состоящую из подшипников скольжения и ламинированной резины, приложив максимальное начальное значение смещения 170 мм и измерив эквивалентный коэффициент демпфирования до 30%. Ву Инсион и др. [14] получил динамические характеристики пятиэтажной рамной конструкции с сейсмоизоляцией в верхней части колонн первого этажа, путем испытаний с использованием внезапно разгружаемых домкратов. Впоследствии Ву Инсион и др. [15] использовали взрывную разгрузку для проведения испытания сейсмоизолирующих. Это привело к получению более полной кривой свободных колебаний. Помимо этого, некоторые ученые также ставили перед собой цель получить период автоколебаний и коэффициент демпфирования сейсмически изолированных зданий.

Полученные результаты позволяют надеяться, что методы испытаний, основанные на микроколебаниях зданий, будут эффективны для оценки свойств сейсмоизоляции и ее фактического исполнения.

### **Анализ и обсуждение**

В наше время одним из главных подходов к повышению сейсмостойкости является использование различных систем сейсмоизоляции, и в то время как в мире строится большое количество сейсмоизолированных зданий, проверка сейсмостойкости сейсмоизолированных зданий становится важной задачей. Эффективная оценка функциональных требований к эксплуатации зданий в условиях сейсмического воздействия, снижение ущерба и затрат на ремонт и реконструкцию после землетрясения, а также потерь от вторичных опасностей является предметом исследований геоопасностей, предупреждения и смягчения последствий стихийных бедствий, которые активно проводятся министерствами природных ресурсов во всем мире. Традиционные методы, основанный на создании и сбросе статической нагрузки не пригодны для испытания работоспособности скользящей сейсмоизоляции. Возможности, которые открывает метод свободных колебаний, позволяют надеяться, что он станет

реальным инструментом для решения этой задачи. Тем не менее, всегда остается вопрос о влиянии амплитуды колебаний на получаемые результаты. Критерием истины станет проверка на реальном объекте.

### **Заключение**

1. При строительстве большого количества сейсмически изолированных зданий возникает проблема оценки эффективности выполнения сейсмоизоляции.

2. Чжоу Гуансинь и др. [16] создали теоретическую основу для дальнейшей экспериментальной проверки, оценив сейсмоизоляционные характеристики зданий и сооружений, но количество проведенных испытаний не позволяет уверенно утверждать об эффективности применяемых методов.

3. Предлагается проводить оценку эффективности сейсмоизоляции с использованием метода свободных колебаний, который, по-видимому, обладает неохлдимой чувствительностью и уже используется на практике для анализа сложных динамических систем.

4. В долгосрочной перспективе косвенные экономические и социальные выгоды от оценки эффективности сейсмоизоляции зданий намного превышают прямые экономические затраты от самого испытания. Кроме того, оценка эффективности сейсмоизоляции зданий и сооружений играет большую роль в сейсмоизоляции и смягчении последствий для водохранилищ и плотин, мостов и крупногабаритного оборудования.

### **Список литературы**

1. Абовский, Н.П., Сибгатулин В. Г., Палагушкин В. И., Инжутов И. С., Худобердин И.Р. Сейсмика. Сейсmobезопасность. Конструктивная безопасность. Некоторые проблемные вопросы нормирования и научного обеспечения сейсmobезопасности в Красноярском крае. 2010. 61 с.

2. Аксенов В. Н., Аксенов Н. Б. Обследование и оценка технического состояния строительных конструкций // Ростов-на-Дону: ДГТУ. 2018. 112 с.

3. Серикбайкызы Н. Методы сейсmozащиты с применением специальных устройств // Молодой ученый. 2021. № 4 (346). С. 56 - 60.

4. Арутюнян А.Р. Современные методы сейсμοизоляции зданий и сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 3. С. 56 - 60.

5. Савин С. Н., Данилов И. Л. Сейсmobезопасность зданий и территорий: Учебное пособие // Лань. 2015. 240 с.

6. CHEN Lei. Influence of design and construction defects on seismic reduction behavior of isolation structures // Guangzhou University. 2016. (in Chinese)

7. Toshihide Kashima, Akihiro Itou, Hisashi Fujita. Dynamic behavior of a 9-story base-Isolated building during the 2003 Off Tokachi Earthquake, Japan // Proceedings Third UJNR Workshop on Soil-Structure Interaction, Menlo Park, California, USA. 2004.

8. HAN Jian-ping, WANG hong-tao, LIU yun-shuai, et al. Investigation on main dynamic characteristics of base-isolated structures under ambient excitation // JOURNAL OF VIBRATION AND SHOCK. 2011. № 30 (11). С. 266 - 271. (in Chinese).

9. LI Fei-yan, SHAO Yi-fu, LU Jia-cheng, et al. Testing and analysis of dynamic characteristics of the isolation structure for a first-story column top under ambient excitation // *Industrial Construction*. 2016. № 46 (1). C. 71 - 74. (in Chinese).
10. ZHENG Wen-zhi, WANG Hao, DU Yong-feng, et al. Temperature effect of timevarying modal frequency of baseisolated structure under ambient excitation // *Journal of Southeast University (Natural ScienceEdition)*. 2017. № 47 (5). C. 999 - 1005. (in Chinese).
11. SEKIM, MIYAZAKIM, TSUNEKIY, et al. A masonry school building retrofitted by base isolation // *12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zeland. Auckland. 2000. C. 1 - 7.*
12. BIXIOAR, DOLCEM, NIGROD, et al. Repeatable dynamic release tests on a baseisolated building // *Journal of Earthquake Engineering*. 2001. № 5 (3). C. 369—393.
13. BRAGAF, LATERZAM. Field testing of lowrise base isolated building // *Engineering Structures*. 2004. № 26 (11). C. 1599 - 1610.
14. WU Ying-xiong, QI Ai, YAN Xue-yuan. Study on test of dynamic properties for a firstfloor isolation structure // *Earthquake Engineering and Engineering Dynamics*. 2011. № 31 (6). C. 147 - 152. (in Chinese).
15. WU Ying-xiong, CHENG Xiao, SHAO Yi-fu. Field test for a base isolation structure under the condition of horizontal and initial displacement // *Journal of Water Resources and Architectural Engineering*. 2015. № 13 (6). C. 100 - 106. (in Chinese).
16. ZHOU Guang-xin, WEI Ming-yu, XIONG Feng, et al. Evaluation method of seismic isolation capability of baseisolated buildings based on freevibration response // *World Earthquake Engineering*. 2022. № 38 (1). C. 119 - 126. (in Chinese).

## **Секция № 10. Перспективные энерготехнологии**

**Руководитель секции: Минаев Александр Николаевич, д.т.н., профессор Отделения машиностроения, морской техники и транспорта Политехнического института (Школы) ДВФУ**

**Ведущие: Ведюшенко Илья Витальевич, Зимакин Вячеслав Валерьевич, Шевцов Сергей Александрович, Минаев Александр Николаевич**  
**ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СУДОСТРОЕНИЯ В РОССИИ**

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

**Аннотация:** Проблема развития судостроения в России является достаточно сложной и многогранной. В последние десятилетия отечественная судостроительная отрасль столкнулась с рядом вызовов, включая техническое устаревание производственных мощностей, слабая конкурентоспособность на мировом рынке, ограниченные инвестиции в развитие новых технологий, а также с влиянием сложной геологической обстановкой. В данной статье будут рассмотрены проблемы отрасли в регионах страны.

**Ключевые слова:** судостроение, кадровый дефицит, высокая капиталоемкость, лизинг, ОСК, санкции.

Судостроительная промышленность является важной составляющей национальной экономики и системы обеспечения безопасности страны. Россия имеет почти 40 тыс. км. морской границы и 100 тыс. км. внутренних водных путей. Большая доля экспортных товаров страны перевозится с помощью морского транспорта. Внутри страны связанность территорий обеспечивается с помощью водного транспорта, особенно в районах с суровыми климатическими условиями.

Основными проблемами развития судостроения в России являются:

- Финансовые проблемы: высокая капиталоемкость судостроения, большой срок окупаемости судов; высокая стоимость кредитов для судостроительных компаний и жесткие требования банков к заемщикам;
- Кадровая проблема и низкая оплата труда;
- Низкая конкурентоспособность на мировом рынке;
- Неразвитость лизинга;
- Технологическая отсталость;
- Санкционные ограничения.

### **Финансовые проблемы**

Строительство судна требует значительных денежных средств. Чтобы оплатить постройку судов судостроительным компаниям приходится привлекать значительные объемы заёмных средств.

Также основной проблемой являются невыгодные условия банковского кредитования, которые не учитывают специфику судостроительной отрасли. Процентная ставка по кредитам составляет 10-12% годовых, при этом для получения кредита нужно хорошее залоговое обеспечение. Судно окупается в течение 10 лет, поэтому для покупки судов нужны выданные на долгий срок деньги, в то время как банки дают кредиты на 2-3 или самое большее - 5 лет [1].

В качестве альтернативы российские судоходные компании стараются привлекать кредиты за рубежом. Однако, такая альтернатива сейчас недоступна. Другой популярной альтернативой кредитным деньгам является лизинг.

От этой проблемы больше всего пострадали такие предприятия, как Адмиралтейские верфи в городе Санкт-Петербург; судостроительный завод «Лотос».

### **Кадровая проблема**

Действующие на предприятиях системы оплаты труда не обеспечивает заинтересованности рабочих в снижении трудоемкости и сроков производимых работ. Вместе с тем, это именно те показатели, по которым наша страна в разы отстает от мировых производителей, и которые значительно снижают конкурентоспособность нашей судостроительной продукции (удельная трудоемкость изготовления одной тонны судовых конструкций в России в три раза выше, а период времени от момента закладки судна до его сдачи в эксплуатацию в четыре раза длиннее, чем на современных верфях мира) [2].

Наиболее остро стоит проблема с квалифицированными рабочими ведущих специальностей, недостаток которых приводит к срыву плановых показателей по наращиванию объемов производства, несмотря на сверхурочные работы.

Эти факторы, в конечном итоге, приводит к следующим последствиям:

- старение трудовых ресурсов (средний возраст персонала судостроительных предприятий на сегодняшний день превышает 40 лет);
- высокая текучесть кадров, особенно среди молодежи;
- снижение уровня квалификации работников по сравнению с уровнем сложности выполняемых работ, что, в свою очередь приводит к увеличению количества брака, падению качества производимой продукции.

Наибольшее влияние этой проблемы заметно на «ССК «Звезда» и керченском судостроительном заводе «Залив».

### **Низкая конкурентоспособность на мировом рынке**

На сегодняшний день продукция российского судостроения не способна конкурировать в полном объеме по стоимости производства и продолжительности строительства. Значительная часть судостроительных предприятий находятся в государственной собственности. В портфеле заказов этих предприятий значительную долю занимает продукция для Министерства обороны Российской Федерации [3]. Специфика выполнения государственного заказа имеет свои особенности, например: фиксированная норма рентабельности. Кроме того, предприятия, привлекаемые к выполнению государственного заказа, имеют стабильное финансирование.

Повышению конкурентоспособности российских судостроительных предприятий в мировом масштабе, по нашему мнению, препятствуют: высокие процентные ставки по кредитам, как для заказчиков, так и для производителей, высокие налоги и таможенные пошлины на экспорт. Одной из важнейших проблем, как для судостроительной промышленности, так и для всей экономики страны является введение санкций. В условиях действия международных экономических ограничений многие предприятия лишились доступа к необходимому оборудованию и технологиям.

От этой проблемы страдают все судостроительные предприятия, кроме военных заводов.

### **Неразвитость лизинга**

В 2008 году под эгидой Объединенной судостроительной корпорации (ОСК) в российском судостроении началась лизинговая программа. Для ее реализации было отведено 9 млрд. рублей. На развитие лизинговых механизмов возлагались большие надежды.

Так же преимуществом лизинговой компании могла бы стать способность объединить слабо финансово обеспеченные заказы отдельных судоходных компаний на строительство 1-2 судов в достаточно крупную серию из 8-10 судов. Такое объединение удовлетворяет интересам большинства судовладельцев. Укрупнение серийности постройки ведет и к оптимизации и удешевлению строительства судов, и к возможности оптовых закупок и поставок для них импортного комплектующего оборудования, стоимость которого составляет 50-60% от цены судна [4].

Эксперты констатируют, что лизинговая программа ОСК не оправдала возлагавшиеся на нее надежды.

### **Технологическая отсталость**

По данным Федерального агентства морского и речного транспорта в целом износ оборудования по отрасли оценивается в 70%. Главная проблема не в том, что оборудование выработало свой ресурс, а в том, что оборудование устарело морально.

Из-за устаревшей компоновки главных мощностей предприятий, которые требуют обновления методов подготовки и организации производственных процессов, а также недостаточной оснащенности построечных мест, не позволяет применять на российских верфях новейшие технологии и системы управления производством судов [5].

Это наиболее явно выявлено на «Прибалтийском судостроительном заводе «Янтарь», а так на «Амурском судостроительном заводе».

### **Санкционные ограничения**

Влияние санкций предприятия отрасли ощутили по-разному: доля импортного оборудования на технике, поставляемой по ГОЗ для военных заказов, сведена к минимуму, однако по заказам гражданского судостроения по определенным категориям доля импорта варьируется от 40% до 90%. В большей степени под угрозой выполнения оказываются крупнотоннажные наливные суда

(76% суммарного тоннажа строящихся судов), рыболовные и краболовные (5%), пассажирские и научные суда.

Основные проблемы использования производственного потенциала на предприятиях судостроения в условиях импортных ограничений:

1. Поиск существующего аналога на рынке;
2. Разработка и производство отечественного аналога;
3. Корректировка рабоче-конструкторской документации для строящихся проектов вследствие применения аналогов;
4. Отказ от обслуживания поставленного оборудования;
5. Удорожание продукции (вызвано нарастающими издержками, которые обусловлены изменением стоимости строительства, а также пересмотром графиков строительства с учетом увеличения времени на проектирование, доставку параллельным импортом).

Настоящим ударом по судостроительной отрасли стало наложение блокирующих санкций на банковскую сферу [6].

### **Заключение**

Несмотря на большое количество проблем, все их возможно решить, поскольку в стране существует централизованный орган управления отрасли – объединенная судостроительная корпорация. Из-за чего появляется возможность централизованного решения проблемы. Примером подвижек в решении проблем является назначение на пост главы ОСК бывшего председателя правления ВТБ А. Л. Костина, который смог обозначить основные финансовые проблемы корпорации, а также готовится к их решению [8].

Кадровая и образовательная проблемы являются более комплексными, их решение невозможно без четкого надзора со стороны государства на протяжении длительного периода времени.

### **Список литературы**

1. Цвингер А.И., Чернышова В.А., Палкина Е.С. Современные проблемы экспорта в России на примере судостроительной отрасли // Всероссийский фестиваль науки «Наука О+» в рамках Недели науки в СПбГМТУ: сборник трудов Фестиваля науки СПбГМТУ, Санкт-Петербург, 28-30 октября 2019 г. - С. 324-330.
2. Меренкова Е., Матвеева В. Транспортные заботы транзитной территории // «Направление – Дальний Восток». – 2012. – №2 (30). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.n-dv.ru/?page=3&article=710> (дата обращения: 12.03.2015);
3. Опубликована Стратегия развития судостроения до 2035 года// Журнал «Морские вести России». 2019.
4. Андреева Ю.Д. Анализ проблем внутреннего речного судостроения в России. 2016.
5. Коммерсант.ru «Кризисный направляющий». URL: <http://www.kommersant.ru/>;

6. Проблемы использования производственного потенциала судостроительной отрасли в условиях санкционных ограничений.

7. URL: <https://xn--80aimpg.xn--80ae9b7b.xn--p1ai/Files/ArticleFiles/6921f1f4-cedb-41a4-b4f0-35d228e78e3a.pdf>.

8. Дзядко Тимофей. Костин заявил об «огромной финансовой дыре» в ОСК.

URL: <https://rbc-ru.turbopages.org/rbc.ru/s/business/11/09/2023/64fc4f4b9a79473189e2e6c0>

### **Bibliography**

1. Zwinger A.I., Chernyshova V.A., Palkina E.S. Modern problems of export in Russia on the example of the shipbuilding industry // All-Russian science festival “Nauka O+” within the framework of Science Week at St. Petersburg State Medical University: collection of proceedings of the Science Festival of St. Petersburg State Medical University, St. Petersburg, October 28-30, 2019 - pp. 324-330 .

2. Merenkova E., Matveeva V. Transport concerns of the transit territory // “Direction - Far East”. – 2012. – No. 2 (30). [Electronic resource]. Access mode: <http://www.n-dv.ru/?page=3&article=710> (access date: 03/12/2015);

3. The Shipbuilding Development Strategy until 2035 has been published // Journal “Morskoe Vesti Rossii”. 2019.

4. Andreeva Yu.D. Analysis of the problems of inland river shipbuilding in Russia. 2016.

5. Kommersant.ru “Crisis guide”.

URL: <http://www.kommersant.ru/>;

6. Problems of using the production potential of the shipbuilding industry under sanctions restrictions.

URL: <https://xn--80aimpg.xn--80ae9b7b.xn--p1ai/Files/ArticleFiles/6921f1f4-cedb-41a4-b4f0-35d228e78e3a.pdf>.

8. Dzyadko Timofey. Kostin spoke about a “huge financial hole” in USC.

URL: <https://rbc-ru.turbopages.org/rbc.ru/s/business/11/09/2023/64fc4f4b9a79473189e2e6c0>

**Дмитриева Наталья Романовна, Китаев Максим Владимирович,**

**Новосельцев Игорь Александрович**

### **ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОНОМНОСТИ ПЛАВУЧИХ ДОМОВ**

*Дальневосточный федеральный университет, Департамент морской техники  
и транспорта, 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10*

**Аннотация.** В работе рассмотрены возможности применения перспективных энерготехнологий для обеспечения автономности плавучих домов и возможность их применения для расширения и развития морского



туризма в Приморском крае. Проанализирован потенциал региона в плане использования различных источников возобновляемой энергии.

**Ключевые слова:** плавучие дома, солнечная энергетика, ветрогенераторы, автономность, энергосбережение.

Приморский край перспективный регион в плане развития морского туризма международного уровня, имеющий большой потенциал в сравнении с другими регионами ДВФО. После проведения первого Восточного экономического форума в 2015 г. в Крае наблюдается ежегодное увеличение туристического потока [1]. Для поддержки туризма реализуются программы: Развитие туризма в приморском крае на 2020 - 2027 годы, Социально-экономическое развитие Дальнего Востока на период до 2024 года и на перспективу до 2035 года, Экономическое развитие и инновационная экономика Приморского края и др.

Актуальность применения плавучих домов для организации летнего отдыха обусловлена географическим расположением и климатическими особенностями региона. Приморский край имеет протяженную береговую линию, множество живописных бухт и островов, расположенных в заливе Петра Великого (рис. 1) [2]. Острова не являются пограничной зоной, поэтому ограничений для их посещения туристами нет. Плавучие дома позволяют не привязываться к месту отдыха, а сменить его при необходимости [3].

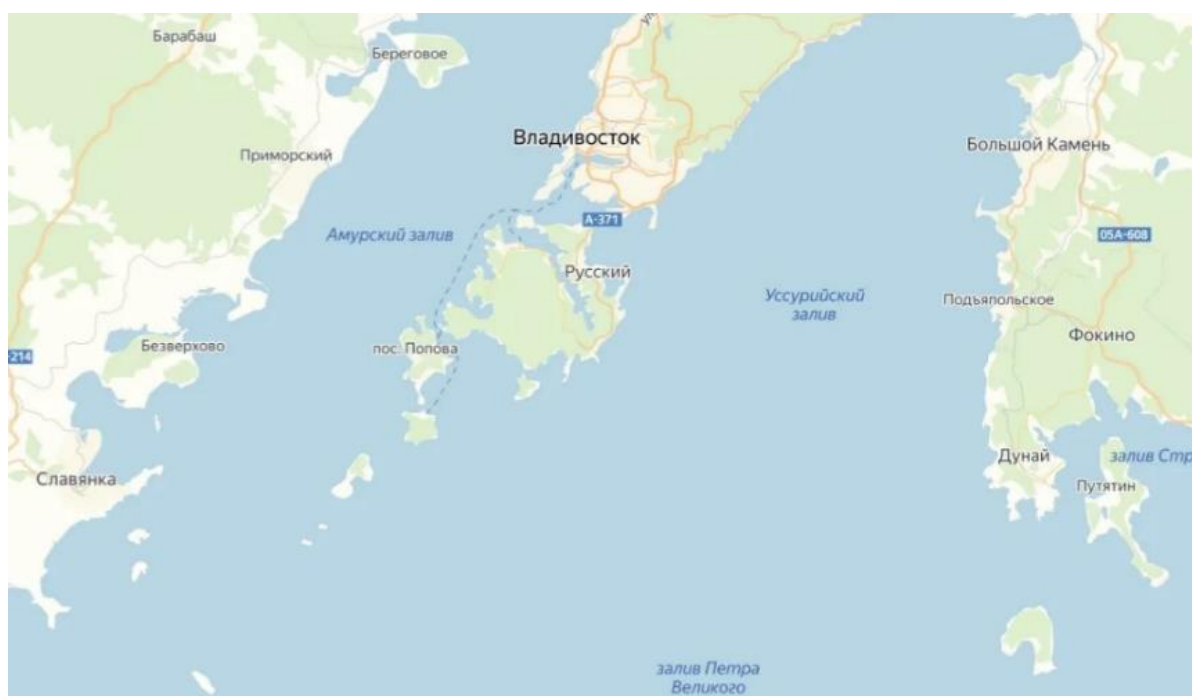


Рисунок 1. Залив Петра Великого

Климат залива Петра Великого определяется муссонной циркуляцией атмосферы. Среднегодовое количество осадков в районе г. Владивостока достигает 830 мм, 85 % из них приходится на летний период. Средняя годовая температура воздуха равна примерно 6 °С, самым холодным месяцем является

январь (-16 – -17 °С), теплым – август (+ 20 – + 21 °С) [4]. На рис. 2 показан график изменения средней температуры воды в заливе Петра Великого [5,6].

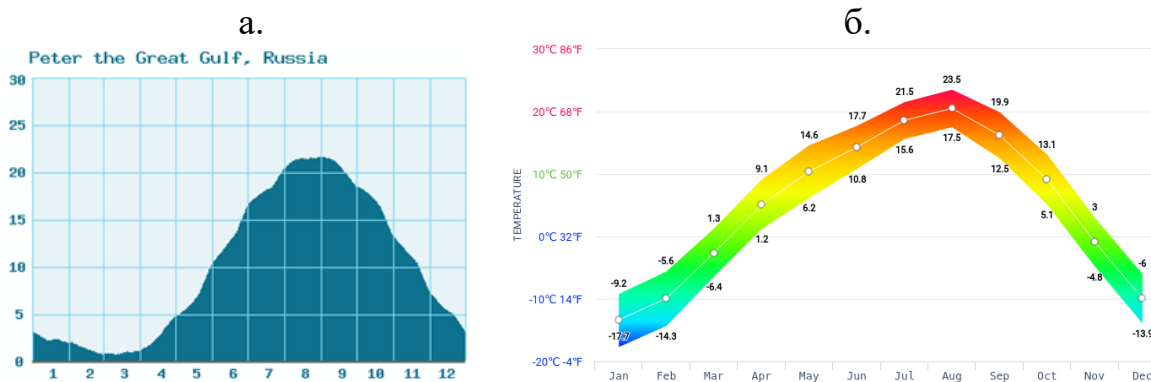


Рисунок 2. График изменения средней температуры воды (а) и воздуха (б)

На рис. 3а показаны средние значения скоростей ветра, а на рис. 3б солнечная инсоляция в различных регионах РФ [7]. В Приморском крае среднегодовые значения скоростей ветра равны 6–7 м/с, а уровень инсоляции один из самых высоких в РФ 5,5 кВт·ч/м<sup>2</sup> [8].

По версии портала Adme.ru столица Приморья попала в список самых солнечных городов в мире [9]. По данным издания, 269 дней в году во Владивостоке светит солнце.

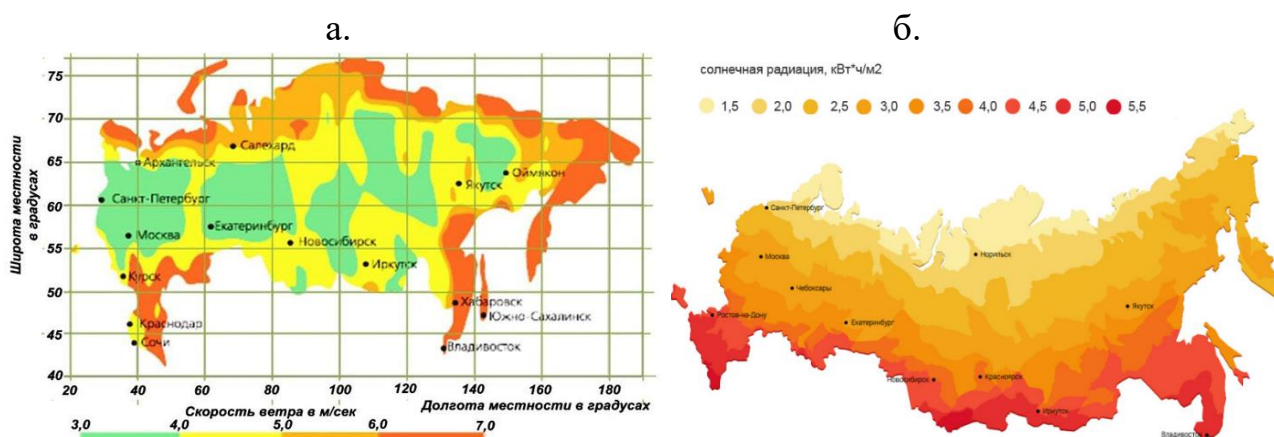


Рисунок 3. Средняя скорость ветра (а) и солнечная инсоляция (б) в регионах РФ

Таким образом климатические условия Приморского края вполне подходят для применения современных перспективных энерготехнологий, основанных на использовании возобновляемых источников энергии с целью обеспечения автономности плавучих домов.

Автономная эксплуатация плавучих домов с использованием перспективных энерготехнологий представляет собой новую концепцию создания автономных объектов для морского отдыха, способных обеспечивать

себя энергией и ресурсами на протяжении длительного времени без необходимости подключения к централизованным сетям.

Перспективные энерготехнологии и системы, которые могут быть использованы для автономной эксплуатации плавучих домов, включают:

1. **Солнечные панели.** Солнечные панели делают энергосистему плавучего дома на воде автономной, но вырабатывают электроэнергию в среднем 5–7 часов в день и обеспечивают максимальную мощность только в ясную солнечную погоду [10]. На плавучих домах устанавливаются на крыше, верхних ярусах надстройки, либо специальных платформах, расположенных рядом с домом. Панели используются для освещения, электропитания холодильников, чайников и др. электроприборов.

2. **Ветрогенераторы.** Ветрогенераторы являются экологически чистыми источниками энергии и не загрязняют окружающую среду. Ветряные генераторы могут вырабатывать электроэнергию днем и ночью в зависимости от скорости ветра и условий. Ветрогенераторы устанавливаются на специальных мачтах, жестко соединённых с основанием.

3. **Мобильные опреснительные установки,** предназначены для получения питьевой воды из морской воды. Возможно использование дождевой воды, для очистки которой можно также использовать системы фильтрации с активированным углем или ультрафиолетовые лампы для уничтожения бактерий и вирусов.

4. **Мобильные инсинераторные** установки предназначены для термической утилизации промышленных, коммунальных, медицинских, сельскохозяйственных или иных отходов.

Для обеспечения автономности и поддержания энергоэффективности плавучих домов рекомендуется применение интегрированной информационной системы «умный дом». В такую систему должно быть интегрировано управление всеми судовыми устройствами и системами, в частности, контроля устойчивости, управления движением, позиционирования и др. [11].

### **Заключение**

Плавучие дома представляют собой перспективное направление в развитии морского туризма в Приморском крае. Использование современных информационных и энерготехнологий позволяет создать полностью автономный плавучий дом, способный обеспечивать себя всеми видами энергии и пресной водой, а также контролировать и оптимизировать их использование.

Рассмотренные системы и технологии относительно просты в монтаже, надежны, малозатратны, безопасны, долговечны, экологичны и не требуют частого технического обслуживания.

### **Список литературы**

1. Как развивается туризм в Приморском крае // тасс URL: <https://tass.ru/> (дата обращения: 01.11.23).

2. «Островное царство»: Почти 100 островов открыты для туризма в Приморье. ОБЗОР // Правительство Приморского края URL: <https://primorsky.ru/news/153325/> (дата обращения: 01.11.23).
3. Климат залива Петра Великого Источник // profanswer.ru URL: <https://profanswer.ru/klimat-zaliva-petra-velikogo> (дата обращения: 01.12.23).
4. ЛАНДШАФТНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НА ОСТРОВАХ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ) ЗА ПОСЛЕДНИЕ 20 000 ЛЕТ // rae.ru URL: <https://natural-sciences.ru/article/view?id=36240> (дата обращения: 11.11.23).
5. Климат залива петра великого // ТОПоГИС URL: <https://topogis.ru/klimat-zaliva-petra-velikogo.php> (дата обращения: 01.12.23).
6. Worldwide weather forecasts and climate information // WEATHER & CLIMATE URL: <https://weather-and-climate.com/> (дата обращения: 01.12.23).
7. Ветряк для частного дома — деньги на ветер. Весь расклад по цифрам в рублях и киловаттах. // Domik Electrica URL: <https://domikelectrica.ru/vetrogenerator-dlya-chastnogo-doma-dengi-na-veter/> (дата обращения: 01.12.23).
8. Солнечные панели // LUXAR URL: <http://luxar.su/contents.asp?id=1564> (дата обращения: 03.12.23).
9. Владивосток попал в список самых солнечных городов в мире // ВОСТОК МЕДИА URL: <https://vostokmedia.com/news/2016-04-25/vladivostok-popal-v-spisok-samyh-solnechnyh-gorodov-v-mire-579742> (дата обращения: 03.12.23).
10. Wind & Solar Powered Houseboats. The sun power of solar panels for energy. // All about houseboats URL: <https://www.all-about-houseboats.com/solar-powered-houseboats.html> (дата обращения: 04.12.23).
11. Корнилова Л. В., Чижиумов С. Д. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЛАВУЧИХ ДОМОВ // Комсомольск-на-Амуре

**Егунов Степан Дмитриевич**

**РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ ПЕЛЬТЬЕ  
НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO NANO**

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

*Научный руководитель: Куренский Алексей Владимирович, канд. техн. наук*

**Аннотация.** В статье рассмотрен Элемент Пельтье – это термоэлектрический преобразователь, принцип действия которого основан на эффекте возникновения разности температур при протекании электрического тока. Эффект Пельтье возникает при контакте разнородных проводников, энергетический уровень свободных электронов которых отличается. Такой эффект наблюдается и в полупроводниках: при p-n переходе тепло выделяется, при n-p переходе – поглощается.

**Ключевые слова:** элемент Пельтье, полупроводник, система автоматического регулирования.

### Введение

Эффект Пельтье наблюдается и в полупроводниках: при p-n переходе тепло выделяется, при n-p переходе – поглощается (рис. 1(а)). На рис. 1(б) показана конструкция элемента Пельтье [1].

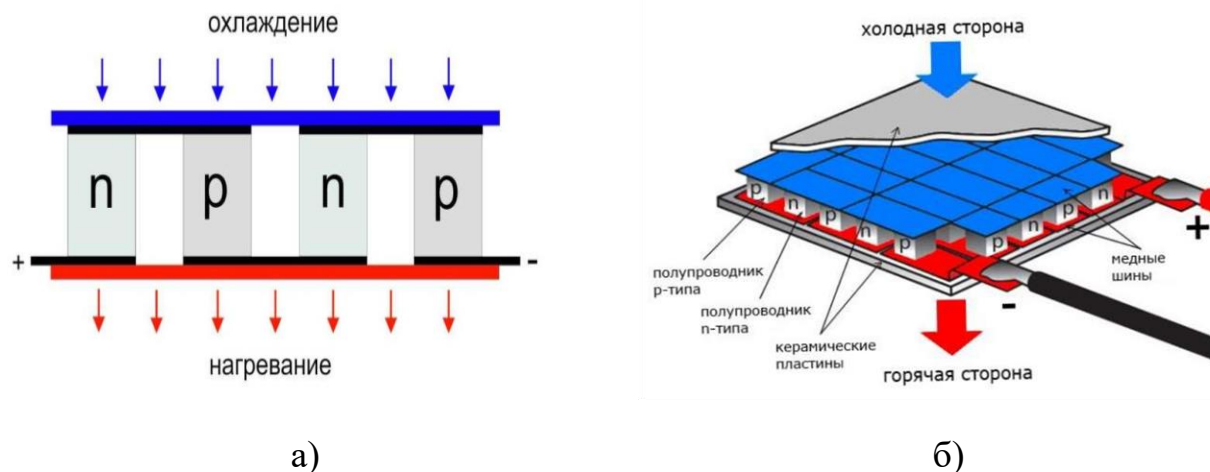


Рисунок 1. Элемент Пельтье

Целью данной статьи является разбор методологий мероприятий по оптимизации обслуживания насосного оборудования с помощью реализации программы по мониторингу и его диагностики в автоматическом режиме. Для достижения этой цели будут рассмотрены и проанализированы различные аспекты работы насосных агрегатов, включая его конструктивные особенности, режимы работы, условия эксплуатации и техническое обслуживание.

### Проблематика

В качестве объекта регулирования рассматривался элемент TEC1-12706 (рис. 2).

Обозначение	Параметр	Значение при температуре горячей стороны	
		25°C	50°C
$Q_{max}$	Холодопроизводительность	50 Вт	57 Вт
$\Delta T_{max}$	Разность температур	66°C	75°C
$I_{max}$	Максимальный ток	6,4 А	6,4 А
$U_{max}$	Максимальное напряжение	14,4 В	16,4 В
R	Сопротивление	1,98 Ом	2,3 Ом

Рисунок 2. Технические параметры элемента Пельтье TEC1-12706

Анализ технических характеристик позволил выделить основные особенности элемента Пельтье как объекта регулирования:

- 1) наличие переменного сопротивления, нелинейно зависящего от температуры;
- 2) возможность мгновенного нарастания тока до значения нескольких ампер из-за малой величины сопротивления. Мгновенное изменение тока

вызывает мгновенное изменение температуры, что приводит к деградации элемента из-за температурных напряжений.

В процессе синтеза регулятора на основе элемента Пельтье с функцией удержания заданной температуры необходимо учитывать выделение «Джоулева» тепла и теплообмен по закону Ньютона-Рихмана, который учитывает зависимость скорости теплообмена между двумя пластинами в зависимости от созданного градиента температур. В [3] приведено аналитическое выражение, с помощью которого можно приблизительно вычислить выделенное количество теплоты на элементе Пельтье с учётом потерь.

В [4] показано, что у элемента Пельтье, независимо от вида охлаждения горячей стороны зависимость минимальной температуры от тока на холодной стороне всегда будет иметь явный минимум при достижении примерно 50% от номинальной силы тока. При дальнейшем увеличении тока количество выделившегося тепла будет превышать количество отведённого тепла, что будет приводить к повышению температуры холодной стороны. При этом время удержания минимальной температуры всегда имеет обратную зависимость от силы тока во всём диапазоне измерений.

#### **Решение**

Выделенные особенности объекта регулирования позволяют сформулировать требования к эффективной системе регулирования:

- 1) Должен обеспечивать выходной ток с пульсацией не более 5%, иначе эффективность модуля снижается.
- 2) Релейное регулирование и ШИМ модуляция недопустимы без сглаживания тока, так как они приводят к деградации модуля из-за резких изменений температуры.
- 3) Должен стабилизировать подводимую мощность к элементу, т.к. сопротивление элемента меняется от температуры.
- 4) Должен обеспечиваться надёжный отвод тепла от нагревающейся стороны.

На рис. 3 представлена предлагаемая функциональная схема системы автоматического регулирования термостатического модуля на основе элемента Пельтье, учитывающая сформулированные требования и особенности. Стабилизация мощности осуществляется за счет формирования управляющего сигнала на выходе регулятора температуры в зависимости от фактических значений тока и температуры горячей стороны модуля. В системе отсутствуют релейные регуляторы, и используется сглаживающий фильтр.

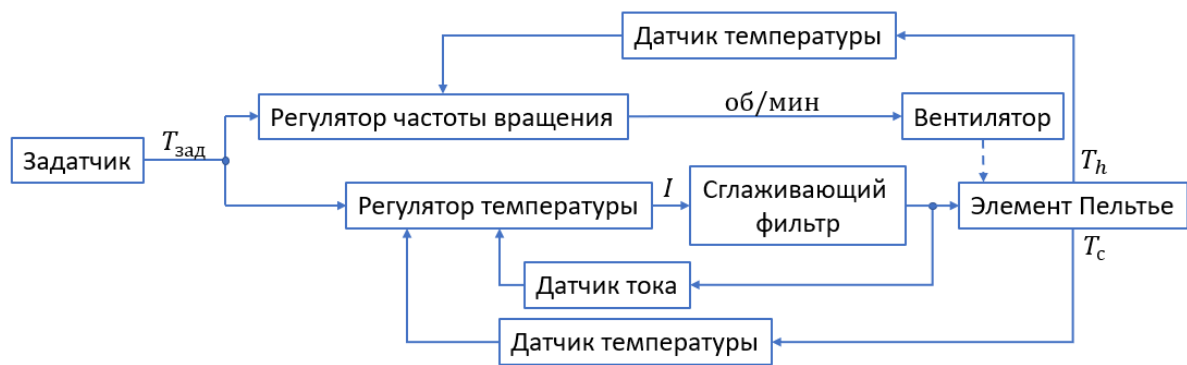


Рисунок 3. Функциональная схема системы автоматического регулирования термостатического модуля на основе элемента Пельтье

Предложенная система позволит повысить точность заданной температуры более низких температур и достичь более плавного регулирования, что увеличит ресурс элемента Пельтье.

Ниже приводится один из вариантов реализации функциональной схемы, приведённой выше. Система автоматического регулирования (рис. 4) основывается на популярном программируемом микроконтроллере Arduino Nano (D1), который обладает всем нужным функционалом: поддержка ШИМ, вход-выход общего назначения (GPIO), аналого-цифровой и цифро-аналоговые преобразователи и поддержка протокола I2C.

Обратная связь по температуре выполняется с помощью датчиков температуры DS18B20 (DD1 и DD2), обладающими достаточной для данной задачи точностью и скоростью обновления. Обратную связь по току обеспечивает отдельный модуль ACS712 (DD4).

Охлаждающий вентилятор управляется с помощью ШИМ с поднятой частотой до порядка 62 кГц, Установленная по умолчанию частота модуляции в 500 Гц будет приводить к излишнему шуму вентилятора. Управляющая элементом Пельтье частота ШИМ так же равна 62 кГц, поэтому в цепь введён сглаживающий Г-образный LC фильтр (C1 и L1) для сглаживания пульсаций тока ШИМ.

Задатчиком температуры будут являться кнопки K1 и K2 с внутренней подтяжкой к +5V, значение которого будет выводиться на OLED дисплей (DD3), который связан с микроконтроллером по протоколу I2C.

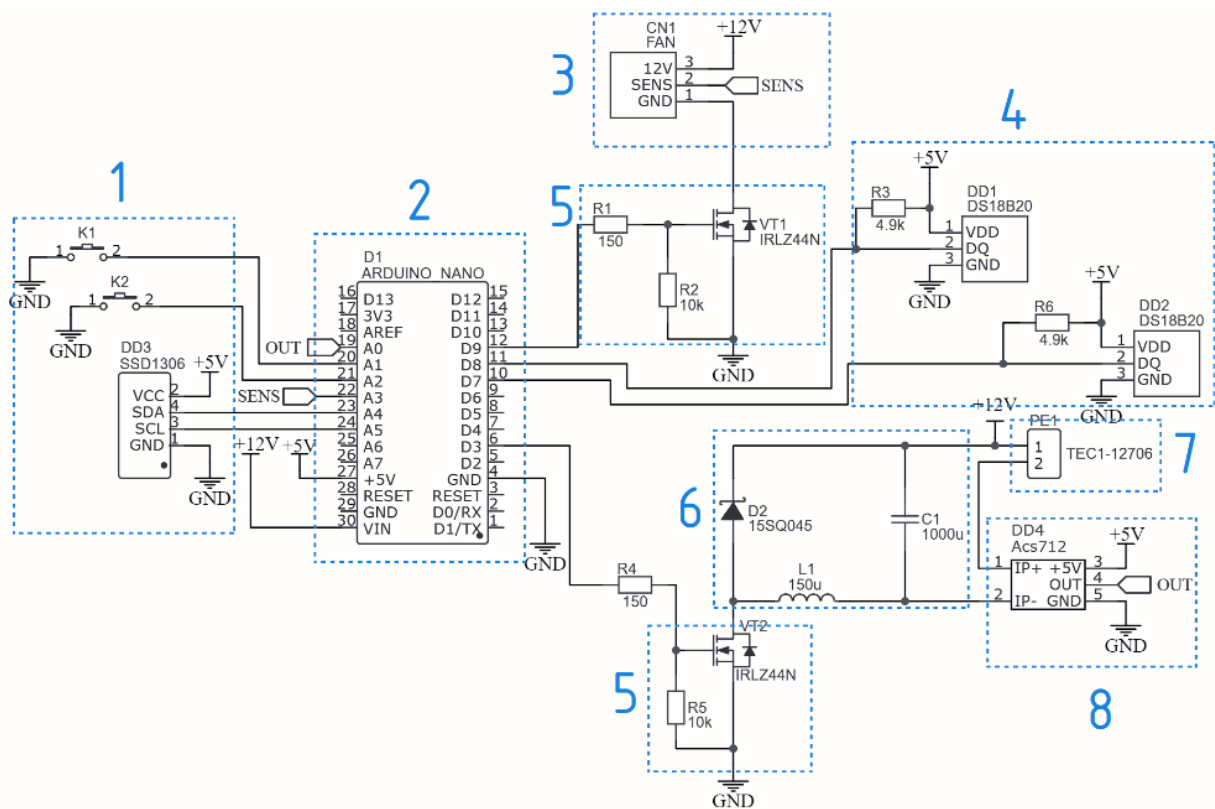


Рисунок 4. Принципиальная схема системы автоматического регулирования термостатического модуля на основе элемента Пельтье: 1 – задатчик температуры и дисплей; 2 – микроконтроллер Arduino Nano; 3 – охлаждающий вентилятор; 4 – датчики температуры DS18B20; 5 – силовые ключи; 6 – сглаживающий фильтр; 7 – элемент Пельтье; 8 – датчик тока.

### Программа

Программный код микроконтроллера написан в среде разработки Arduino IDE 1.8.19 с использованием сторонних библиотек:

1. GyverPWM для поднятия частоты ШИМ с 488 Гц до 62 кГц;
2. microDS18B20 для упрощения работы с датчиками температуры DS18B20;
3. GyverOLED для упрощения работы с OLED дисплеем SSD1306 128x64;

На рис. 5 представлена часть программного кода, описывающая функцию регулятора температуры.



```

void pel(int temp, float t_COLD, double curent){
    static uint32_t tmr_reg = millis();
    float P; // Пропорциональная составляющая
    float Kp = 1; // Пропорциональный коэф
    float I; // Интегральная составляющая
    float Ki = 1; // Интегральный коэф
    float D; // Диф составляющая
    float Kd = 1; // Диф коэф
    float dT0; // Текущая ошибка
    float dT1; // Прощлая ошибка
    float T = 0; // Выходное значение темературы
    if (millis() - tmr_reg > 200) {
        tmr_reg = millis(); // Обновляем таймер
        dT0 = t_COLD - temp; // Вычисление текущей ошибки
        P = dT0 * Kp; // Вычисление пропорционального коэф
        I = T + dT0 * Ki; // Вычисление интегрального коэф
        D = (dT0 - dT1)* Kd; // Вычисление дифференциального коэф
        T = P + I + D; // Вычисление выходного значения регулятора
        if (curent > 3 ) { // Ограничение максимального тока
            T = T * 0.95;
        }
        if (curent < 0 ) { // Ограничение минимального
            T = 1;
        }
        dT1 = dT0; // Присваивание предыдущей ошибки
        T = 255/(T + 0.1); // Инверсия значения заполнения
        constrain(T, 0, 255); // Ограничение выходного значения
        analogWrite(3, round(T)); // Вывод значения заполнения на 3 пин
    }
}

```

Рисунок 5. Программный код регулятора температуры

Функция основана на ПИД регулировании, входным значением которой будет являться разность между действительным и заданным значением температуры холодной стороны. Подбор коэффициентов будет осуществляться подбором. Так же в функции присутствует ограничение минимального и максимального значений силы тока после сглаживающего фильтра.

### Заключение

Отличительная особенность данной системы регулирования относительно релейных регуляторов является более точное удержание заданной температуры, так как гистерезис у данной САР меньше. Так же ресурс реле ниже вследствие наличия подвижного контакта, который может переключаться довольно часто и создавать дополнительный шум. Наличие ПИД регулятора позволяет настроить плавность регулирования путём подбора коэффициентов.

### Список литературы:

1 Элемент Пельтье TEC1-12706. Характеристики, применение, условия эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mypractic.ru/element-pelte-tec1-12706-xarakteristiki-primenenie-usloviya-ekspluatacii.html> (дата обращения 14.12.2023).

2 Гринкевич В.А. Синтез регулятора температуры для термостоллика на основе элемента Пельтье // Научный вестник НГТУ. – 2020. – № 1 (78). – С. 55–74. – DOI: 10.17212/1814-1196-2020-1-55-74

3 Меретуков, Ш.Т., Полякова, С. В. Некоторые вопросы изучения электрических характеристик термоэлектрических элементов с помощью аппаратно-программной платформы Arduino [Текст] / С. В. Полякова // Вестник АГУ. — 2021. — № 4. — С. 135-146. - DOI: 10.53598 / 2410-3225-2021-4-291-135-146

4 Исследование термоэлектрических параметров элементов Пельтье / Н. Н. Беспалов, Ю. В. Горячкин, А. Г. Григорьев, Е. И. Клечкин // Огарёв-Online. – 2019. – № 11(132). – С. 9. – EDN XСJXMR.

## **Казарин Виталий Андреевич** **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В УСЛОВИЯХ** **НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ В ТЕПЛООБМЕННИКАХ СУДОВЫХ** **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК, РАБОТАЮЩИХ НА МОРСКОЙ** **ВОДЕ**

*Дальневосточный федеральный университет, Политехнический институт (Школа), 690922, г. Владивосток*  
*Научный руководитель – Минаев Александр Николаевич, д-р техн. наук, профессор*

**Аннотация:** Компьютерное моделирование процессов теплообмена теплообменного аппарата с тонким слоем сульфатной накипи. Целью работы является определение линий температурных потоков сред

**Ключевые слова:** моделирование, теплообменный аппарат, теплопередача, сульфатная накипь

Сульфатная накипь ( $\text{CaSO}_4$ ) образуется в судовых теплообменниках, использующих морскую воду при температурах выше  $100\text{ }^\circ\text{C}$  ( $373\text{ K}$ ). Накипь негативно сказывается на работу теплообменного аппарата. Накипь в теплообменниках может вызвать множество проблем, включая ухудшение теплопередачи, повышение перепада давления и даже повреждения оборудования. Образуя тонкий слой на поверхности теплообменников, накипь затрудняет теплообмен, что ведет к увеличению затрат на энергоресурсы и снижению эффективности системы. Кроме того, накипь может провоцировать коррозию металлов, еще больше сокращая срок службы теплообменника.

В данной работе представлен теплообменник (рис. 1), который состоит из корпуса с размещенными внутри трубным пучком и перегородками. В этом примере две среды проходят через теплообменник: первая среды - жидкость, в данном случае забортная вода течет по трубам, в то время как вторая среда - пресная вода, циркулирует внутри корпуса теплообменника, но снаружи труб. Обе эти жидкости имеют разную начальную температуру при поступлении в теплообменник, однако после циркуляции внутри него жидкости приближаются к равновесной температуре. Перегородки создают некоторый поперечный поток, что приводит к увеличению площади теплообмена. [3]

У данной 3D-модели есть особенности – твердые стенки геометрической модели здесь представлены в виде математических поверхностей, у них нет толщины. Все стенки теплообменника, включая перегородки, моделируются в виде оболочек в 3D. Для этого требуются специальные граничные условия для уравнений потока и переноса тепла. Граничное условие внутренней стенки для потока отделяет жидкости друг от друга и также используется для описания перегородок. Для учета теплового потока в плоскости оболочки применяется граничное условие тонкого слоя. Это граничное условие имитирует теплопередачу в тонких оболочечных конструкциях. Здесь предполагается, что оболочка изготовлена из стали толщиной 1 мм и тонкого слоя сульфатной накипи 1 мм. Кроме плоскости симметрии, все остальные внешние границы представляют собой теплоизолированные стены. [1]

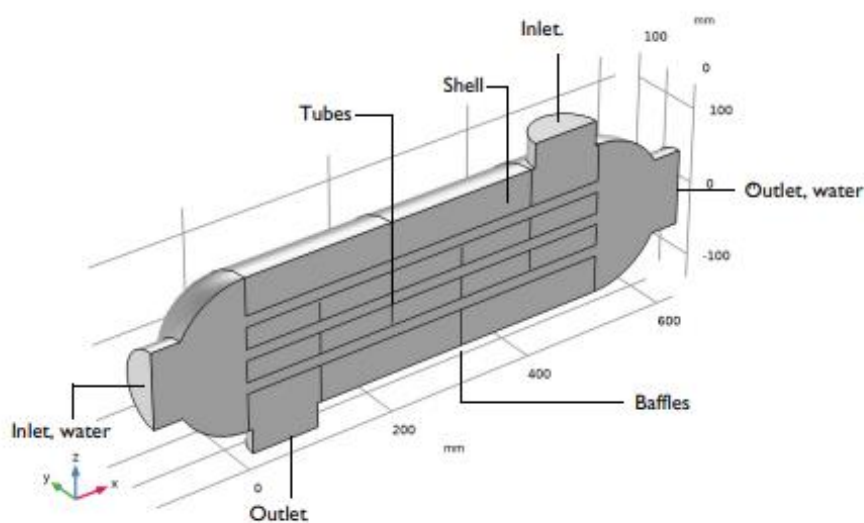


Рисунок 1. Кожухотрубный теплообменный аппарат

Следует отметить, что в данной модели на самом деле рассчитывается половина конструкции теплообменника. Благодаря наличию симметрии геометрической модели и симметричным граничным условиям решение тоже будет симметричным, поэтому мы можем отсечь симметричную часть и на соответствующей плоскости поставить условия симметрии. В качестве

теплоносителей здесь мы используем пресную воду температурой 200 °С (473 К), находящейся под давлением 1.6 МПа, движущийся в межтрубном пространстве и морскую воду температурой 10 °С (283 К), протекающую внутри трубок, а в качестве стенок труб и перегородок используется материал - Magsimal-59. Для случая моделирования теплообмена с накипью мы добавляем материал CaSO<sub>4</sub>, который будет нанесен на стенки участвующие в теплообмене тонким слоем 1 мм (рис. 2). [2]

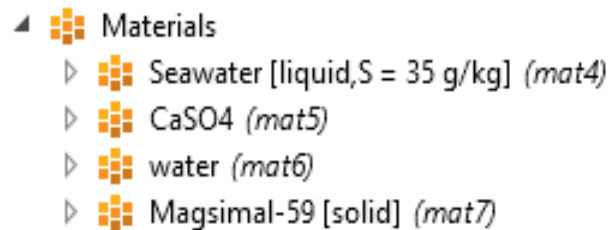


Рисунок 2. Материалы, используемые при расчете

Для того чтобы корректно учесть конечное термическое сопротивление твердых стенок в интерфейс Heat transfer (рис. 3) добавляется узел, который называется Thin Layer (тонкий слой). С помощью этого узла мы можем учесть конечное термическое сопротивление тонких объектов, которые в геометрии представлены в виде математических поверхностей. [3]

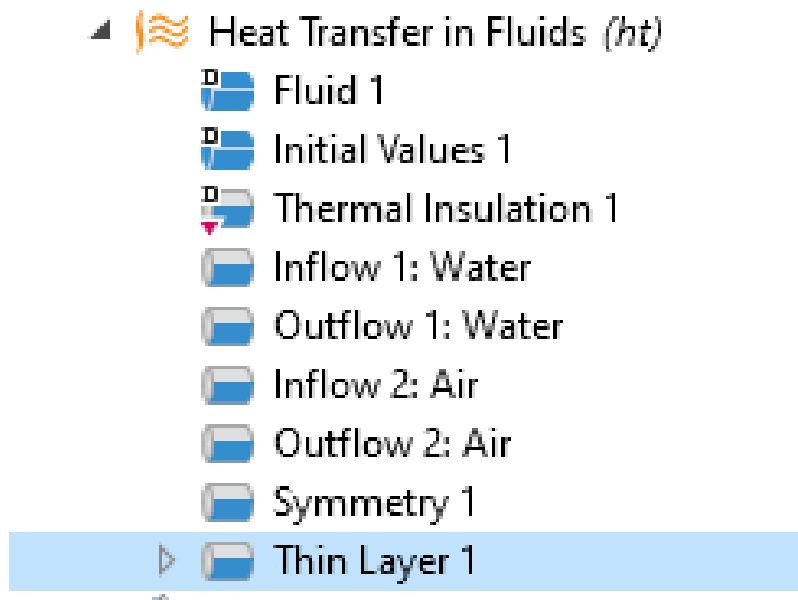


Рисунок 3. Интерфейс Heat transfer

В результате расчета мы получаем такие линии тока, которые раскрашены в соответствии с температурой теплоносителя. Здесь мы одновременно визуализируем и поле течения сред, и поле температур (рис. 4,5,6).

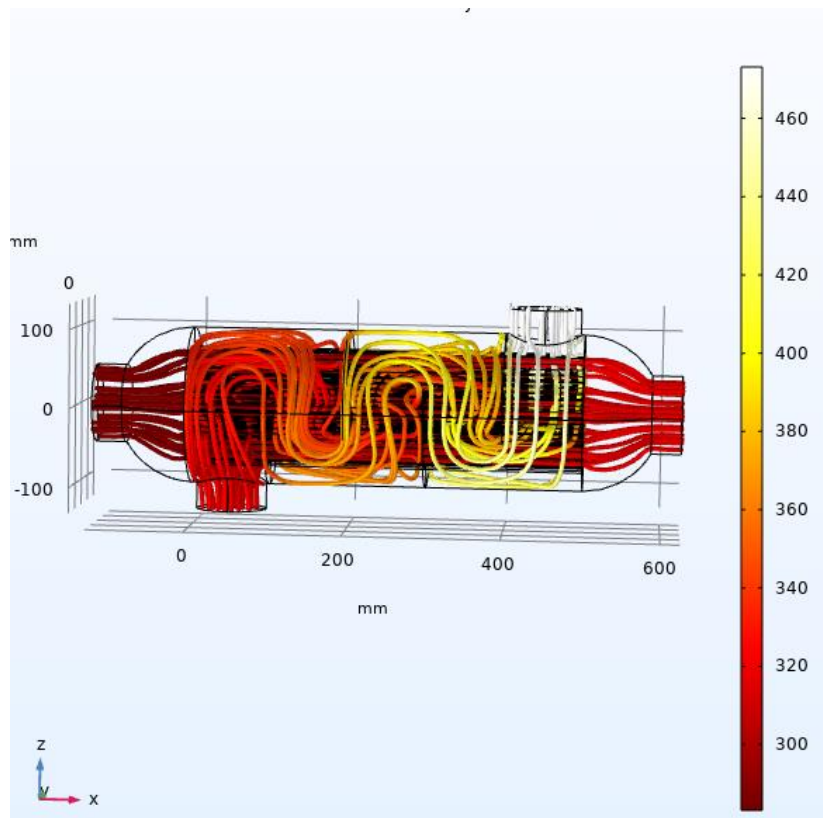


Рисунок 4. Линии течения сред и температуры сред в теплообменнике без накипи

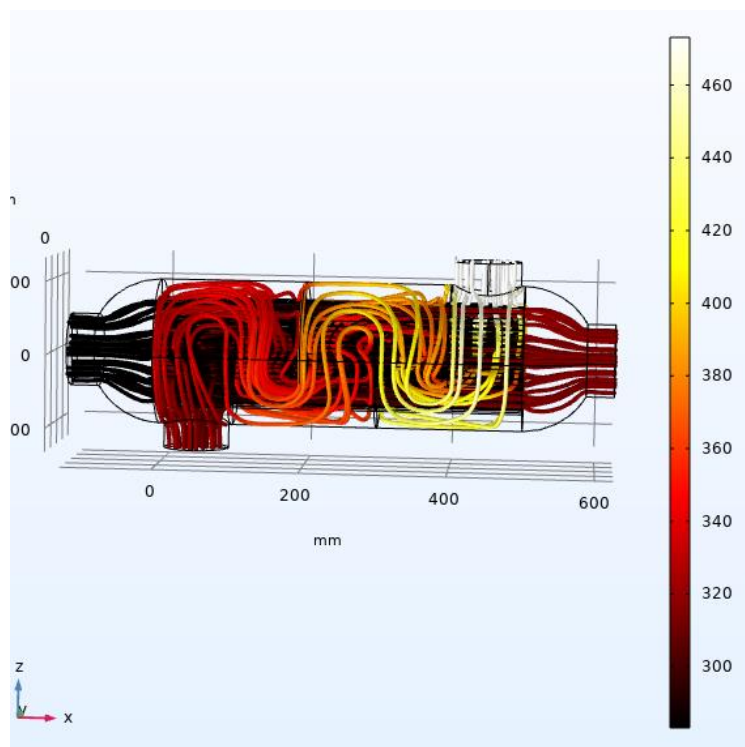


Рисунок 5. Линии течения сред и температуры сред в теплообменнике со слоем сульфатной накипи толщиной 1 мм

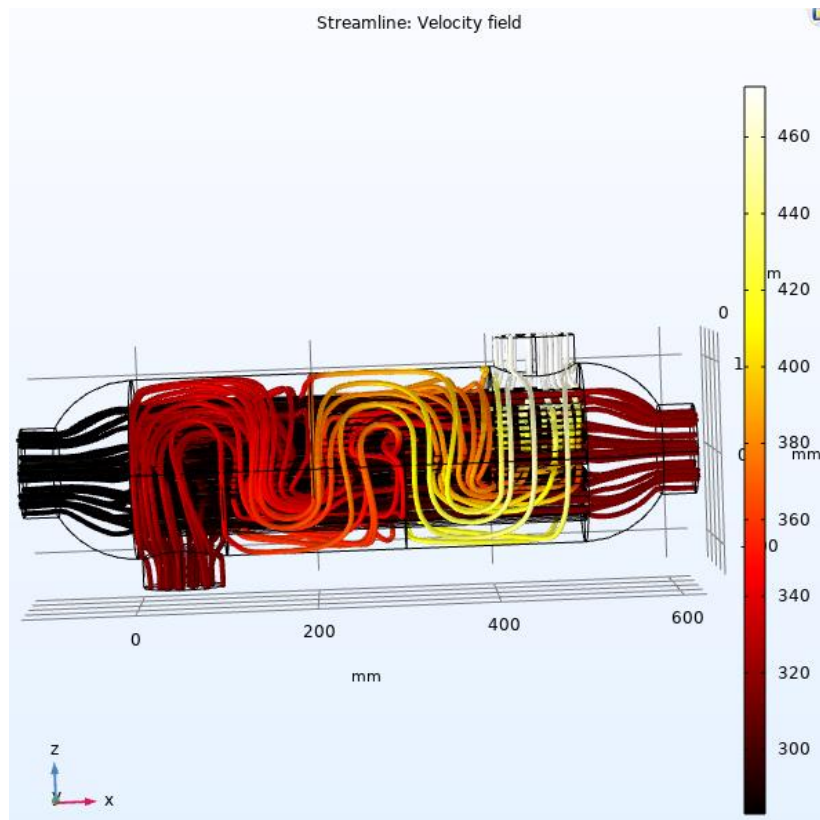


Рисунок 6. Линии течения сред и температуры сред в теплообменнике со слоем карбонатной накипи толщиной 1 мм

В результате решения задачи теплообмена в теплообменнике со слоем накипи и без накипи мы получаем следующие значения температур рабочих сред на выходе из коллекторов. В случае без накипи температура нагреваемой воды равна  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $333\text{ K}$ ). В случае со слоем сульфатной накипи  $\text{CaSO}_4$  толщиной в 1 мм температура нагреваемой воды равна  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $328\text{ K}$ ), тогда как в аналогичном случае со слоем карбонатной накипи  $\text{CaCO}_3$  толщиной в 1 мм температура нагреваемой воды равна  $53\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $326,5\text{ K}$ ).

### Заключение

- сравнивая результаты, показанные на рис. 4 и рис. 5 можно заметить, что тонкий равно распределённый слой накипи  $\text{CaSO}_4$  ухудшает теплообмен на 8,33%, что приводит к увеличению затрат на энергию и снижению эффективности системы.

- сравнивая результаты, показанные на рис. 4 и рис. 6 можно заметить, что тонкий равномерно распределённый слой накипи  $\text{CaCO}_3$  ухудшает теплообмен на 10,84%, что приводит к увеличению затрат на энергию и снижению эффективности системы.

- сравнивая результаты тепловых потерь, можно сделать вывод о том, что сульфатная накипь имеет более высокую теплопроводность, что приводит к меньшим теплотерям по сравнению с карбонатной накипью. Однако

количество накипи на поверхности теплообменника может влиять на эффективность теплопередачи и увеличивать потери тепла в обоих случаях.

### **Список литературы**

1. Федорова А.Ю. Процессы теплообмена при накипеобразовании в судовых теплообменных аппаратах, работающих на морской воде // Военно-инженерное дело на Дальнем Востоке России: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. Владивосток: ВУЦ ДВФУ. 2020, с. 40–45.
2. Казарин В.А. Моделирование теплообмена кожухотрубного теплообменника из коррозионностойкого сплава MAGSIMAL-59 (AlMg<sub>5</sub>Si<sub>2</sub>Mn) // Инженерное дело на Дальнем Востоке России: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. Владивосток: ВУЦ ДВФУ. 2023, с. 197–201.
3. Расчет теплообменных аппаратов – URL: <https://www.comsol.ru>

### **Кайтан Денис Викторович<sup>1</sup>, Минаев Александр Николаевич<sup>2</sup> РАЗРАБОТКА БЛОКА САМОДИАГНОСТИКИ СУДОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

<sup>1</sup>АО «СОЮЗ-РЕМОНТ» г. Владивосток, ул. Дальзаводская 2, 690001

<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, Политехнический институт (Школа), 690922, г. Владивосток

**Аннотация:** В статье автор рассматривает проблемы диагностического обеспечения судового двигателя. Обосновывается разработка модели навесного блока самодиагностики двигателя и методика анализа отказов судового оборудования по основным параметрам.

**Ключевые слова:** самодиагностика, судостроение, дизель, блок, параметр.

### **Введение**

Современное судостроение предъявляет достаточно высокие требования к повышению надежности судовых двигателей. Применение эффективного технического диагностирования в практике эксплуатации двигателей дает возможность решать задачи: повышение эксплуатационного КПД и ресурса за счет поддержания высокого технического уровня ДВС; понижения затрат эксплуатации и уменьшения потребности в запасных частях; сокращения времени поиска неисправностей; сокращение ремонтных и регулировочных работ. Реализация данной концепции предполагает снижение затрат, связанных с устранением последствий отказов и аварий агрегатов. [2]

Создание эффективного диагностического обеспечения предполагает прежде всего, проведение системного анализа объектов диагностирования с целью выделения и типизации характерных процессов деградации технического состояния наиболее нагруженных и ответственных узлов и деталей, лимитирующих безотказность и долговечность оборудования, определения

рациональной глубины диагностирования, систематизации диагностических задач и последующего анализа и выбора методов и средств диагностирования и определения исходных предпосылок для исследования и разработки принципиально новых диагностических способов [4,5].

Информационной базой такого анализа является исследование структурной организации, конструктивных особенностей, принципов действия, характеристик рабочих процессов оборудования, изучение материалов расследования нештатных ситуаций, отказов и аварий оборудования, результатов предремонтной дефектации, экспертных оценок и т.п. Применительно к судовым дизелям за основу такого анализа принимается структурная схема, представленная на рис. 1 [1,6].

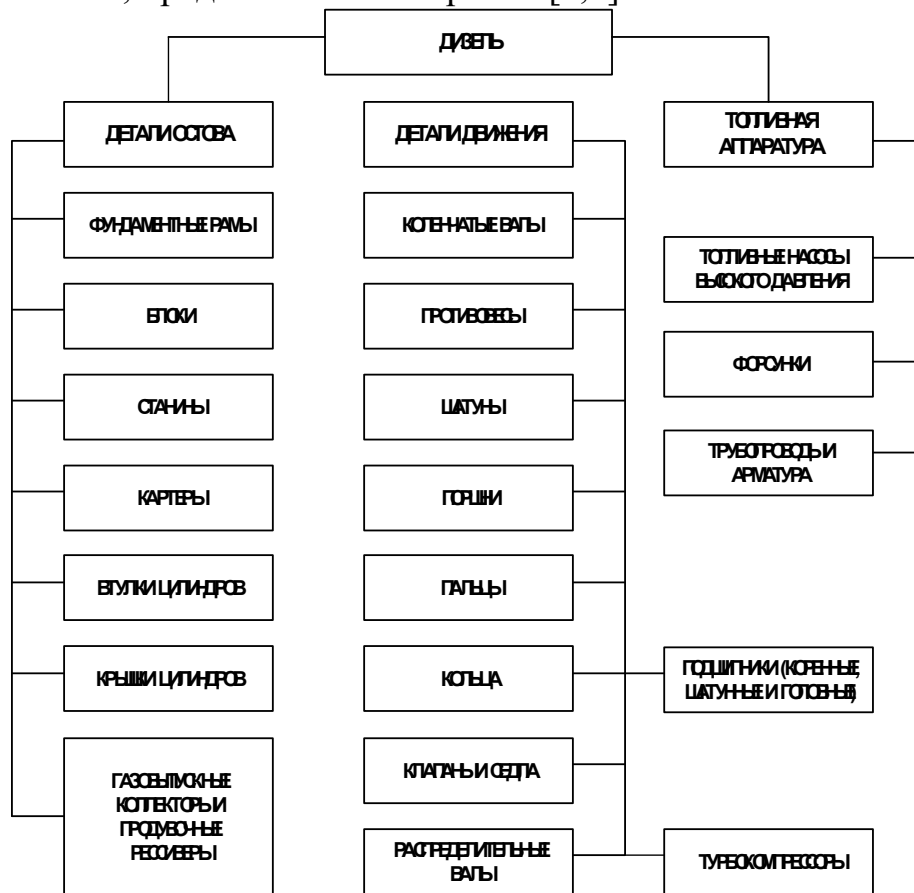


Рисунок – 1 Структурная схема

Анализ данной структуры по результатам эксплуатации и предремонтной дефектации позволяет сделать следующие выводы:

1. Техническое состояние наиболее ответственных узлов и деталей оборудования, подвергающихся во время эксплуатации сложному комплексу нагрузок и разрушающих процессов, постепенно ухудшается вплоть до наступления критического состояния. Неконтролируемое развитие этих процессов приводит к отказам и авариям оборудования [3].



2. Возможность своевременного обнаружения этих негативных процессов, оценки их темпов и стадии развития во многом определяется рациональным выбором глубины диагностирования.

3. Глубина диагностирования должна быть основана на комплексном применении методов системного анализа судового оборудования, как объекта диагностирования, а именно: метода структурной декомпозиции, качественного и количественного анализов опыта эксплуатации и предремонтной дефектации оборудования, логико-вероятностного метода, количественной и индексной оценки рисков отказов и аварий, метода экспертных оценок приоритетности диагностических задач, метода имитационного моделирования отказов технических систем и их возможных последствий.

Техническое состояние судового двигателя — это качество его узлов и деталей в данный момент времени или совокупность косвенных показателей, значение которых определяет его технические характеристики. Обычно оценка технического состояния производится в результате разборки двигателя, очистки и обмеров его деталей и различных сопряжений. Такие операции трудоемки и не всегда целесообразны из-за последующего нарушения трущихся поверхностей при их переборке. Сложность конструкции двигателя, большое количество узлов и агрегатов, подлежащих контролю приводит к тому, что в настоящее время расходы на поддержание технической готовности двигателя в 5-10 раз превосходят затраты на его производство, а поиск неисправностей в двигателе занимает 50-80 % ремонтного времени.

Предупредить отказы и преждевременные переборки двигателя позволит навесной блок самодиагностики двигателя (НБС), реализованный на принципе синтеза алгоритмов автоматизированного поиска причин нарушения работоспособности ДВС, в основу которого положен дискретный метод обработки результатов контроля параметров и входящий в состав двигателя.

Структура НБС содержит следующие элементы:

- электронный блок обработки информации, основанный по типу машинного обучения (нейросеть);
- электронный блок сбора (накопления) результатов;
- электронный блок речевого информатора с извещателями;
- модульный шкаф с выводами для подключения датчиков различных типов и исполнений;
- графические панель;
- звуковая и световая сигнализация.

Основными показателями (параметрами), по которым контролируется работа дизеля и оцениваются его нагрузка, тепловое состояние, условия смазки трущихся поверхностей, состояние и исправность дизеля и обслуживающих его систем и механизмов, в НБС являются:

- показания динамометра (у дизелей, оснащенных динамометрами для измерения крутящего момента);
- величина нагрузки, определяемая по диаграмме нагрузки;

- показания амперметра и вольтметра или ваттметра (у дизелей, работающих на генераторы);
- расход топлива;
- частота вращения коленчатого вала;
- частота вращения гребного вала;
- частота вращения турбокомпрессора;
- максимальное давление сгорания в цилиндрах;
- давление масла на входе в дизель (в главной магистрали);
- перепад давления масла в фильтрах (до и после фильтра);
- давление масла на смазку подшипников турбокомпрессора;
- давление топлива после топливоподкачивающего насоса;
- давление пресной воды на входе в дизель;
- давление воздуха в расширительном баке системы охлаждения;
- давление забортной воды за насосом;
- давление воды на воздухоохладитель;
- давление наддува;
- разрежение в картере;
- температура масла на входе и выходе из дизеля;
- температура воды на входе и выходе из дизеля;
- температура выпускных газов по цилиндрам;
- разность температур выпускных газов между цилиндрами;
- температура выпускных газов в коллекторах (перед турбиной);
- атмосферное давление;
- влажность;
- скорость судна;
- температура окружающей среды;
- температура забортной воды;
- уровень вибрации, структурного и воздушного шума отдельных механизмов, узлов и дизеля в целом (изменение уровня структурного шума в отдельных узлах и механизмах используется, как средство диагностики определения технического состояния узлов и деталей (определение величин зазоров между поршнем и втулкой, в приводе клапанов, повреждений поршня и т. д.)).

Все указанные части совокупно представлены в единую принципиальную схему, каждый элемент которой имеет контролируемые параметры на входе (X) и на выходе (Y).

Параметры преобразуются из аналоговой формы в дискретную (кодируются) путем сравнения с заранее определенными предельными значениями – уставками.

Состояние данной схемы оценивается следующим образом: все параметры в норме – нарушений работоспособности нет; все выходные параметры схемы в норме, а выходной параметр не в норме – причиной нарушения

работоспособности является данный параметр; не в норме один из входных параметров – причиной нарушения работоспособности схемы является один из предыдущих параметров.

Если приведенные правила записать в виде логического уравнения и решать полученную систему уравнений задавая поочередно отказы различных элементов, можно получить комбинации дискретных значений контролируемых параметров для всех нештатных ситуаций, возникающих при отказах оборудования. Эти комбинации могут быть занесены в столбцы эталонной таблицы (матрицы).

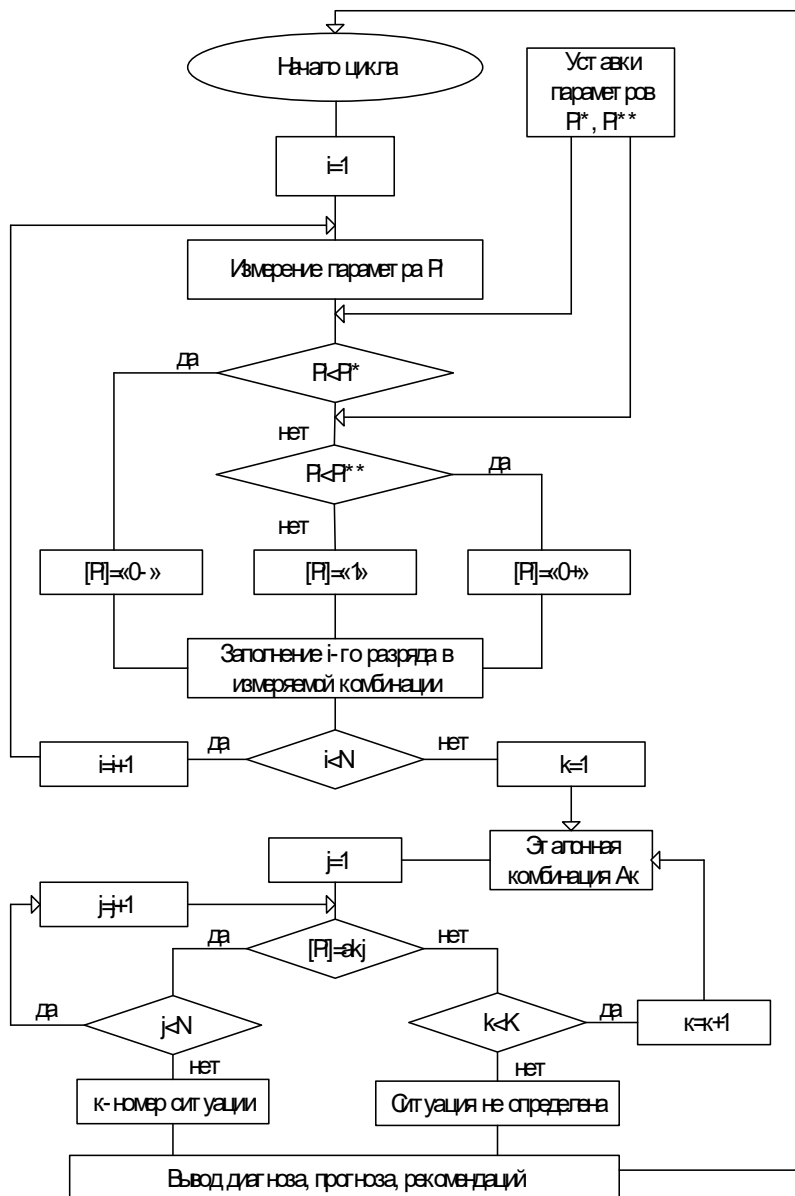


Рисунок – 2 Диагностический алгоритм.

Эталонная матрица параметров, используемых для оценки нагрузки, теплового состояния, условий смазки и исправности действующего дизеля, а также для оценки состояния и исправности обслуживающих дизель систем и

механизмов, заносятся в алгоритм программного обеспечения блока самодиагностики.

Блок самодиагностики, в случае отклонения параметров дизеля от нормальных значений, производит анализ отклонения, определяет причину отклонения по заданному алгоритму и выдает рекомендации по устранению причин, вызвавших эти отклонения на графический дисплей оператора либо на речевой информатор или звуковое сопровождение.

Мониторинг параметров осуществляется как в режиме реального времени, так и за определенный период времени.

Например, при резком значительном отклонении параметра по давлению масла после масляного фильтра до минимальных значений алгоритм измерительного комплекса блока НБС начинает анализировать параметры, зависящие или влияющие на этот параметр, в соответствии с представленным диагностическим алгоритмом.

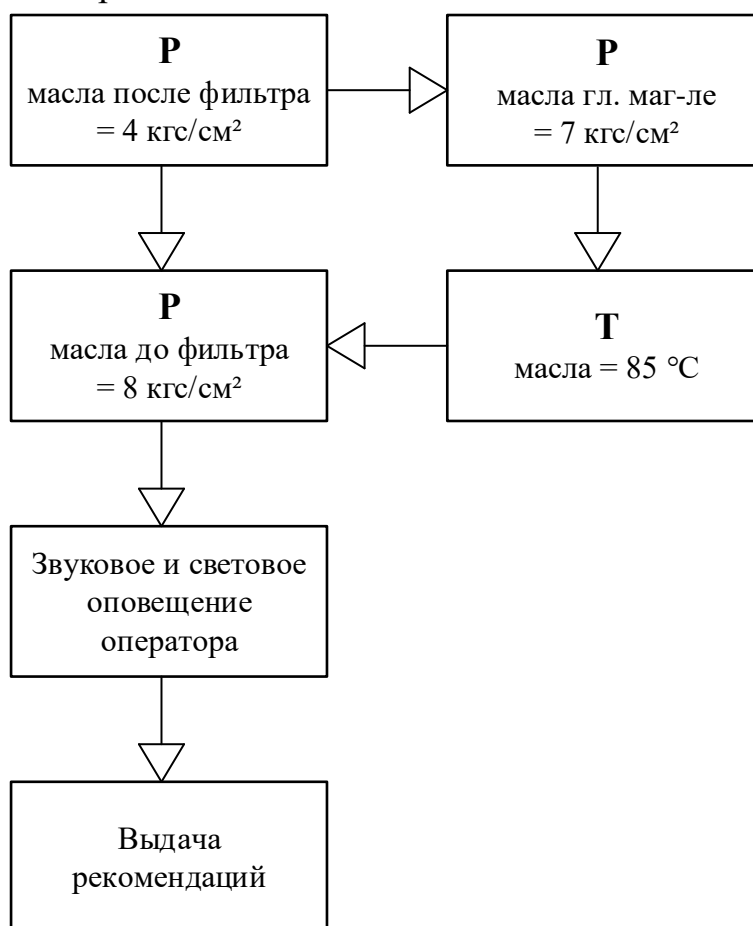


Рисунок – 3 Алгоритм работы по выбранному параметру

При длительном, постепенном отклонении параметра по давлению масла, после масляного фильтра до минимальных значений, алгоритм системы начинает анализировать параметры, зависящие или влияющие на этот параметр за период времени, например:

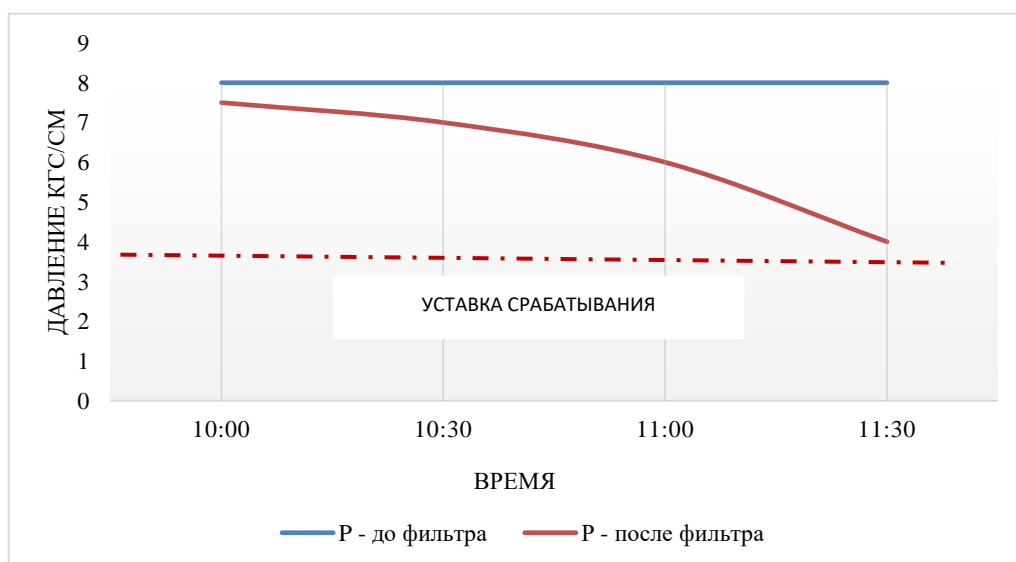


Рисунок – 4 График НБС (масло)

В момент, когда показания опустились до предустановленного предельного значения, в НБС мгновенно происходит анализ полученной информации, с момента запуска двигателя, алгоритм блока производит анализ с ранее полученными результатами, при подобных параметрах работы двигателя и на графическом дисплее оператора, выводит текстовое сообщение с рекомендациями например: «необходимо заменить масляный фильтр», либо блок может выдать оповещение – «время работы дизеля до критических параметров по давлению масла составит не более 30 минут».

### Заключение

Таким образом, блок НБС производит циклический опрос всех датчиков, измеряющих параметры ДВС. Результат измерения каждого параметра сравнивается с соответствующими уставками, хранящимися в памяти измерительного комплекса блока. В результате сравнения происходит дискретизация параметра, т.е. измеренное аналоговое значение параметра заменяется дискретным в соответствии с той же системой кодирования, которая применялась и при заполнении эталонной матрицы.

После завершения каждого цикла опроса датчиков и сравнения с уставками их сигналов получается комбинация дискретных значений параметров. Её сравнивают с эталонными комбинациями, записанными в столбцах диагностической матрицы. Сравнение продолжается до тех пор, пока не будет найден столбец, комбинация которого полностью совпадет с комбинацией измеренных значений параметров. В соответствии с ним оператору выдается диагноз, рекомендации и прогноз, а также показывается фрагмент мнемосхемы, на котором цветом и анимацией выделяется элемент, отказ которого явился причиной нарушения работоспособности ДВС.

## Список литературы

1. Мясников Ю.Н. Эксплуатационные дефекты судовых дизельных и газотурбинных двигателей / Ю. Н. Мясников, В. С. Никитин, А. А. Равин // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2018. - №3. – С.85-96.
2. Пальтов С.А. Контроль рабочих процессов судовых двигателей с использованием электронных систем индицирования: специальность 05.08.05 «Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Государственная морская академия имени адмирала С.О. Макарова. – Санкт-Петербург, 2010. – 23 с.
3. Самойленко А.Ю. Комплексная система мониторинга технического состояния судового малооборотного дизеля / А.Ю. Самойленко // Эксплуатация морского транспорта. – 2020. - №4 – С. 77-83.
4. Федоров С.В. Модель диагностики истинной температуры смазки в судовых двигателях внутреннего сгорания / С.В. Федоров // Научный журнал «Известия КГТУ». – 2018. - №51 – С.138-149.
5. Шербан С.А. Измерительные приборы для определения состава отработавших газов судовых двигателей внутреннего сгорания / С.А. Шербан С.А., Жуков В.А. // Вестник астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2020. - №2 – С.100-110.
6. Халилов Н.А. Современные системы управления и мониторинга главных судовых двигателей / Н.А. Халилов, О.П. Коперчак // Вестник науки. – 2022. – Т.3. №1 (46). – С. 185-192.

## **Крылов Родион Русланович, Минаев Александр Николаевич ИССЛЕДОВАНИЕ В ПРОГРАММЕ COMSOL MULTIPHYSICS РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ СУДОВЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ**

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

**Аннотация.** В работе представлены результаты моделирования рабочих процессов в судовом теплообменнике. Одним из теплоносителей является пар, а другим – морская вода. Пар проходит в межтрубном пространстве, а морская вода омывает внешние стенки труб. Рассмотрены возможности использования программы COMSOL Multiphysics для исследования процессов теплообмена и гидродинамики при длительной работе теплообменника в условиях накипеобразования и коррозии.

**Ключевые слова:** Судовые теплообменники, COMSOL Multiphysics, проектирование, 3Д – моделирование, теплопередача, гидродинамика.

### **Моделирование теплообменника**

Сперва, необходимо было спроектировать теплообменник в соответствии с ГОСТ 15112-79 «Теплообменники кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе» [1].

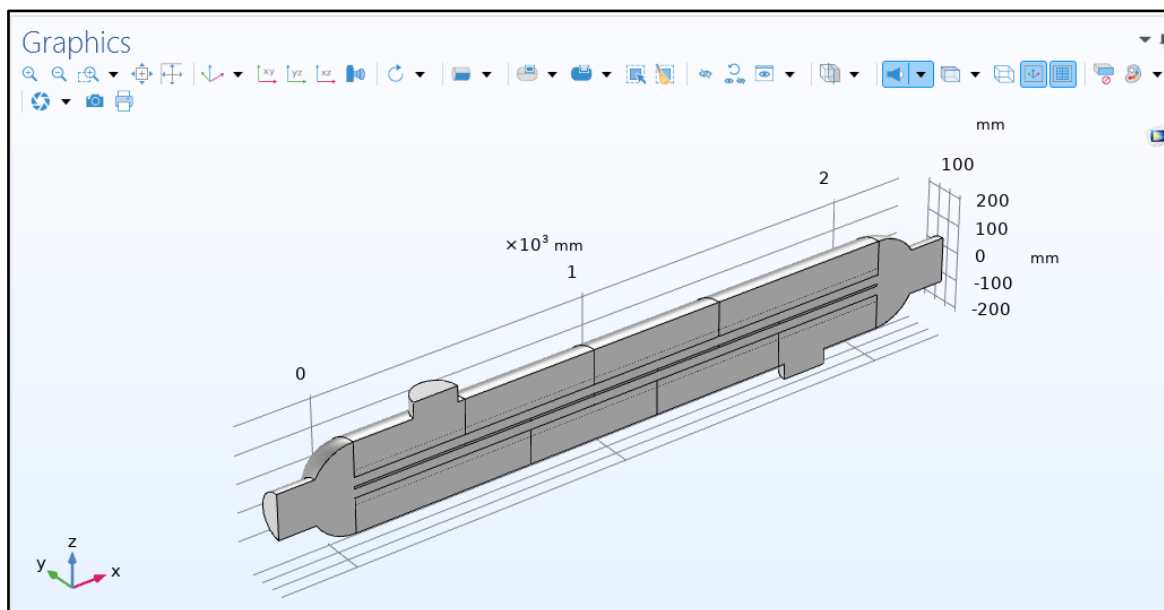


Рисунок 1. 3Д модель исследуемого теплообменника

### Исследование теплообменника

Далее необходимо было добавить физику, материал, параметры исследования.

Таблица 1

### Вводные параметры

Параметры	Значения
Температура пара на входе	200 °C
Температура морской воды на входе	10 °C
Скорость потока пара на входе	0,35 м/с
Скорость потока морской воды на входе	0,1 м/с
Толщина труб	0,5 мм

Таблица 2

### Добавленные физики

Название	Возможности
Turbulent flow	Моделирование однофазных течений при высоких числах Рейнольдса. Моделирование эффектов турбулентности. Моделирование потоков около стенок
Heat Transfer in Fluids	Моделирование процессов теплопередачи путем теплопроводности, конвекции, и излучения.

Остальные действия выполняются непосредственно в COMSOL Multiphysics [2].

### Анализ данных

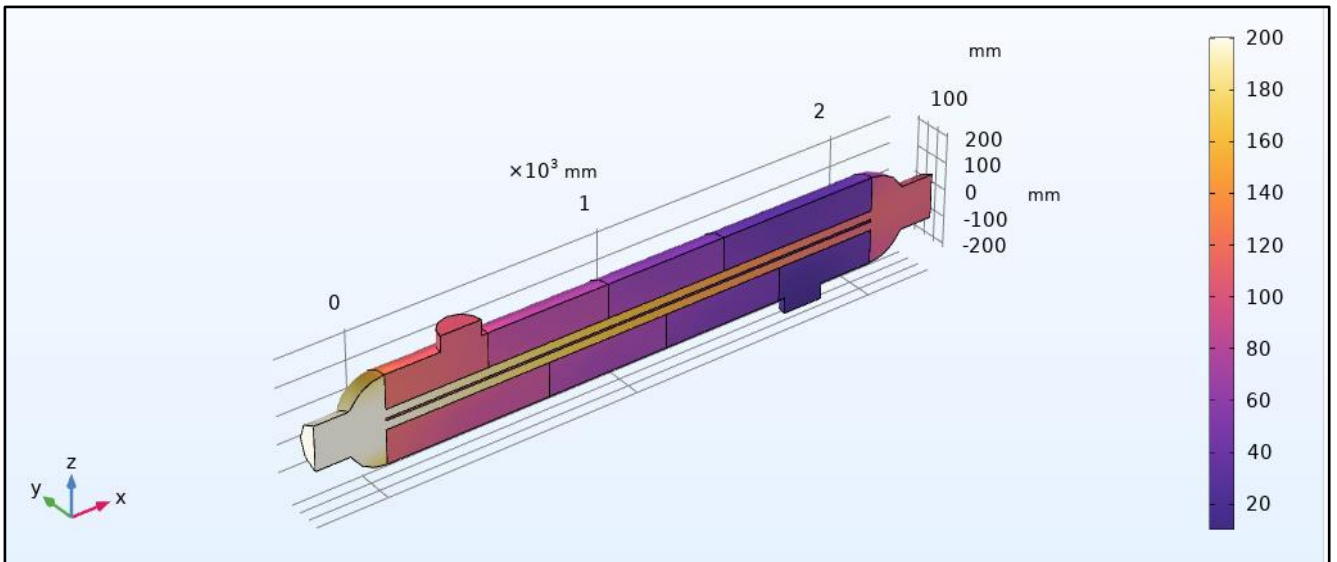


Рисунок 2. Изменение температуры в ОС

Как видно на рисунке температура пара на входе равняется  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а морской воды примерно  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что соответствует вводным данным. После процесса теплообмена температура пара на выходе около  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а морской воды примерно  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Наблюдаем плавный переход температуры в теплообменнике. Это означает, что при заданных параметрах процесс теплообмена проходит эффективно.

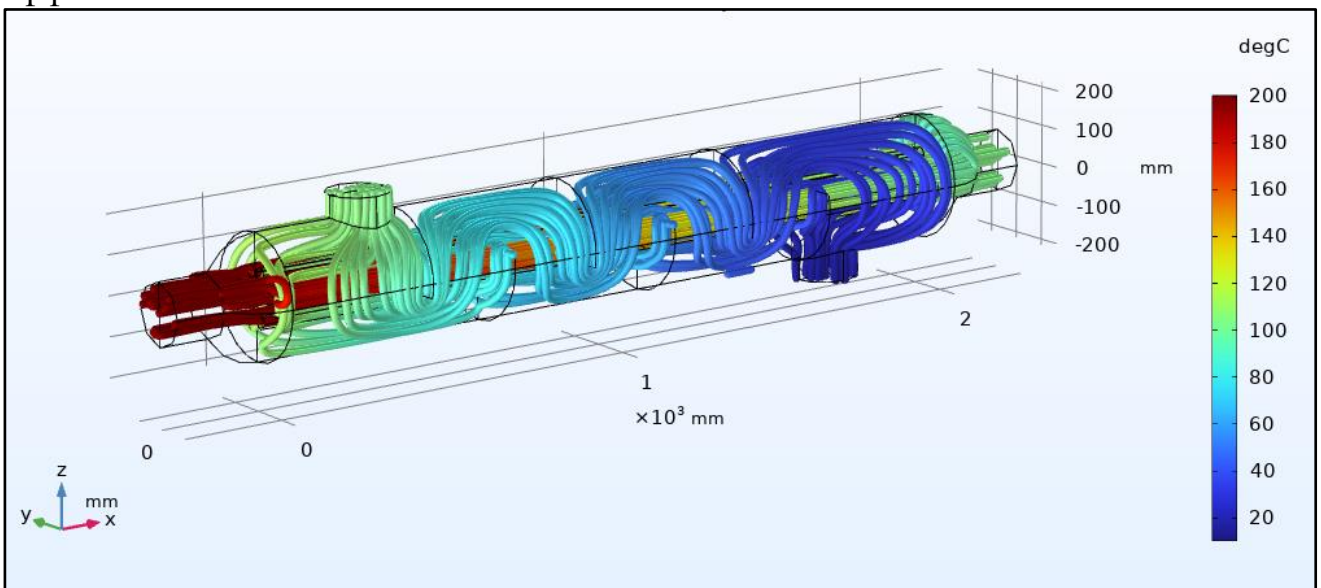


Рисунок 3. Линии тока теплоносителей в ОС

Результатом объединения двух физик будет являться данный рисунок. На нем можно увидеть непосредственно изменение температуры теплоносителей, а также движение теплоносителей в теплообменнике.



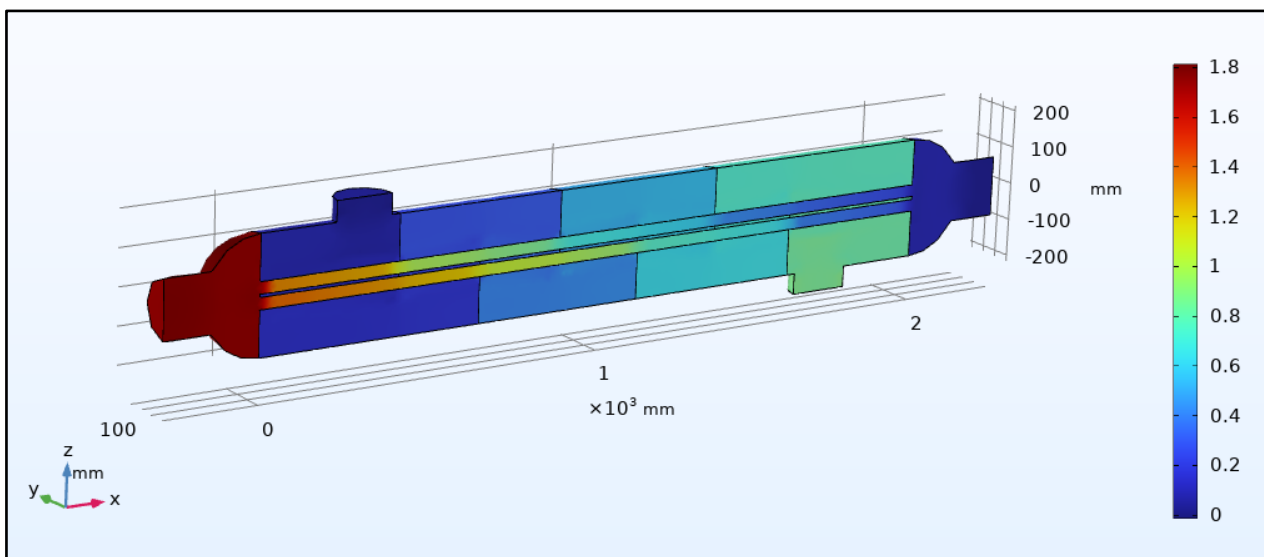


Рисунок 4. Изменение давления в МПа

На данном рисунке видим изменение давление теплоносителей. Давление пара на входе около 1,8 МПа, а давление морской воды на входе примерно 1 МПа

Полученный расчетные данные будут проверяться на натурной модели теплообменного аппарата, работающего на морской воде, внешний вид которого представлен на рисунке 5.



Рисунок 5. Натурная модель теплообменника

Будет проведено сравнение результатов исследования процессов коррозии и накипеобразования на натурной модели теплообменного аппарате с результатами, полученными с помощью программы COMSOL Multiphysics, что в дальнейшем позволит значительно упрощают и ускоряют анализ рабочих процессов, а также позволят наглядно представить рабочие процессы, проходящие внутри исследуемой модели.

## Список литературы

1. Теплообменники кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе основные параметры и размеры. ГОСТ 15122–79.
2. Introduction to COMSOL Multiphysics. 2019 – Sweden 2019. <https://cdn.comsol.com/doc/5.5/IntroductionToCOMSOLMultiphysics.pdf>

**Лапина Наталья Викторовна**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОГО**  
**ПАССИВНОГО МАГНИТНОГО ПОДШИПНИКА**

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

*Научный руководитель - Дидов Владимир Викторович, профессор, доцент,  
кандидат технических наук*

**Аннотация.** В статье выполнено расчетное определение рабочих параметров комбинированного пассивного магнитного подшипника для валопровода проектируемого судна водоизмещением 25000т. Описана конструкция рассматриваемого валопровода и комбинированного подшипника. Представлены зависимости распределение плотности магнитного потока, несущей способности магнитного подшипника от его длины при отсутствии эксцентриситета, несущей способности подшипника от относительного эксцентриситета, распределение давления в смазочном слое динамических подшипников, несущей способности магнитной и гидродинамической части динамических подшипников и мощности трения в динамических подшипниках.

**Ключевые слова:** магнитный пассивный подшипник, магнитная проницаемость, несущая способность, дейдвудное устройство, эксцентриситет.

## Введение

Данное исследование выполнено в рамках работы по изучению параметров комбинированного пассивного магнитного подшипника, разработанного Дидовым В. В. для применения в дейдвудных устройствах морских судов [2]. Анализ конструкций и характерных параметров, а также повреждений различных дейдвудных опор выполнен в работе [4].

В настоящей работе выполнено определение рабочих параметров комбинированного пассивного магнитного подшипника, спроектированного в рамках выпускной квалификационной работы для нефтеналивного судна водоизмещением 25000т.

## Конструкция валопровода рассматриваемого судна

Конструкция валопровода представлена на рисунке 1.

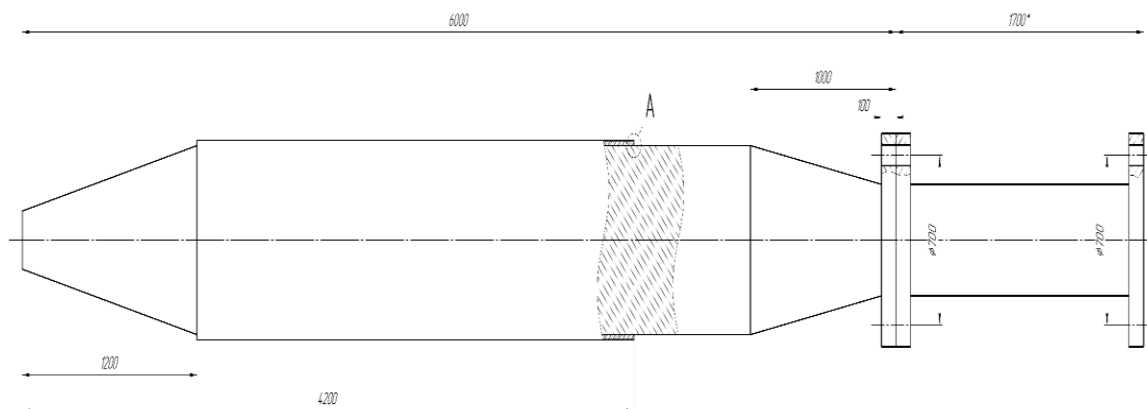


Рисунок 1 – Конструкция рассматриваемого валопровода

Валопровод состоит из промежуточного и гребного вала. На гребном валу расположен дейдвудный подшипник. Дейдвудный подшипник состоит из двух участков расположенных в районе облицовок. Конструкция облицовок дейдвуда показан на рисунке 2.

Облицовка из стали с высокой магнитной проницаемостью предназначена для повышения несущей способности подшипника. Изготовлена из материала 48КНФ – это сплав системы пермаллой Fe – Co. Материал 48 КНФ является одним из наиболее оптимальных для применения в данной конструкции [5].

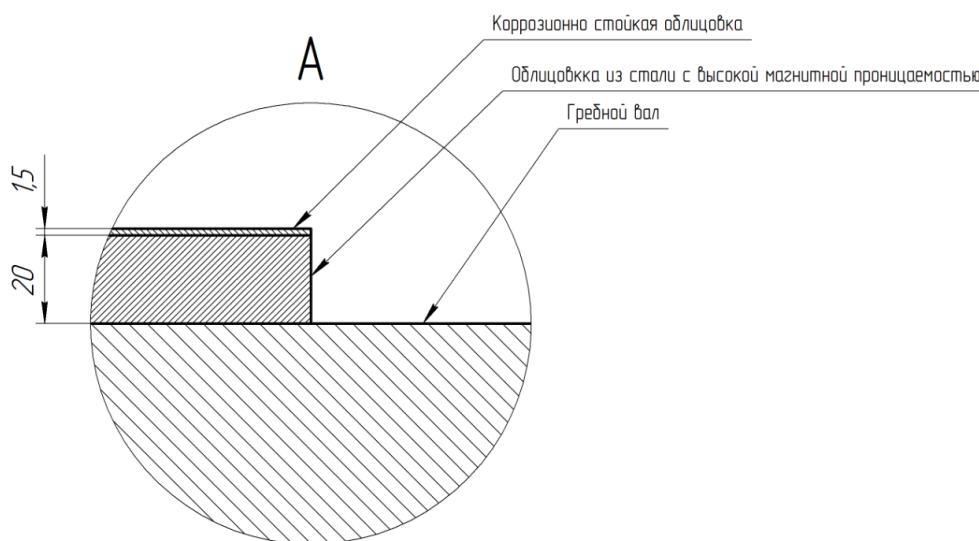


Рисунок 2 – Конструкция облицовки дейдвуда

**Конструкция комбинированного пассивного магнитного подшипника**  
 Общая конструкция магнитного подшипника приведена на рисунке 3.

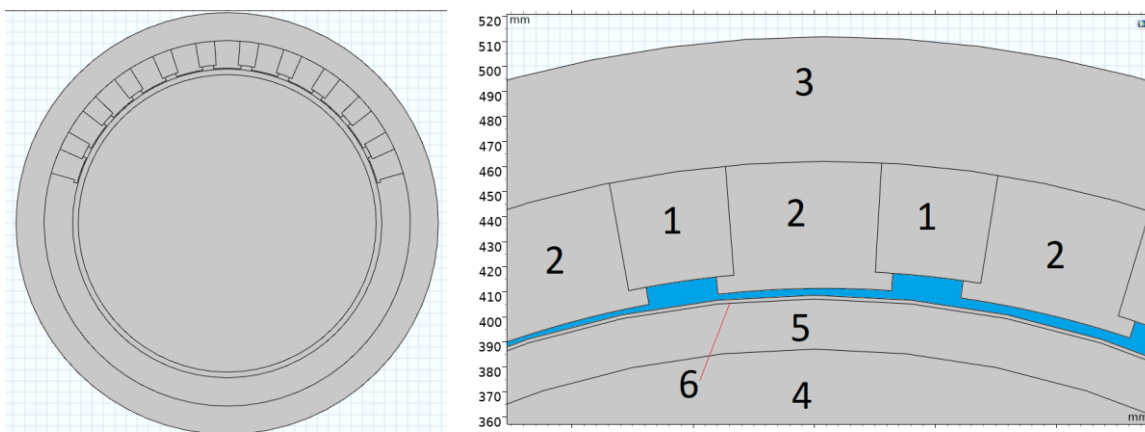


Рисунок 3 – Магнитный подшипник: 1 – неодимовые магниты; 2 – прослойки из стали с высокой магнитной проницаемостью; 3 – дейдвудная труба; 4 – основной вал; 5 – облицовка из стали с высокой магнитной проницаемостью; 6 – облицовка из коррозионно – стойкой стали.

Диаметр основного вала составляет 780 мм.

Вес гребного валопровода составляет 23т.

Радиальный зазор в подшипнике – 2 мм.

Подробное описание, а также принцип действия данной опоры рассмотрены в работе [4].

#### **Описание эксперимента**

Вычислительный эксперимент выполнен в среде Comsol multiphysics. Данный программный комплекс успешно применяется для исследований динамики роторов и подшипниковых опор, а также при исследовании магнитных полей [1, 3].

В ходе работы выполнялось исследование зависимости несущей способности подшипника от вертикального смещения вала (эксцентриситета). Для этого задавалась величина смещения вала в подшипнике по оси Y относительно оси подшипника. Исследовались две независимых математических модели:

- пассивный магнитный подшипник;
- гидродинамический водяной подшипник.

Также была определена величина работы трения в подшипнике.

#### **Анализ полученных данных**

В ходе эксперимента были получены результаты плотности магнитного потока, зависимость несущей способности от вертикального смещения вала показаны на рисунке 4.

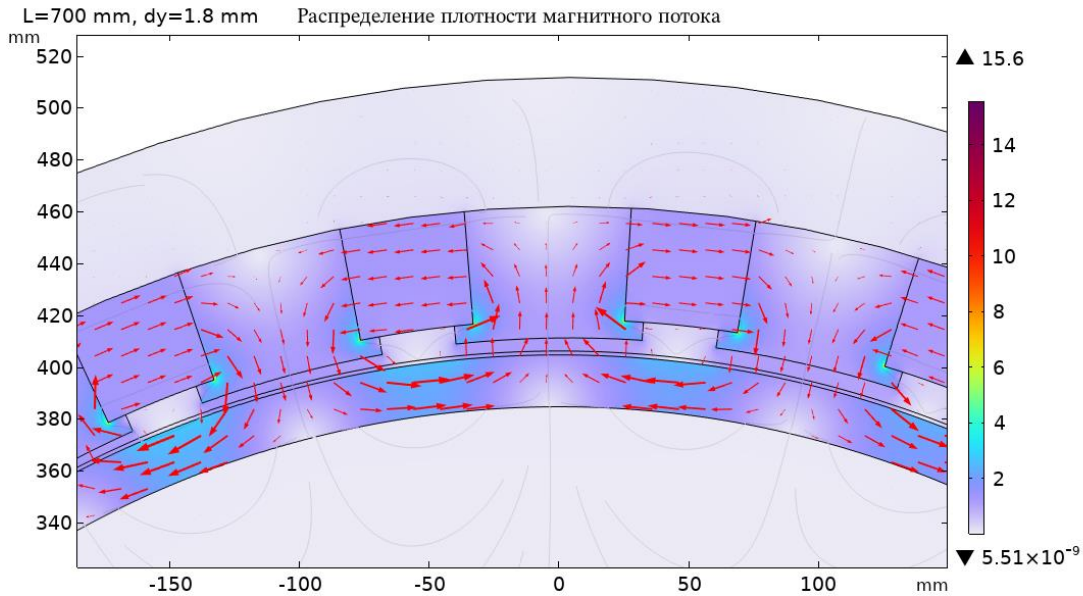


Рисунок 4 – Плотность магнитного потока

На рисунке 5 показана зависимость несущей способности подшипника от его длины при отсутствии эксцентриситета.

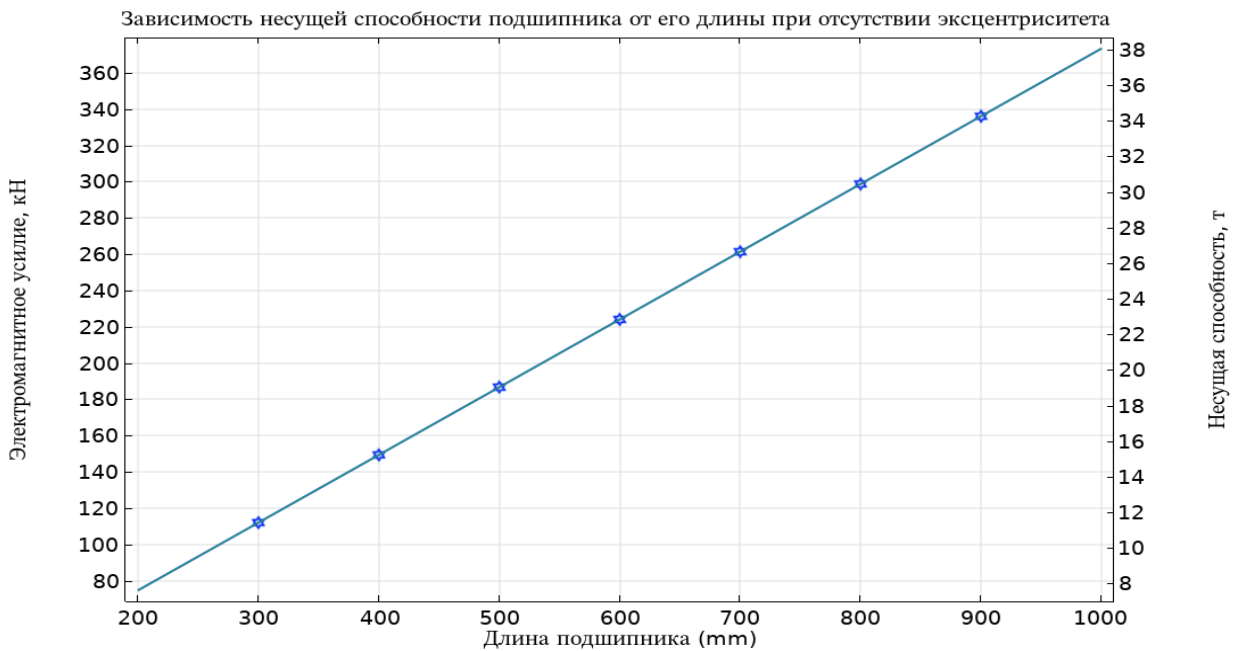


Рисунок 5 - Зависимость несущей способности подшипника от его длины при отсутствии эксцентриситета

Как видно из представленного на рисунке 5 графика, исследуемый магнитный подшипник может нести до 38 тонн веса при длине 1000 мм. Для определения длины кормового и носового дейдвудных подшипников, примем что кормовой несёт массу половины вала и массу винта (26,5 т), а носовой – только массу половины вала (11,5 т).

Тогда длина носового подшипника должна быть 300 мм, а кормового – 700 мм.

Тем не менее, при смещении вала относительно магнита, несущая способность подшипника изменяется. На рисунке 6 представлена зависимость несущей способности магнитов от относительного эксцентриситета в подшипнике.

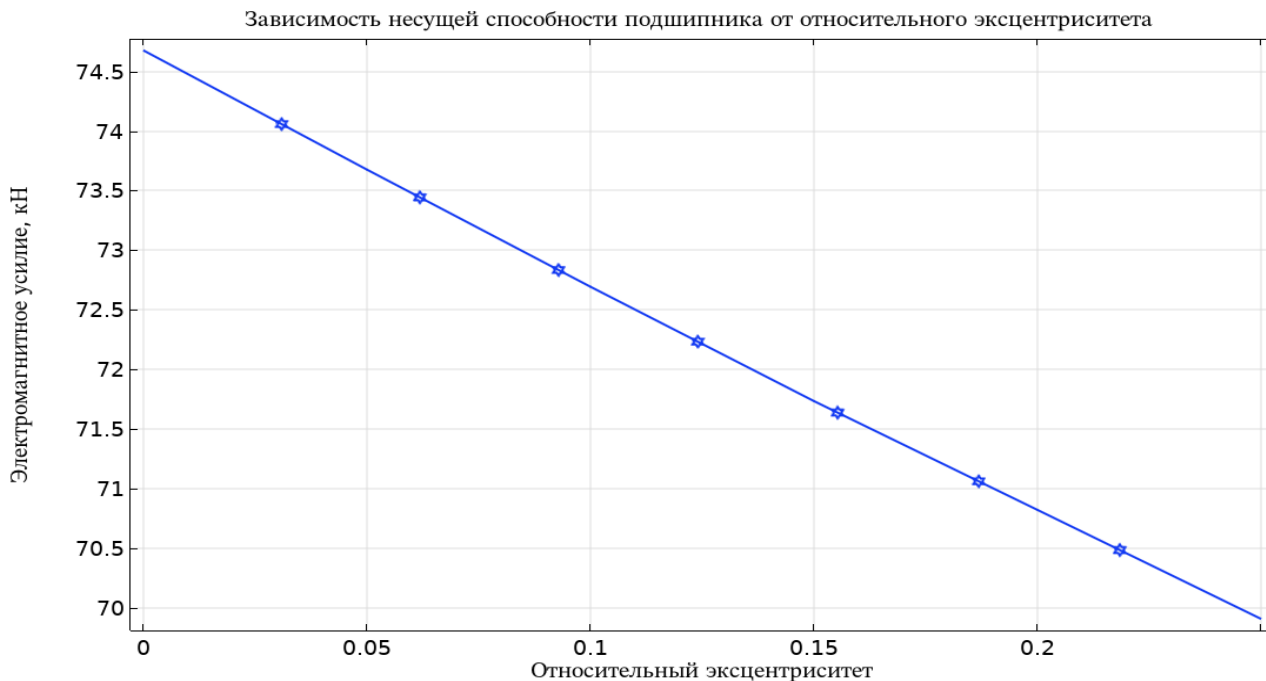


Рисунок 6 – Зависимость несущей способности подшипника от относительного эксцентриситета

Как видно из графика, при движении вала в сторону от подшипника, его несущая способность падает и наоборот. Поэтому длины подшипников были подобраны таким образом, чтобы исключить вероятность «прилипания» вала к магнитам. **Недостаток несущей способности магнитов будет компенсирован гидродинамическим эффектом**

Для данного подшипника при относительном эксцентриситете 1, потеря несущей способности составляет около 30%.

#### **Расчёт гидродинамических усилий в подшипнике**

Для исследования несущей способности гидродинамической части были рассчитаны подшипники указанных выше параметров, предоставленных на рисунке 7.

ec(1)=0.1

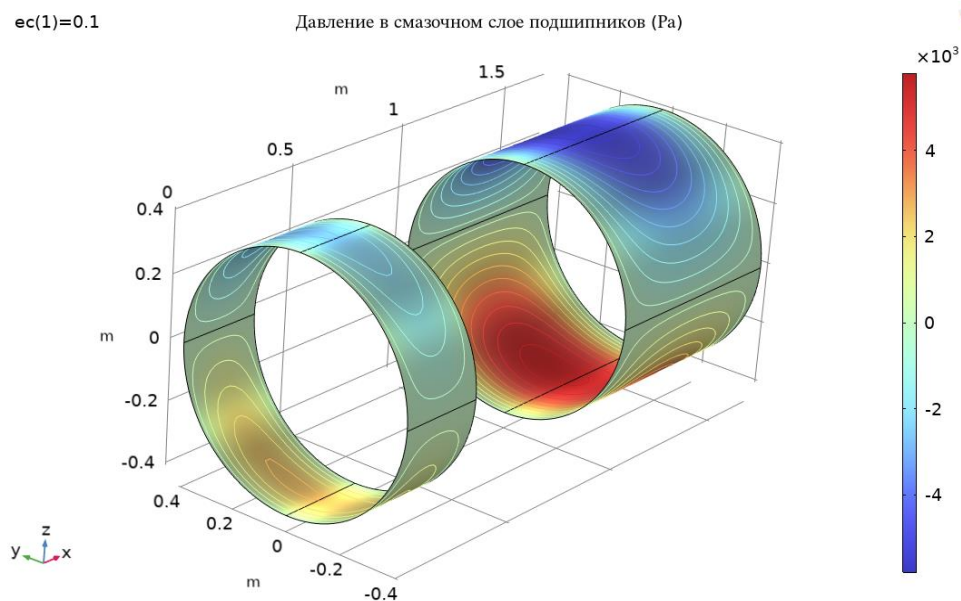


Рисунок 7 – Гидродинамические подшипники «Носовой и Кормовой»

График показывает распределение давления в смазочном слое обоих подшипников при относительном эксцентриситете 0,1.

#### Определение рабочей точки подшипников

Для того чтобы определить момент всплытия вала, были определены рабочие точки подшипников. На рисунке 8 указан расчёт рабочей точки подшипников магнитного и гидродинамического для кормового подшипника.

На графике показаны:

- синий линией – несущая способность магнитов в зависимости от эксцентриситета;
- зелёной линией – заложенный недостаток несущей способности магнитов;
- красной линией – несущая способность гидродинамической части подшипника.

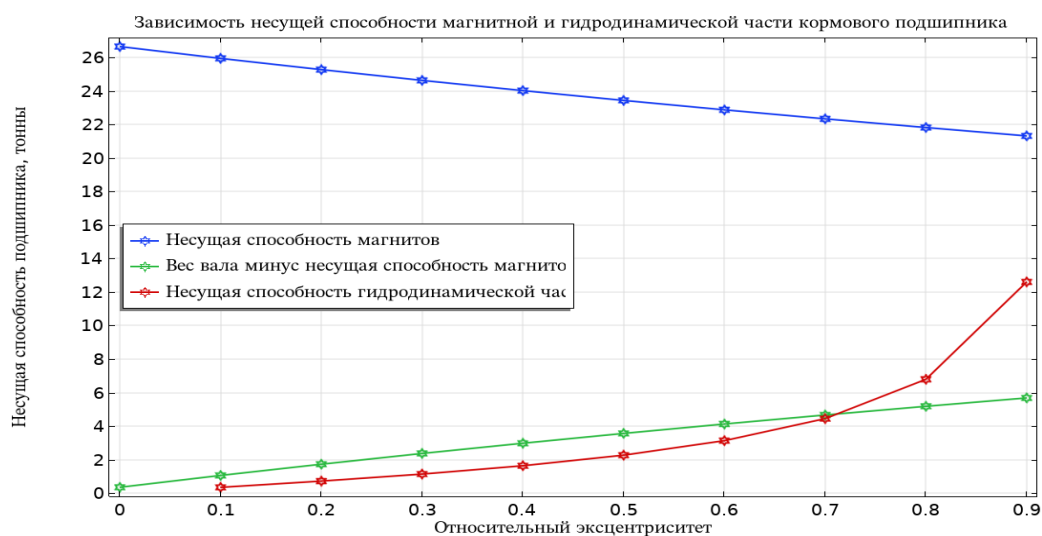


Рисунок 8 – Зависимость несущей способности магнитной и гидродинамической части «Кормового» подшипника

Таким образом вал будет всплывать в подшипнике до тех пор, пока красная линия не окажется ниже зелёной, в точке их пересечения работа подшипника установится.

**Рабочая точка кормового подшипника находится в районе относительного эксцентриситета 0,7.**

Всё тоже самое произойдёт и для носового подшипника, график которого представлен на рисунке 9. **Рабочая точка носового подшипника находится в районе относительного эксцентриситета 0,8.**

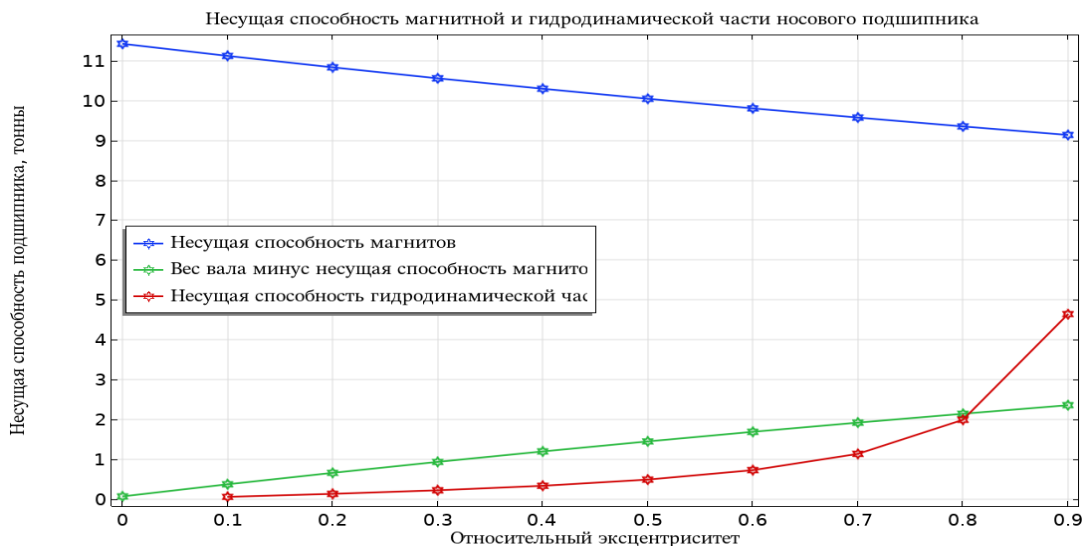


Рисунок 9 – Зависимость несущей способности магнитной и гидродинамической части «Носового» подшипника

Исходя из графика на рисунке 10, мощность трения в гидродинамической части подшипников менее киловатта. В кружок выделены рабочие точки подшипников.

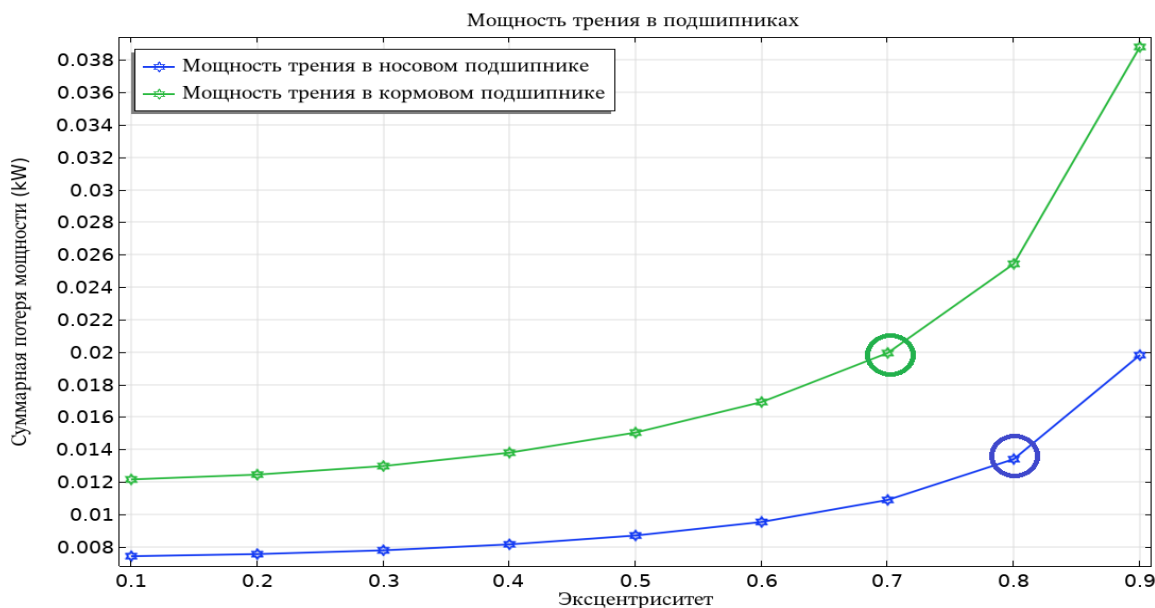


Рисунок 10 – Мощность трения в подшипниках



Потери на трения в обоих опорах составляют менее килоВатта. В связи с этим, КПД таких опор близок к единице (при мощности ГД 9000 кВт).

### **Заключение**

В работе были получены рабочие характеристики комбинированного пассивного магнитного подшипника. Полученные данные позволяют судить о возможности применения подшипников данной конструкции в дейдвудных устройствах морских судов.

### **Список литературы**

1 Будько А.А., Васильева О.В. Моделирование статических электромагнитных полей и расчет параметров в Comsol Multiphysics // Научное Обозрение. Технические Науки. – 2015. – № 1. – С. 91-91 URL: <https://Science-Engineering.Ru/Ru/Article/View?Id=865> (Дата Обращения: 14.01.2024).

2 Дидов В.В. Подшипниковый узел опор гребных валов судовых валопроводов. Патент № RU 2785377 С1.

3 Лапин Ю.А. Эксплуатационные особенности подшипниковых опор судовых дизелей. // Сборник материалов конференции «Военно-инженерное дело на Дальнем Востоке России» 17-21 января 2022 года. 2022. С. 22-28

4 Лапина Н.В. Анализ конструкций дейдвудных устройств и их подшипников. Преимущества и недостатки. // Сборник материалов конференции «Наука, техника, промышленное производство: история, современное состояние, перспективы» 18.12.2023 по 15.01.2024 года.

5 Солнцев, Ю. П. Специальные материалы в машиностроении / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин, В. Ю. Пиирайнен. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 664 с.

**Макавчик Илья Алексеевич**

## **ИСТОРИЯ И БУДУЩЕЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

*Военный учебный центр при Дальневосточном федеральном университете;  
Приморский край, г. Владивосток, ул. Экипажная 18 строение 1, 690001  
Научный руководитель – Козлов Павел Геннадьевич*

УДК 620.92

**Аннотация:** Возобновляемые источники энергии приобретают все большее значение в настоящее время, поскольку мир движется к более стабильному будущему и пытается уменьшить свою зависимость от конечных видов ископаемого топлива. В этой статье мы рассмотрим историю и будущее альтернативной электроэнергетики.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, зеленая энергетика, энергетика, история, альтернативная энергетика, низкоуглеродное, ветряки, солнечные панели, гидроэлектроэнергия, биоэнергия

# HISTORY AND FUTURE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

**Makavchik Ilya Alekseevich**

*Far Eastern Federal University, 690922, Primorsky Krai, Vladivostok, Russian Island, Ajax village, 10*

*Scientific supervisor – Pavel Gennadievich Kozlov*

**Abstract:** Renewable energy sources are becoming increasingly important nowadays as the world moves towards a more sustainable future and attempts to reduce its dependence on finite fossil fuels. In this article we will look at the history and future of alternative electricity.

**Keywords:** renewable energy, green energy, energy, history, alternative energy, low carbon, wind turbines, solar panels, hydroelectricity, bioenergy

История возобновляемых источников энергии насчитывает тысячи лет, с тех пор как люди использовали ветер и воду для питания своих мельниц и насосов. Однако по-настоящему они начали развиваться только после промышленной революции. В конце 19-го и начале 20-го веков гидроэлектроэнергия была главной формой возобновляемой энергии, обеспечивавшей электричеством дома и предприятия. По мере развития 20-го века появились и другие формы, такие как энергия ветра и солнца.

Нефтяной кризис 1970-х годов ознаменовал поворотный момент в истории возобновляемых источников. Мир остро осознал ограниченность запасов ископаемого топлива, и потребность в альтернативных источниках стала более острой. Правительства по всему миру начали инвестировать в возобновляемые источники, и исследования и разработки в этой области резко возросли.

Сегодня альтернативная энергетика является неотъемлемой частью мирового энергетического баланса. Основными видами являются энергия ветра, солнца, гидро- и биоэнергетика:

- Энергия ветра вырабатывается ветряными турбинами, преобразующими кинетическую энергию в электрическую;
- Солнечная вырабатывается фотоэлектрическими элементами, которые преобразуют солнечный свет в электричество;
- Гидроэлектроэнергия вырабатывается водяными турбинами, преобразующими кинетическую энергию падающей воды в электричество;
- Биоэнергия вырабатывается из органических веществ, таких как древесина или сельскохозяйственные отходы, в процессе сжигания.

Будущее альтернативной энергетике светлое. Достижения в области технологий делают их более эффективными и рентабельными, и мир движется к низкоуглеродному будущему. Ожидается, что возобновляемые источники будут играть все большую роль в мировом энергобалансе в ближайшие годы, поскольку мир продолжает отказываться от ископаемого топлива.

Ожидается, что в ближайшие годы отрасль альтернативной энергетике заметно вырастет, причем лидирующие позиции займут ветровая и солнечная. Предполагается, что энергия ветра станет крупнейшим источником возобновляемой энергии в мире, а солнечная, как ожидается, будет становиться

все более конкурентоспособной по сравнению с традиционными источниками. Также ожидается, что биоэнергетика будет играть все более важную роль по мере того, как мир движется к более устойчивому будущему.

Однако переход на возобновляемые источники не лишен своих проблем. Их стоимость по-прежнему выше, чем у ископаемого топлива, и существуют также опасения по поводу надежности, особенно в отношении непостоянства ветра и солнца. Существуют также опасения по поводу воздействия возобновляемых источников энергии на окружающую среду, особенно в отношении больших площадей земли, необходимых для ветряных и солнечных ферм.

В заключение, история и будущее возобновляемых источников энергии – это история непрерывного роста и инноваций. Альтернативная энергетика приобретает все большее значение в мировом энергобалансе и, как ожидается, будет играть еще большую роль в будущем. Несмотря на трудности, переход на альтернативные источники неизбежен, поскольку мир движется к более стабильному и низкоуглеродному будущему.

### **Список литературы**

1. Шкродюк И.Э. Тенденция развития возобновляемых источников энергии в России и мире. – 2010. – 88 с.

2. Мирошниченко А.А. Обзор мировых рынков ветроэнергетики за 2017 год / А. А. Мирошниченко, А. З. Кулганатов, Е. М. Гордиевский [и др.] // Ростовский научный журнал. – 2019. – № 3. – С. 289-304.

3. Мирошниченко, А. А. Внедрение возобновляемых источников энергии: Исторический аспект / А. А. Мирошниченко, А. З. Кулганатов, А. А. Ковалев // Вопросы развития современной науки и техники : Сборник статей международной научно-практической конференции, Мельбурн, 09 ноября 2020 года. – МЦНИР «Научный взгляд»: МЦНИР «Научный взгляд», 2020. – С. 13-32.

4. Фершалов Ю.Я. Моделирование, анализ и совершенствование газодинамических характеристик судовых осевых сверхзвуковых малорасходных турбинных ступеней // автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Дальневосточный федеральный университет. Владивосток, 2015

**Чумаков Максим Сергеевич**

## **ВИБРАЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ВИНТО-РУЛЕВЫХ КОЛОНОК МОЩНОСТЬЮ ОТ 7.5 ДО 15 МВт С ПОГРУЖНЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ**

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

*Научный руководитель: Минаев Александр Николаевич, д.т.н., профессор*

**Аннотация.** ПАО НК «Роснефть» и «General Electric» с 2016 г. реализуют проект по локализации проектирования и производства винто-рулевых колонок

мощностью до 22 МВт. Совместная работа компаний в рамках данного проекта способствует локализации в России производства морской техники современного уровня, соответствующей последним требованиям по обеспечению промышленной и экологической безопасности.

**Ключевые слова:** винто-рулевая колонка, механизм поворота, МП, ВРК, вибрационная диагностика, спектральный анализ.

### **Введение**

Винто-рулевая колонка (ВРК) - ключевой элемент системы электродвижения судна, обеспечивающий его ходовые и маневровые качества который является первым российским продуктом такого типа и обеспечит судостроительный комплекс «Звезда» оборудованием и технологиями мирового уровня. В данной статье рассматривается ВРК с погружным электродвигателем - безредукторная система, в которой электродвигатель расположен в корпусе ВРК под водой, вне корпуса судна. Сам корпус ВРК имеет возможность вращаться на 360 градусов, обеспечивая большую маневренность для судов по сравнению с обычными силовыми установками, что особенно важно при работе во льдах. Гребной винт установлен непосредственно на роторе электродвигателя, данное решение позволяет передавать вращающий момент с двигателя непосредственно на винт с минимальными потерями, без внедрения в конструкцию промежуточных валов или редукторов. Отказ от промежуточных элементов позволяет исключить потери энергии, а также увеличивает надежность. ВРК обеспечивают лучшую маневренность судна и большую скорость по сравнению с обычными движительными установками. Также данное техническое решение уменьшает объём машинного отделения, чем повышает грузместимость, что актуально для гражданского судостроения.



Рисунок 1 – Производство ВРК на заводе «Сапфир»

На текущий момент на заводе ВРК «Сапфир» локализовано производство:

- ВРК 7.5МВт применяемых для судов ледового класса Icebreaker 7. Обеспечивают судну скорость до 16 узлов и ледопробитость до 2 м (рис. 2)

- ВРК 15 МВт для ледокольных танкеров – газовозов СПГ ледового класса Arc7 (рис. 3)

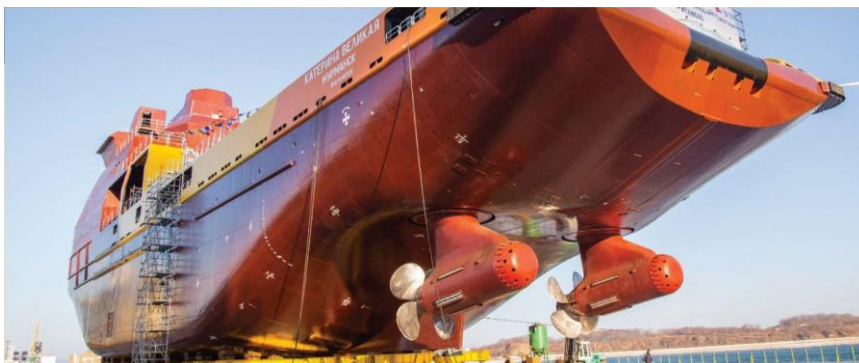


Рисунок 2 – Судно снабжения с ВРК 7.5МВт



Рисунок 3 – Танкер-газовоз СПГ с ВРК 15МВт

### **Концепция вибрационной диагностики ВРК**

В связи с освоением производства по выпуску винто-рулевых колонок (ВРК) на базе отечественного предприятия, определена потребность разработки и внедрения методов вибрационной диагностики для определения фактического технического состояния элементов ВРК на всех этапах жизненного цикла изделия [1].

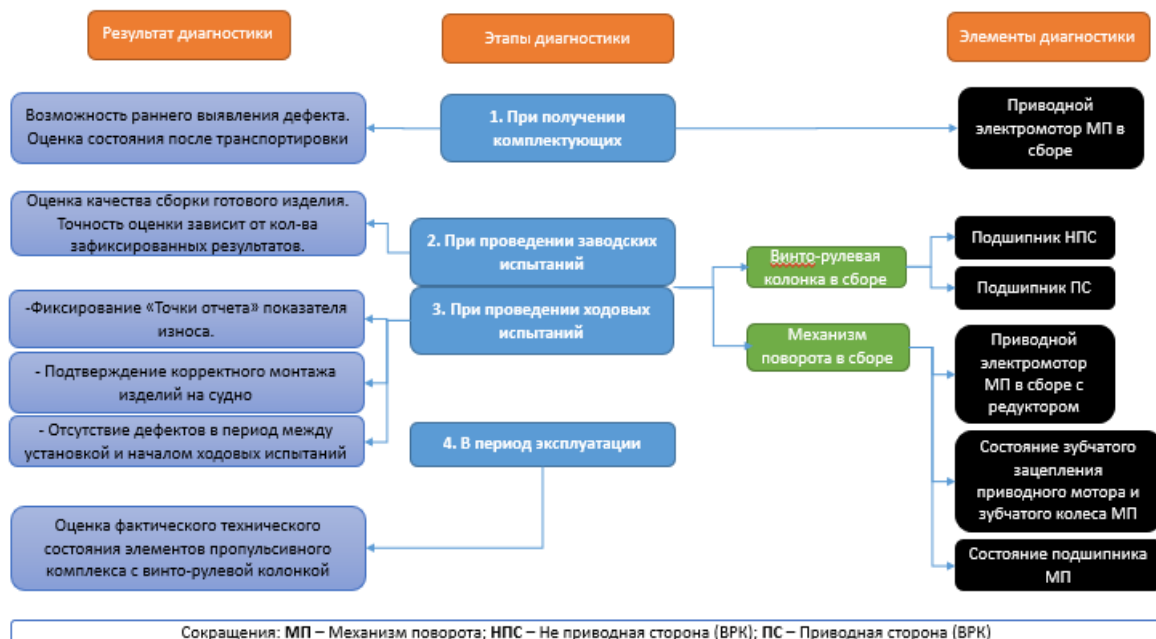


Рисунок 4 – Концепция вибрационной диагностики ВРК

Предлагается выполнять вибрационную диагностику на следующих этапах:

1. При получении комплектующих. Данный этап позволяет выявить дефекты на раннем этапе, еще до начала сборки ВРК.

2. При проведении заводских испытаний ВРК. На данном этапе вибрационную диагностику предлагается выполнять для подшипников ВРК, а также для приводного электромотора механизма поворота, зубчатого зацепления МП и опорно-поворотного подшипника МП. Цель вибрационной диагностики на данном этапе – выявление дефектов при выполнении сборочных операций. Для определения критериев для спектрального анализа проводится набор статистических данных на заводе изготовителе.

3. При проведении ходовых испытаний судна. На данном этапе вибрационную диагностику предлагается выполнять для узлов аналогично заводским испытаниям. Результатом диагностики на данном этапе является фиксация «точки отсчета» для дальнейшего мониторинга технического состояния изделия на протяжении всего периода эксплуатации. На текущий момент ходовые испытания не проводятся ввиду того, что суда находятся на этапе достройки. При проведении ходовых испытаний для первого судна будет проведена сравнительная оценка показаний, полученных при заводских испытаниях и после монтажа ВРК при проведении ходовых испытаний.

4. В период эксплуатации ВРК. Предлагается определить периодичность проведения замеров вибрации совместно с судовладельцем и следить за фактическим техническим состоянием сравнивая полученные результаты с «точкой отсчета».

Для определения «точки отсчета» необходимо выполнить референсные замеры вибрации на стадии финальных заводских испытаний, а также непосредственно перед началом эксплуатации на судне.

При проведении оценки результатов полученных при проведении замеров вибрации на этапе проведения заводских испытаний выявлено отсутствие нормативной базы, описывающей зависимость степени развитости дефекта от амплитуды вибрации на спектре, в связи с чем было принято решение о разработке испытательного стенда для возможности определения данной зависимости.

### Разработка лабораторного испытательного стенда

Основные задачи стенда согласно техническому заданию:

1. Возможность замены исследуемых подшипников; Данное требование возникает из-за необходимости нанесения повреждений на исследуемый подшипник для оценки вибрационного сигнала и определение зависимостей амплитуды от типа и развитости дефекта.

2. Возможность использовать различный типоразмер подшипников ( $d_{вн} = 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80\text{мм}$ ); Данный функционал позволит подтвердить актуальность полученных зависимостей для целого размерного ряда подшипника данной конфигурации.

3. Возможность исследования зависимости амплитуды от осевой нагрузки подшипника;

4. Возможность исследования зависимости амплитуды от степени развитости дефекта;

Текущий статус разработки стенда:

- Завершение этапа разработки концепции стенда
- Подбор комплектующих
- Составление плановой сметы
- Начало построения твердотельной модели

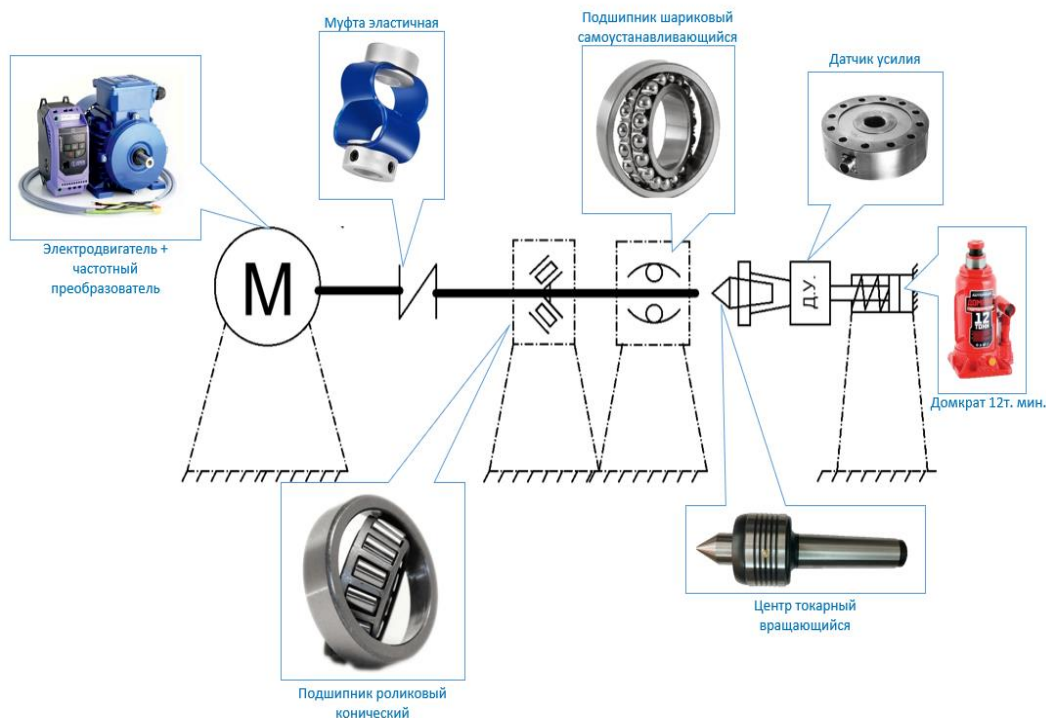


Рисунок 5 – Лабораторный испытательный стенд

Подшипники для проведения исследований зависимостей выбраны максимально приближенные по типу и конструкции к финальному исследуемому продукту – ВРК. Стенд предусматривает наличие конструкции и элементов, которые позволяют создавать осевое усилие на вал с подшипниками, имитирую нагрузку от тягового усилия гребного вала. Данная конструкция состоит из рамы, воспринимающей усилие от домкрата, датчика усилия с цифровым дисплеем для вывода данных, оснастки удерживающей вращающийся токарный центр, который передает осевое усилие от домкрата на торец вала не создавая при этом дополнительных потерь на трение в месте контакта с валом [2].

### **Заключение**

По результатам проведенной работы будет спроектирован и изготовлен стенд, на котором будут определены описанные выше зависимости, Будет разработана инженерная методик с учетом полученных зависимостей, по выходу на ходовые испытания судов оснащенными ВКР, изготовленными на Заводе ВРК «Сапфир». Это позволит провести «референсный» замер вибрации, предоставить инженерную методику по диагностике ВРК к внедрению на заводе изготовителе и судовладельцу.

### **Список литературы**

1. Правила классификации и постройки морских судов. Часть VII Механизмы. Статья 9.9 Нормы вибрации главных винто-рулевых колонок. Российский Морской Регистр Судоходства. СПб. 2023.
2. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.Ю. Азовцев, СПб: «СЕВЗАПУЧЦЕНТР» 2017, 159 с.



**Секция № 11. Экологическая безопасность строительства**  
**Руководитель секции: Петухов Валерий Иванович, д.т.н.,**  
**профессор Департамента природно-технических систем и**  
**техносферной безопасности Политехнического института**  
**(Школы) ДВФУ**

**Амелин Павел Андреевич**

**АНАЛИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКТИВНЫХ**  
**РЕШЕНИЙ ДЛЯ ВНЕШНЕГО УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ**  
**ЭЛЕМЕНТОВ**

*Белгородский государственный технологический университет*  
*им. В.Г. Шухова, кафедра строительства и городского хозяйства*  
*Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46*

*Научный руководитель: Римшин Владимир Иванович, член-корреспондент*  
*РААСН, д-р техн. наук, профессор*

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются различные композитные материалы и конструктивные решения для внешнего усиления железобетонных элементов. Освещены основные области применения технологии усиления железобетонных элементов композитными материалами на основе фибры (КМФ) по условиям работы конструкции. Проведено сравнение физико-механических характеристик стальных и композитных материалов, армированных полимерными волокнами. Анализ ряда свойств и параметров, показал, что наиболее рациональным является применение в качестве усиления внешним армированием композитных материалов на основе углеродных волокон.

**Ключевые слова:** композитные материалы на основе фибры (КМФ), усиление, полимерные волокна, матрица, углепластик.

Снижение несущей способности железобетонных элементов, поврежденных в результате воздействия агрессивной среды, значительно сокращает их реальный срок службы. Для ремонта и усиления строительных конструкций применяют композиты на основе волокон, изготавливаемые из микрофибр, омоноличенных в отверждающем полимере.

Композитные полимерные материалы представляют собой гетерогенные системы, состоящие из двух или более компонентов, различающихся по химическому составу, физико-механическим свойствам и разделенных в материале четко определенной границей [1]. Непрерывной фазой в композите является полимерная матрица, которую наполняют частицами различной формы и дисперсности (рис. 1).

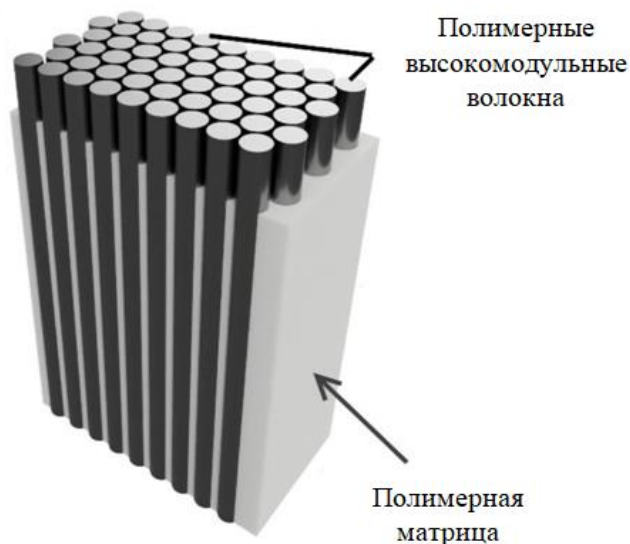


Рисунок 1. Состав композитного материала на основе полимерных волокон

Между матрицей и наполнителем создается адгезионное взаимодействие. Обычно наполнитель по сравнению с матрицей является более жестким и прочным материалом. Наибольший интерес представляет наполнитель в виде волокон, обладающих весьма высокими упругопрочностными характеристиками. Та или иная ориентация их в полимерной матрице придает материалу анизотропные свойства, которые можно варьировать в соответствии с распределением технологических и эксплуатационных напряжений.

Основными областями применения технологии усиления железобетонных элементов композитными материалами на основе фибры (КМФ) по условиям работы конструкции являются [2-5]:

- увеличение несущей способности изгибаемой железобетонной балки или плиты путем приклеивания композитного материала в растянутой зоне сечения;
- увеличение несущей способности сечения балок на действие поперечной силы установкой КМФ на приопорных участках конструкции, где существует риск возникновения и развития наклонных трещин;
- увеличение несущей способности и внецентренно сжатых колонн приклеиванием КМФ по периметру конструкции (охватывающее усиление). Наиболее близким по области и условиям применения усилению композитными материалами является широко и успешно применяемое уже более полувека усиление железобетонных конструкций стальными пластинами.

Широкую известность в современном композиционном материаловедении возник в первой половине XX столетия, когда появилось промышленное производство высококачественных стекловолоконистых материалов и фенолоформальдегидных смол. Позднее были созданы органические, углеродные, борные, карбидокремниевые и другие волокна с уникальными свойствами, а также широкий набор разнообразных полимерных связующих, разработаны промышленные методы изготовления полимерных композитов и

изделий. Главное их достоинство заключается в сочетании высоких упругопрочностных характеристик с малым весом. Удельная прочность однонаправленных армированных пластиков  $\sigma/\rho$  достигает 200 км, а удельный модуль упругости  $E/\rho$  – 10 000 км, что в несколько раз выше по сравнению с традиционными металлами. Благодаря этим свойствам, композитные полимерные материалы могут заменить традиционные материалы, такие как металлы, дерево и камень, во многих конструкциях и изделиях.

По степени ориентации наполнителя, анизотропии материала, композитные материалы на основе полимерных волокон имеют хаотическое расположение частиц и волокон (изотропная или квазиизотропная структура), однонаправленную ориентацию волокон (резко выраженная анизотропия), перекрестную, ортотропную ориентацию ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$  — заданная анизотропия), косоугольную ориентацию волокон под углами, отличающимися от  $90^\circ$  (заданная анизотропия). В строительстве преимущественно применяются композиты с однонаправленной ориентацией волокон.

Согласно статистической теории прочности, разработанной Гурландом и Розеном [6], разрушение однонаправленного композита при растяжении происходит путем накопления разрывов, дробления волокон в полимерной матрице. В этом случае теоретическая прочность волокон  $\sigma_p^T$  в композите равна прочности несвязанного пучка волокон «критической» длины  $l_{кр}$ :

$$\sigma_p^T = (\beta l_{кр} e)^{t/\beta} \quad (1)$$

На практике процесс дробления волокон не удается довести до конца. Обычно он прерывается возникновением и развитием магистральной трещины из-за перенапряжений в сечении, где накапливается наибольшее количество дефектов, или расслаиванием на границе раздела волокно-связующее. В то же время этот механизм является желаемым, так как позволяет получать наиболее высокие значения прочности, поскольку связан с диссипацией энергии для образования больших свободных поверхностей. Исходя из этого, при рассмотрении вопроса о реализации прочности волокон в композите целесообразно сопоставлять экспериментальные значения  $\sigma_{вол}$  с прочностью  $\sigma_p^T$ , которая могла бы быть при реализации механизма дробления волокон:

$$K_p = \sigma_{вол} / \sigma_p^T \quad (2)$$

Из-за того, что прочность и модуль упругости фибры намного превышает прочность и модуль упругости матрицы, механические свойства композита определяются площадью сечения волокон. Определено, что между количеством волокон и его механическими свойствами имеется соответствие, отраженное в таблице 1. При постоянной площади поперечного сечения волокна в композите, разрушающая нагрузка и предельная деформация практически не отличаются. Таким образом, при проектировании систем усиления принимаются в расчет берут только площадь сечения волокон, но не всего композита в целом.

Обычно распространенное название полимерных композитов соответствует при роде волокон — стекло-, угле-, органо-, боропластики и др. Для гибридных вариантов — стеклоуглепластики, органоборопластики и др.

Таблица 1

**Зависимость механических свойств композита от процентного содержания волокон**

Площадь поперечного сечения, мм <sup>2</sup>			Свойства КМФ <sup>1</sup>				Разрушающая нагрузка	
A <sub>f</sub>	A <sub>m</sub>	A <sub>c</sub>	V <sub>f</sub>	E <sub>c</sub> , МПа	R <sub>c</sub> , МПа	Предельная деформация, %	кН	%
70	0	70	100	220 000	4000	1.818	280	100
70	30	100	70	154 900	2844	1.823	282.4	100.9
70	70	140	50	111 500	2040	1.830	285.6	102

<sup>1</sup> - Физико-механические свойства компонентов композита: E<sub>f</sub> = 220 ГПа, R<sub>f</sub> = 4000 МПа, E<sub>T</sub> = 3 ЕПа, R<sub>m</sub> = 80 МПа.

Физико-механические характеристики основных типов композитных материалов, армированных полимерными фибровыми волокнами, представлены в табл. 2. В отличие от стали, не характеризуются пластическими свойствами, а их разрушение является хрупким. В связи с этим при проектировании усиления железобетонных конструкций внешним армированием из композитов накладываются ограничения на величину упругих деформаций бетона и стали.

Таблица 2

**Сравнение физико-механические характеристик стальных и композитных материалов, армированных полимерными волокнами**

Материал	Прочность на сжатие (МПа)	Плотность (г/см <sup>3</sup> )	Прочность на разрыв (МПа)	Удельный вес	Модуль упругости (ГПа)	Предельные деформации %
Сталь	500	7.70-8.10	350-450	7.8	200	0.2
КМФА	1700-2500	1.28-2.60	1720-2540	1.38-1.39	41-125	1.9-4.4
КМФС	600-1400	2.11-2.70	480-1600	1.5-2.5	35-51	1.2-3.1
КМФБ	1000-1600	2.15-2.70	1035-1650	2.7-2.89	45-59	1.6-3
КМФУ	1755-3600	1.55-1.76	1720-3690	1-1.1	120-580	0.5-1.9

где КМФА – композитные материалы на основе арамидных фибровых волокон; КМФС – композитные материалы на основе стеклянных фибровых волокон; КМФБ – композитные материалы на основе базальтовых фибровых волокон; КМФУ – композитные материалы на основе углеродных фибровых волокон.

При проектировании усиления строительных конструкций следует помнить о том, что прочность на сжатие композитных материалов меньше прочности на растяжение. КМФ при продольном сжатии может разрушиться от поперечных деформаций растяжения, потери устойчивости волокон в матрице либо от среза. Установлено, что в среднем прочность на сжатие составляет от прочности на растяжение для КМФУ - 78%, для КМФС - 55%, для КМФА - 20% [7].

Анализируя ряд свойств и параметров, можно прийти к заключению, что наиболее рациональным является применение в качестве усиления внешним армированием композитных материалов на основе углеродных волокон. К достоинствам таких материалов, по сравнению со стекловолоконными и арамидными, можно отнести: высокая прочность на растяжение, высокий модуль упругости, стойкость к воздействию щелочей, высокий коэффициент длительной прочности. К недостаткам можно отнести низкую огнестойкость, практически нулевой коэффициент температурного расширения и высокую стоимость.

### **Список литературы**

1. М.Л. Кербер, В. М. Виноградов, Г.С. Головкин и др. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб, пособие; под ред. А.А. Берлина. — СПб.: Профессия, 2008. — 560 с.

2. Gurland J., In «Fundamental Phenomena in the Materials Sciences», vol.4, Plenum Press, New York, 1967, p. 177—196.

3. Римшин В.И., Меркулов С.И., Есипов С.М. Бетонные конструкции, усиленные композитным материалом // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2018. № 2(35). С. 93-100. DOI 10.5281/zenodo.1286034.

4. Римшин В.И., Меркулов С.И. К вопросу усиления железобетонных конструкций внешним армированием композитным материалом // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. т. 20. № 5. С. 92-100.

5. Римшин В.И., Бикбов Р.Х., Кустикова Ю.О. Некоторые элементы усиления строительных конструкций композиционными материалами // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2005. № 10. С. 381-383.

6. Композитное усиление железобетонных изгибаемых элементов, поврежденных под воздействием хлоридной агрессивной среды / В. И. Римшин, Л.А. Сулейманова, П.А. Амелин, Н.В. Фролов // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1(20). С. 29-34. DOI 10.51608/26867818\_2023\_1\_29. EDN YUOKZK.

7. Ciampoli M. Probability-based durability design of reinforced concrete structures / M. Ciampoli, P. Giovenale, L. Petrichella // Proceedings of First International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management. - Barcelona, 2002. -P. 211-215.

### **References**

1. M.L. Kerber, V.M. Vinogradov, G.S. Golovkin. Polymer composite materials: structure, properties, technology: textbook; ed. by A.A. Berlin. — St. Petersburg: Profession, 2008. — 560 p.
2. Gurland J., in "Fundamental phenomena in the sciences of materials", volume 4, Plenum Press, New York, 1967, pp. 177-196.
3. Rimshin V.I., Merkulov S.I., Esipov S.M. Concrete structures reinforced with composite material // Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University. 2018. No. 2(35). pp. 93-100. DOI 10.5281/zenodo.1286034.
4. Rimshin V.I., Merkulov S.I. On the issue of strengthening reinforced concrete structures by external reinforcement with composite material // Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2018. vol. 20. No. 5. pp. 92-100.
5. Rimshin V.I., Bikbov R.H., Kustikova Yu.O. Some elements of reinforcement of building structures with composite materials // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2005. No. 10. pp. 381-383.
6. Composite reinforcement of reinforced concrete bendable elements damaged under the influence of chloride aggressive environment / V.I. Rimshin, L.A. Suleymanova, P.A. Amelin, N.V. Frolov // Expert: theory and practice. 2023. No. 1(20). pp. 29-34. DOI 10.51608/26867818\_2023\_1\_29. PUBLISHING HOUSE of the South Kazakhstan Region.
7. Champoli M. Probabilistic design of durability of reinforced concrete structures / M. Champoli, P. Giovenale, L. Petricella // Proceedings of the First International Conference on Maintenance, Safety and Bridge Management. Barcelona, 2002. pp. 211-215.

**Бобриков Александр Игоревич, Примчук Анатолий Григорьевич  
ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ МЕТАНА ИЗ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

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

*Научный руководитель: доцент, кандидат экономических наук Гулькова Светлана Геннадьевна*

УДК 622.272

**Аннотация:** в статье рассмотрены эффективные технологии добычи метана из угольных пластов на суше, в Арктике и в Мировом Океане. Описаны технологии, которые позволяют увеличить контактную площадь со слоем и улучшить условия добычи. Подчеркивается необходимость точного планирования и контроля процесса бурения из-за неоднородности угольных пластов и сложной геологической структуры.

**Ключевые слова:** метан угольных пластов, дегазация, газопроницаемость пластов, дебит скважины, гидравлический разрыв, проппант, кавернообразование, диоксид углерода.

**Bobrikov Alexander Ivanovich**

**TECHNOLOGIES FOR EXTRACTING METHANE FROM COAL SEAMS**

*Far Eastern Federal University, 690922, Primorsky Krai, Vladivostok, Russian  
Island, Ajax village, 10*

*Scientific supervisor: Associate Professor, Candidate of Economic Sciences Gulkova  
Svetlana Gennadievna*

**Abstract:** the article discusses effective technologies for extracting methane from coal seams on land, in the Arctic and in the World Ocean. The technologies that allow increasing the contact area with the layer and improving production conditions are described. The necessity of precise planning and control of the drilling process is emphasized due to the heterogeneity of coal seams and complex geological structure.

**Keywords:** coalbed methane, degassing, reservoir gas permeability, well flow rate, hydraulic fracturing, proppant, cavern formation, carbon dioxide.

Проблема добычи метана из угольных пластов (МУП) в Арктике и Мировом океане связана с несколькими аспектами.

Во-первых, угольные пласты в Арктике и на дне Мирового океана содержат значительные запасы метана, который является одним из самых сильных парниковых газов. Его выбросы в атмосферу могут способствовать усилению глобального потепления и климатических изменений.

Во-вторых, добыча метана из этих пластов включает в себя сложные технические и технологические задачи. Угольные пласты на дне океана находятся на больших глубинах, что требует использования специализированного оборудования и технологий для их извлечения. Кроме того, добыча метана может быть связана с риском негативного воздействия на окружающую среду и экосистемы, так как процесс может привести к выбросу других газов и загрязнению воды.

Технологии добыча МУП в Арктике и мировом океане, как нетрадиционного источника природного газа, технически отличается от добычи МУП на суше. На рис. 1 представлены основные методы извлечения метана из газоносных пластов угля на суше [1].

На данный момент в мире существует три способа разработки метана из угольных пластов [2]:

- дегазация угольных шахт, которая обеспечивает безопасность работы и снижает объемы метана;
- добыча метана с применением газопроницаемости пластов вне полей, действующих или проектируемых шахт путем бурения с поверхности специальных скважин;
- добыча метана из закрытых шахт.

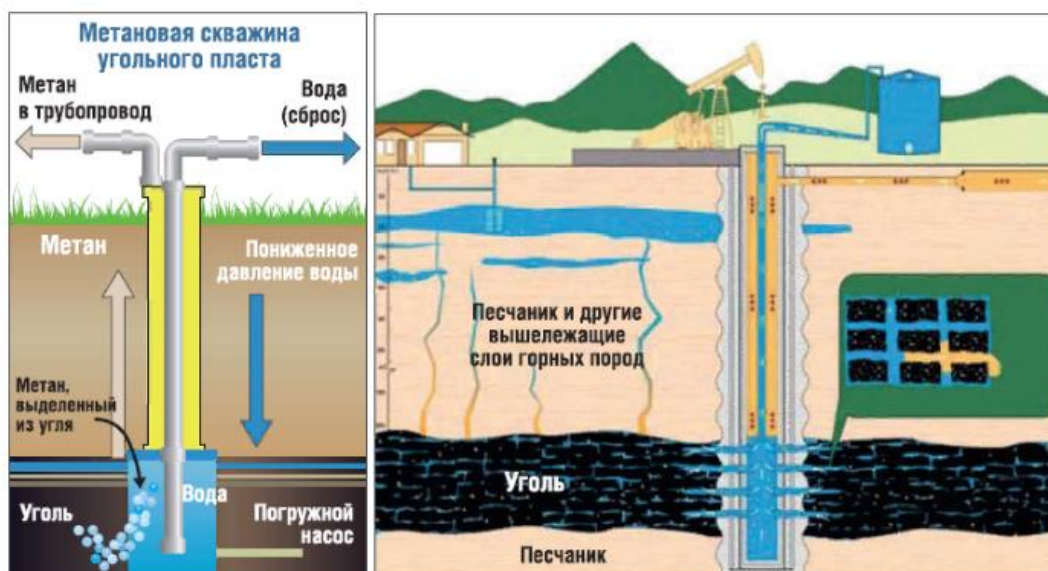


Рисунок 1. Методы извлечения метана из газоносных пластов угля на суше

Для дегазации угольных пластов применяется шахтный способ, который является неотъемлемой частью технологии подземной добычи угля. Однако объемы добычи метана ограничены, и газ в основном используется угледобывающими предприятиями в районе угледобычи.

С увеличением глубины угольных пластов содержание газа в них возрастает. Однако газопроницаемость таких пластов уменьшается, что приводит к снижению объема добычи метана из скважин. В связи с этим требуются специальные методы для повышения выхода газа из угольных пластов.

Увеличение дебита отдельных скважин возможно благодаря применению методов интенсификации притока газа, улучшению техники вскрытия пласта, совершенствованию оборудования, используемого при эксплуатации скважин. В настоящее время существуют четыре основных метода воздействия на пласты, которые перечислены ниже в порядке убывания частоты их использования [3]:

### 1. Метод гидравлического разрыва пластов.

Самый распространенный метод воздействия на угольные пласты. Он заключается в создании трещин в пласте путем внедрения специальных жидкостей под высоким давлением. Это позволяет увеличить проницаемость пласта и улучшить приток газа к скважине. В процессе гидроразрыва пласта в скважину подается жидкость, которая создает давление на стенки скважины и пласта, вызывая разрушение горных пород и формирование трещин. После этого в трещины вводят пропанты - специальные прочные материалы, которые предотвращают закрытие трещин и позволяют газу свободно проникать к скважине. Этот метод позволяет значительно увеличить дебит скважин и повысить объем добычи газа из угольных пластов. Гидравлический разрыв используется в более чем 80% действующих скважин для добычи метана во всем мире. Благодаря возможности применения этой технологии в различных



пластовых условиях ее использование рекомендуется как основной метод при реализации проекта добычи метана из угольных пластов в Кузбассе.

## **2. Метод кавернообразования в необсаженном стволе скважины.**

Для завершения скважин, используемых для добычи метана из угольных пластов, применяется эффективная технология, называемая пневмогидродинамическим воздействием с кавернообразованием. Этот метод включает в себя периодическое введение воздуха или водо-воздушной смеси в необсаженный ствол скважины, за которым следует быстрое снижение давления. Таким образом, в угольном пласте могут образовываться трещины растяжения, которые не начинаются от ствола скважины и могут быть ориентированы в любом направлении. Кроме того, происходит расширение ствола скважины из-за обрушения угля с низкой прочностью вследствие гидродинамических эффектов. Для достижения этого процесса необходимо вводить воздух или водо-воздушную смесь в течение 1-6 часов при расходах от 60 до 100 м<sup>3</sup>/мин и давлении на поверхности до 15 МПа [4].

## **3. Метод горизонтального бурения пласта.**

Метод горизонтального бурения также может применяться для добычи метана из угольных пластов. В этом случае, горизонтальные участки скважины прокладываются в угольном пласте, что позволяет увеличить контактную площадь со слоем и повысить добычу метана.

Горизонтальное бурение в угольных пластах имеет ряд преимуществ. Оно позволяет добиться более равномерного дренирования пласта и увеличить скорость добычи метана. Кроме того, горизонтальные скважины могут быть проложены на большие расстояния, что позволяет эффективно использовать ресурс угольного пласта.

Однако, метод горизонтального бурения в угольных пластах также имеет свои особенности и сложности. Угольные пласты могут быть неоднородными и иметь сложную геологическую структуру, что требует точного планирования и контроля процесса бурения. Кроме того, возможно образование трещин и провалов в угольных пластах, что может привести к потере метана и ухудшению условий добычи [5].

## **4. Инъекция в угольные пласты диоксида углерода и азота.**

Технология ECBM (Enhanced Coalbed Methane), разработанная компаниями Amoco, Meridian и другими, предлагает значительное увеличение коэффициента извлечения метана из угольных пластов путем искусственного поддержания энергии пласта. Это достигается путем инъекции азота или диоксида углерода в пласт, что снижает парциальное давление адсорбированного метана, способствуя его десорбции и добыче, при этом поддерживая общее давление в коллекторе. Лабораторные тесты показали, что такой подход может обеспечить извлечение до 90% первоначального количества газа в угольных пластах, что значительно превышает обычный коэффициент извлечения в 30-70% при традиционном снижении давления в коллекторе [5].

Также существует несколько методов добычи МУП в Арктике и на дне мирового океана.

Один из методов — это субморская добыча, которая осуществляется с помощью специальных платформ и оборудования, размещенных на дне океана. Этот метод предполагает бурение скважин в угольных пластах и извлечение метана с помощью насосов. При этом, метан может быть транспортирован по морскому дну до береговой линии или непосредственно на судне для дальнейшей переработки.

Другой метод — это подводная добыча метана с использованием подводных роботов и систем подводной добычи. Этот метод предусматривает прокладку трубопроводов на дне океана для транспортировки метана до береговой линии или до специальных платформ для его переработки.

Также существует метод гидратной добычи метана, который основан на использовании гидратов метана - природных соединений, в которых метан находится в замороженном состоянии. Для извлечения метана из гидратов применяются специальные технологии, такие как нагревание или снижение давления. Однако этот метод до сих пор находится на стадии исследований и экспериментов.

Важно отметить, что все эти методы добычи метана из угольных пластов в Арктике и на дне океана являются сложными и требуют использования специализированного оборудования и технологий. Кроме того, они также связаны с рисками для окружающей среды и безопасности, поэтому необходимо проводить дополнительные исследования и разработки, чтобы найти наиболее эффективные и безопасные способы добычи метана из этих регионов.

Технологии добычи метана из угольных пластов, включая метод горизонтального бурения, являются эффективными способами повышения добычи метана. Они позволяют увеличить контактную площадь со слоем и улучшить условия добычи. Однако, эти технологии требуют точного планирования и контроля процесса бурения, так как угольные пласты могут быть неоднородными и иметь сложную геологическую структуру.

### **Список литературы**

1. Шакиров Н.И. Использование метана угольных пластов для регионального газоснабжения / Н.И. Шакиров. - электронный // Деловой журнал «Neftegaz.ru». – 2020. – URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/dobycha/652268-ispolzovanie-metana-ugolnykh-plastov-dlya-regionalnogo-gazosnabzheniya/> (дата обращения: 17.12.2023).

2. Колесник Ю.И. Современные технологии добычи метана в Китае из угольных пластов тенденции пластов. Тенденции и перспективы развития / Ю. И. Колесник, Ч. Яньцзе. – электронный // Байкальский государственный университет, г. Иркутск. – 2022. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tehnologii-dobychi-metana-v-kitae-iz-ugolnykh-plastov-tendentsii-i-perspektivy-razvitiya> (дата обращения: 17.12.2023).

3. Xu J. Review of Unconventional Natural Gas Liquefaction Processes / J. Xu, W. Lin, C. Xi, H. Zhang. - электронный // Institute of Refrigeration and Cryogenics. – 2022. – URL:

[https://www.researchgate.net/publication/362527575\\_Review\\_of\\_Unconventional\\_Natural\\_Gas\\_Liquefaction\\_Processes](https://www.researchgate.net/publication/362527575_Review_of_Unconventional_Natural_Gas_Liquefaction_Processes) (дата обращения: 17.12.2023).

4. Боброва К.А. Основные методы и технологии интенсификации газоотдачи угольных пластов / К. А. Боброва. – электронный // Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. – 2021. URL: [https://studbooks.net/1756924/geografiya/osnovnye\\_metody\\_tehnologii\\_intensifikatsii\\_gazootdachi\\_ugolnyh\\_plastov](https://studbooks.net/1756924/geografiya/osnovnye_metody_tehnologii_intensifikatsii_gazootdachi_ugolnyh_plastov) (дата обращения: 17.12.2023).

5. Гайворонский А.И. Техничко-технологические решения проектов сжижения метана угольных пластов / А. И. Гайворонский, М. В. Горбунов. – электронный // АО «Газпром Промгаз», Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2023. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehniko-tehnologicheskie-resheniya-proektov-szhizheniya-metana-ugolnyh-plastov> (дата обращения: 17.12.2023).

6. Фершалов Ю.Я., Коршунов В.Н., Цыганкова Л.П. Совершенствование проточной части осевых малоразмерных газовых турбин // В книге: 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». Тезисы 19-ой Международной конференции. Москва, 2020. С. 198-199.

**Головатенко Екатерина Леонидовна**  
**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИЙ РЕГИОНА**  
**ПО КАЧЕСТВУ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД**

*ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», кафедра техносферной безопасности. РФ, ДНР, г. Макеевка,  
ул. Державина 2, 286123*

**Аннотация:** В статье описана деятельность угольной промышленности Донбасса и влияние ее на природные воды региона. Дана оценка качества поверхностных вод Восточного Донбасса. Представлены критические показатели загрязненности воды.

**Ключевые слова:** угольная промышленность, природные воды, загрязняющие вещества, минерализация.

Подземная добыча угля на территории Донбасса производится уже более 200 лет. Шахтные комплексы изменяют до неузнаваемости естественные ландшафты. На месте естественных, пусть и не очень богатых растительностью, степных ландшафтов образуются техногенные, изобилующие прудами-отстойниками, производственными зданиями, террикониками. Исторически сложилось так, что объекты угольной промышленности в Донецком бассейне являются градообразующими, а практически весь регион превратился в перенасыщенную антропогенную зону. Любое проявление природной или техногенной опасности может стать катастрофическим. Именно поэтому защита и восстановление окружающей среды в регионе, обеспечение экологической безопасности являются чрезвычайно актуальными [1].

Особое внимание как с экологической, так и с социальной и экономической точек зрения привлекает состояние поверхностных и подземных вод на углепромышленных территориях. Природные воды подвержены существенному влиянию угледобычи:

- при шахтной добыче из-за откачки подземных вод из шахт существенно меняются режим и баланс подземных вод;

- в горных выработках формируются техногенные высокоминерализованные шахтные воды;

- откачанные шахтные воды после недостаточной очистки попадают в поверхностные водотоки, неся большое количество растворенных веществ, главным образом тяжелых металлов;

- на земной поверхности после обогащения угля формируются отвалы пустой породы, которая легко окисляется при взаимодействии с атмосферным воздухом и выпадающими осадками. А высокотоксичные продукты окисления смываются в реки, попадают в почвы, просачиваются в грунтовые воды.

Установлено, что на долю угольной промышленности приходится 55–70 % всех веществ, загрязняющих водоемы региона. Значительное загрязнение дают шахтные воды. За последние 50 лет их сброс в речную сеть Донбасса увеличился с 1,5 до 25,5 м<sup>3</sup>/с, а солевойнос – с 260 до 6900 т/сут, т.е. в 27 раз.

Такое влияние испытали, в частности, малые реки Восточного Донбасса, относящиеся к бассейнам рек Тузлов и Северский Донец. Минерализация речных вод варьирует в широких пределах – от 876 до 6094 мг/дм<sup>3</sup>. В анионном составе вод доминируют сульфат-ионы, в катионном – натрий и калий. Важно отметить, что речные воды бассейна Тузлова заметно (в 1,4–2,0 раза) превосходят водотоки бассейна Северского Донца по содержанию практически всех макрокомпонентов. Это может свидетельствовать о неодинаковой техногенной нагрузке, которую испытывают речные экосистемы этих двух бассейнов [2].

Изменение химического состава речных вод не могло не отразиться на их качестве. В таблице 1 приведены обобщенные за период 2016–2022 гг. характеристики качества поверхностных вод (критические показатели загрязненности воды (КПЗ) и класс качества) Восточного Донбасса в пределах бассейнов Тузлова и Северского Донца.

Как видно из данных таблицы 1 для большинства рек в бассейне Тузлова (Атюхта и Кадамовка, Тузлов, нижние участки рек Большой и Малый Несветай, Аюта) качество воды остается стабильно низким, соответствуя 5-му классу. Из широкого перечня загрязняющих веществ чаще всего в разряд КПЗ в бассейне Тузлова попадали такие ингредиенты, как Na<sup>+</sup>, SO<sup>2+</sup>, Fe, Al, Mn, Cu, Sr, реже ионы магния, минерализация воды и в единичных случаях – Zn и Be.

В бассейне Северского Донца для половины исследуемых рек (Большая Гнилуша, нижние участки рек Кундрючья и Лихая) качество воды также остается стабильно низким (5-й класс качества). Здесь в перечне КПЗ чаще всего

оказывались такие загрязняющие вещества, как  $\text{SO}_4^{2-}$ , Fe, Al, Mn, Cu, Sr, в половине случаев – Be и в единичных случаях ионы  $\text{Na}^+$  и  $\text{Mg}^{2+}$  [3].

Таблица 1

Характеристика качества поверхностных вод Восточного Донбасса (2016 – 2022 гг.)

Река	КПЗ воды	Класс качества	Степень загрязненности воды
<b>Бассейн Тузлова</b>			
Тузлов	$\text{Na}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{SO}_4$ , Fe, Al, Mn, Cu, $\text{Sr}^{2-}$	5-й	Стабильно экстремально грязная
Большой Несветай	$\text{Na}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{SO}_4$ , Fe, Al, Mn, Cu, $\text{Sr}^{2-}$	5-й	Стабильно экстремально грязная
Малый Несветай	$\text{Na}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{SO}_4$ , Fe, Al, Mn, Cu, $\text{Sr}^{2-}$	5-й	Стабильно экстремально грязная
Грушевка	$\text{Na}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{SO}_4$ , Fe, Al, Mn, Cu, $\text{Sr}^{2-}$	5-й	Стабильно экстремально грязная
Аюта	$\text{Na}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{SO}_4$ , Fe, Al, Mn, Cu, $\text{Sr}^{2-}$	5-й	Стабильно экстремально грязная
Атюхта	$\text{Na}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{SO}_4$ , Fe, Al, Mn, Cu, $\text{Sr}^{2-}$	5-й	Стабильно экстремально грязная
Кадамовка	$\text{Na}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{SO}_4$ , Fe, Al, Mn, Cu, $\text{Sr}^{2-}$	5-й	Стабильно экстремально грязная
<b>Бассейн Северского Донца</b>			
Северский Донец	$\text{SO}_4$ , Fe, Al, Be, Mn, Cu, $\text{Sr}^{2-}$	4 «в, г»	Стабильно очень грязная
Большая Каменка	$\text{SO}_4$ , Fe, Al, Be, Mn, Cu, $\text{Sr}^{2-}$	5-й – 4 «б, в»	Переходящая от экстремально грязной к грязной и очень грязной
Малая Каменка	$\text{SO}_4$ , Fe, Al, Be, Mn, Cu, $\text{Sr}^{2-}$	4 «б» – 5-й	Переходящая от грязной к экстремально грязной
Калитва	$\text{SO}_4$ , Fe, Al, Be, Mn, Cu, $\text{Sr}^{2-}$	4 «в» – 4 «а, б»	Переходящая от очень грязной к грязной
Лихая	$\text{SO}_4$ , Fe, Al, Be, Mn, Cu, $\text{Sr}^{2-}$	4 «в» – 5-й	Переходящая от очень грязной к экстремально грязной
Быстрая	$\text{SO}_4$ , Fe, Al, Be, Mn, Cu, $\text{Sr}^{2-}$	4 «а, б»	Стабильно грязная и очень грязная
Кундрючья	$\text{SO}_4$ , Fe, Al, Be, Mn, Cu, $\text{Sr}^{2-}$	5-й	Стабильно экстремально грязная
Большая Гнилуша	$\text{SO}_4$ , Fe, Al, Be, Mn, Cu, $\text{Sr}^{2-}$	5-й	Стабильно экстремально грязная

## Список литературы

1. Никаноров, А.М. Мониторинг водных объектов в пределах техногенно нарушенных геосистем углепромышленных районов / А. М. Никаноров, В.М. Иваник, О.С. Решетняк. – Текст: непосредственный // Геоэкологические проблемы углепромышленных территорий : материалы научной конференции с международным участием. – Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2015. – С. 250-262.
2. Влияние угледобычи в Донбассе на поверхностные и подземные воды / Г.Ю. Склярченко, В.Е. Закруткин, А.Р. Зубов, О.С. Решетняк; под общей редакцией Г.Ю. Склярченко; Луганский национальный университет им. В. Даля. – Луганск, 2017. – 195 с.; 22 см. – Библиогр.: с. 100-107. – 20 экз. – ISBN: 1026-2237. – Текст: непосредственный.
3. Montserrat, A. Environmental impact of mine drainage and its treatment on aquatic communities /A. Montserrat. – Text: direct // School of Geography, Earth and Environmental Sciences University of Birmingham. – Birmingham, 2015. – Vol. 357. – P. 34-43.

**Дабеева М.А.<sup>1</sup>, Итигилов Г.Б.<sup>1</sup>, Сысуев В.М.<sup>1</sup>, Лхасаранов С.А.<sup>1</sup>, Хахинов В.В.<sup>2</sup>, Урханова Л.А.<sup>1,3</sup>**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕР-ПЕСЧАНЫХ КОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ЭКСТРУЗИОННО- ПРОКАТНО-ФОРМОВОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ**

<sup>1</sup> *Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В*

<sup>2</sup> *Бурятский государственный университет, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а*

<sup>3</sup> *Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, 64*

## **Аннотация**

Представлены результаты исследований полимер-песчаных композитов, полученных с помощью экструзионно-прокатно-формовочной технологии (ЭПФТ), которая позволяет получать композитные материалы с различным содержанием наполнителя, повысить производительность в сравнении с существующими методами. Такая технология предоставляет возможность использовать полимерные отходы для получения композиционных материалов в качестве строительных материалов различного назначения, таких как гидроизоляционные материалы, тротуарную плитку, полимербетон. В качестве исходных компонентов были использованы полиэтилен низкого и высокого давления и кварц-полевошпатовый песок. Технологический процесс позволяет получать изделия стойкие к воздействию агрессивных сред без потери физико-механических и прочностных свойств, удешевить стоимость производства композитов. Проведены экспериментальные исследования по изучению

термомеханических и физико-механических свойств и оптимизированы составы композиционных материалов.

**Ключевые слова:** полимер-песчаные композиты, полиэтилен низкого и высокого давления, экструзионно-прокатно-формовочная технология

### **Введение**

В последние годы немаловажным фактором в промышленной индустрии является угроза загрязнения окружающей среды полимерными отходами, поскольку их переработка для вторичного использования, учитывая большое разнообразие видов полимерных материалов, является трудоемкой задачей. Для этого, как правило, применяют предварительную подготовку, что дает возможность использовать отходы различных полимерных материалов для получения вторичных композиционных материалов [1-5].

Возможности практического применения композиционных полимерных материалов в строительстве обоснована такими факторами, как их повышенная стойкость к агрессивным средам, широкий диапазон прочностных показателей, высокие показатели износостойкости, устойчивость к резким перепадам температур, химическая стойкость, неограниченный набор фактур, относительная дешевизна изделий [6-11].

Целью исследований является возможность получения полимер-песчаных композитов с применением экструзионно-прокатно-формовочной технологии из вторичного полимерного сырья.

### **Исходные материалы**

Для получения образцов полимер-песчаных композитов (ППК), в качестве отходов вторичного полимерного сырья, были использованы полиэтилен низкого давления (ПНД) и полиэтилен высокого давления (ПВД) с кварц-полевошпатовым песком. Композиты получали с помощью экструзионно-прокатно-формовочной технологии (ЭПФТ). Содержание по массе минерального наполнителя в композитах варьировалось в пределах от 10 до 50%.

В экспериментах использовали ПВД в виде гранул, который применяется в различных сферах, а их отходы представляют опасность для здоровья человека и окружающей среды. Производство и реализация ПВД контролируются следующими государственными стандартами: согласно ГОСТу 18599-2001, получены при давлении 1000-3000 кг/см<sup>2</sup> с плотностью 0,925 г/см<sup>3</sup> и температурой плавления 105-110°С. Гранулы практически не поглощают воду, коэффициент водопоглощения в пределах 0,02% за месяц. Химические свойства ПВД: при горении имеет голубоватый оттенок, излучает мало света, не взаимодействует со щелочью, кислотой, не растворяется в воде, но подвержен термостарению.

Вторым типом гранул, использованных для приготовления композитного материала, были гранулы ПНД. ПНД по сравнению с ПВД более пластичен, достаточно прочный и устойчивый к ряду негативных внешних воздействий. Материал обладает рядом характеристик, ключевыми из которых являются: плотность 0,95–0,96 г/см<sup>3</sup>, минимальная рабочая температура до -70°С,

относительное удлинение при разрыве не менее 200%, максимальная температура 120-150°C, оптимальная температура при длительном использовании в пределах 40-50°C. Структура ПНД позволяет экструдировать пленку намного меньшей толщины.

ППК получали на лабораторной экструзионно-прокатно-формовочной установке. Данная технология позволяет существенно повысить производительность в сравнении с существующими методами изготовления ППК [12-13].

Для исследования термомеханических свойств полученных материалов использовали динамический механический анализатор DMA 242C (Netzsch, Германия) преимущественно в режиме изгибной моды деформации при фиксированной частоте 1 Гц. Температурный диапазон 20-200°C, скорость нагревания 5°/мин. Размеры образцов составляли 20×10×5 мм.

Прочность при разрыве образцов на основе ПНД и ПВД определяли по ГОСТу 11262-80 на универсальной испытательной машине Instron 3367 (США), при скорости подвижных захватов 200 мм/мин.

### **Результаты и обсуждение**

При воздействии постепенно возрастающих механических нагрузок исследуемые полимерные композиты на основе термопластичных ПНД и ПВД с различным содержанием минерального наполнителя сначала деформируются как обычные твердые тела: деформация носит обычный упругий характер, что обусловлено изменениями валентных углов, длин связей и межмолекулярных расстояний. Область высокоэластичного материала для всех образцов мала и при практически постоянной нагрузке наблюдается незначительное удлинение. Деформация материала завершается его разрушением.

ППК представляют собой искусственные материалы сложной структуры, приобретенный комплекс новых свойств, не присущий исходным веществам, но зависит от полимерного компонента. При подборе состава ППК была проведена оптимизация их состава по критерию получения низкой пористости композита и достижения высоких физико-механических показателей [14]. Для определения оптимальных прочностных характеристик, которые удовлетворили бы требования потенциальных потребителей, необходимо варьировать количественное содержание песка в композите ПНД/песок (60/40, 80/20) и ПВД/песок (80/20).

Значения прочности материалов в точке максимальной нагрузки и деформации при растяжении в точке максимальной нагрузки, а также средние значения приведены в табл. 1.

Как следует из данных табл. 1, минимальное значение прочности при растяжении наблюдается у композита состава ПВД/песок (80/20) и составляет 7,62 МПа. Прочность при растяжении у композитов на основе ПНД значительно выше, однако деформация при растяжении (удлинение) у композита на основе ПВД выше. Это обусловлено более высокой температурой переработки (экструзии) ПНД, которая составляла 220°C, тогда как температура экструзии ПВД не превышала 180°C.



Значения прочности материалов

Состав ППК, % по массе	Прочность при растяжении, $\delta_p$ , МПа		Деформация при растяжении $\epsilon$ , %	
	Максимальное значение	Среднее значение	Максимальное значение	Среднее значение
ПНД/песок (80/20)	14,72	12,82	16,26	14,72
ПНД/песок (60/40)	12,33	11,34	12,33	11,34
ПВД/песок (80/20)	8,90	7,62	34,55	22,66

Более высокая температура экструзии ПНД приводит к частичной термоокислительной деструкции материала, и как следствие к структурированию макромолекул. Образование межмолекулярных связей повышает прочностные показатели, но приводит к снижению деформации при растяжении.

Эксперименты, проведенные в термокамере при перепаде температур от  $-50$  до  $+50^\circ\text{C}$  в течение 8 ч, показали, физико-механические и прочностные показатели практически не изменились.

На рис. 1, в качестве примера, приведена характерная зависимость динамического модуля упругости  $E'$  ПНД с 20% содержанием минерального наполнителя.

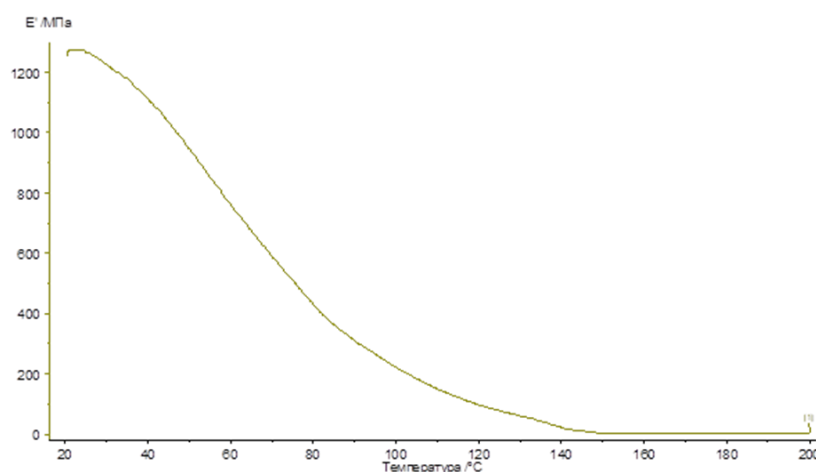


Рисунок 1. Зависимость динамического модуля упругости от температуры для композита состава ПНД/песок (80/20)

Наблюдается значительное падение модуля упругости в температурном интервале от 20 до  $150^\circ\text{C}$ . Основываясь на литературных данных [15-16] можно говорить, что релаксационный переход вызван переходом композита состава ПНД/песок из стеклообразного в высокоэластическое и термопластичное состояние.

Для определения характеристической температуры стеклования была изучена температурная зависимость динамического модуля потерь (тангенс угла механических потерь) от модуля упругости  $E'(T)$  на примере композита состава ПНД/песок (80/20) (рис. 2).

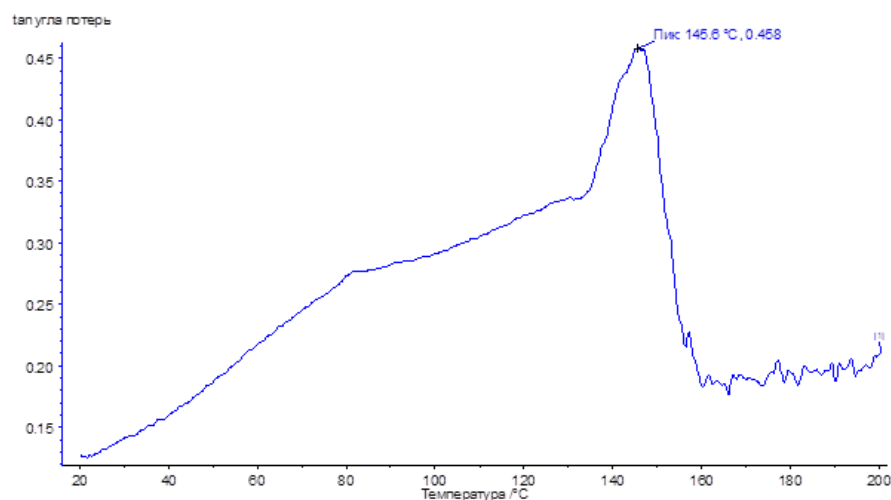


Рисунок 2. Зависимость тангенса угла механических потерь от температуры для композита состава ПНД/песок (80/20)

Релаксационный максимум при 145,6°С соответствует стеклованию (сегментальные механические потери).

Анализ температурных зависимостей модуля упругости  $E'$  и тангенса угла механических потерь  $\text{tg}\delta$  для образцов ПНД и ПВД с различным содержанием минерального наполнителя позволяет выделить более высокий уровень исходного модуля упругости (при 20°С более 1300 МПа) для ПНД с 20% содержанием наполнителя (рис. 3).

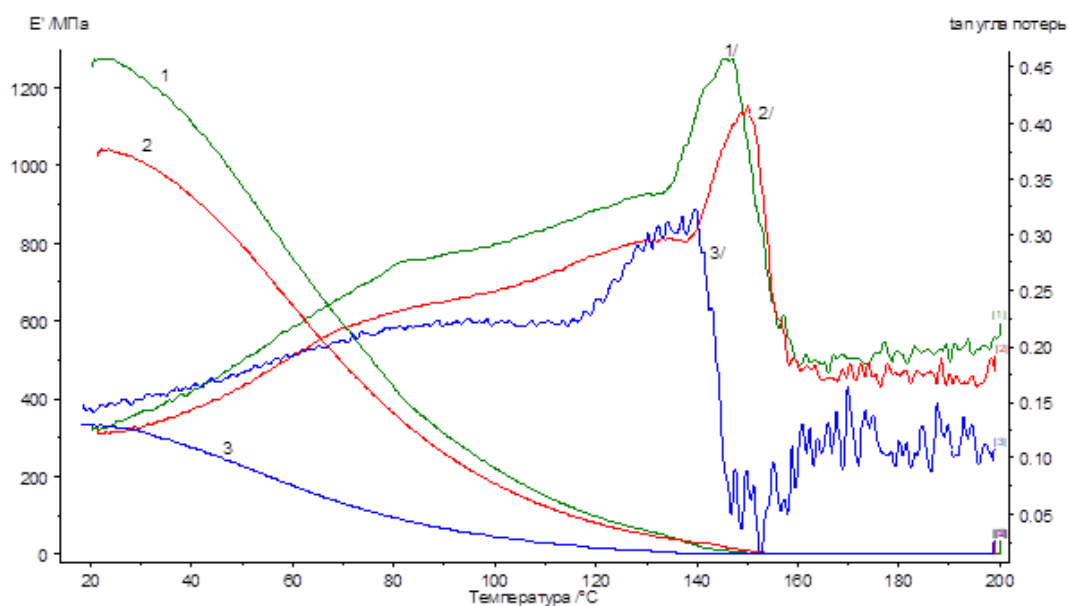


Рисунок 3. Зависимость динамического модуля упругости и тангенса угла механических потерь от температуры для всех исследуемых полимерных композитов: 1, 1' - состава ПНД/песок (80/20); 2, 2' - состава ПНД/песок (60/40); 3, 3' - состава ПВД/песок (80/20).

Повышение количества минерального наполнителя до 40% приводит к снижению модуля упругости ПНД до 1000 МПа. Наиболее низкие значения модуля упругости ( $E' = 350$  МПа) наблюдаются у ПВД с 20% содержанием наполнителя. Это объясняется более высоким содержанием кристаллической фазы у ПНД в сравнении с ПВД. С точки зрения морфологии у ПНД твердые и малодеформируемые отдельные кристаллиты пронизаны аморфной фазой, которая придает полимерному материалу определенную эластичность и гибкость, а кристаллическая фаза существенно изменяет эластические свойства окружающей аморфной фазы, придавая полимеру повышенную твердость и упругость.

Эти факты хорошо коррелируют с максимумом тангенса угла механических потерь, определяющим температуру стеклования композитов. Более высокий уровень кристаллической фазы у ПНД повышает температуру стеклования до 145°C (у композита состав – ПНД/песок (80/20)) и 150,3°C (у композита состав – ПНД/песок (60/40)). Для композита на основе ПВД с более низкой степенью кристалличности температура стеклования составляет 139°C. Тем не менее, температура стеклования всех представленных образцов значительно превышает температурные интервалы, при которых возможна их эксплуатация (-50 ÷ +50°C). В этом случае их деформационно-прочностные свойства не будут зависеть от внешних условий эксплуатации.

### **Список литературы**

1. Литвинова М.А., Сысуев В.М., Ширапов Д.Д.Ш. Создание строительных изделий на основе композитных материалов с использованием полимерных отходов // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Новые задачи технических наук и пути их решения». 2014. г. Уфа, Аэтерна. С. 29-32.
2. Ла Мантия Ф.П. Справочник по переработке пластмасс. Шрусбери, Великобритания: Capra Technology, 2002. 441 с.
3. Профатило И.В. К вопросу использования отходов полимеров при создании полимерпесчаных композиций // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. 2019. Т. 9. № 1. С. 126-134.
4. Вольфсон В.А. Вторичная переработка полимеров // Высокомолек. соед. Т. 42. № 11. С. 2000-2014.
5. Белкина И.В. Исследование композитных материалов, полученных с применением вторичных полимеров // Наука и инновационные технологии. 2020. № 1 (14). С. 264-277. DOI: 10.33942/sit.nes032
6. Соломатов, В.И., Бобрышев А.И., Химмлер К.Г. Полимерные композиционные материалы в строительстве. М.: Стройиздат, 1988. 308 с.
7. Уивер А. Композиты: мировые рынки и возможности // Материалы сегодня. 1999. 2(1): С. 3-6. DOI:10.1016/S1369-7021(99)80012-
8. Хозин В.Г. Реальные границы и перспективы эффективного применения полимеров в строительстве // Полимеры в строительстве. 2014. № 1

(1). С. 9-26. URL: <http://polymer.kgasu.ru/files/n1-1-2014-vypusk-17.03.pdf> (дата обращения 27.04.2022).

9. Абдрахманова Л.А., Галеев Р.Р., Хантимиров А.Г., Хозин В.Г. Эффективность углеродных наноструктур в составе древесно-полимерных композитов на основе поливинилхлорида // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет - журнал. 2021. Т. 13. № 3. С. 150-157. DOI: 10.15828/2075-8545-2021-13-3-150-157

10. Абдрахманова Л.А., Хузиахметова К.Р., Низамов Р.К., Хозин В.Г. Модификаторы для жестких поливинилхлоридных композиций строительного назначения // Строительные материалы. 2020. № 12. С. 34-39. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-787-12-34-39

11. Пахаренко В.А., Пахаренко В.В., Яковлева Р. А. Пластмассы в строительстве. СПб: Научные основы и технологии, 2010. 349 с.

12. Литвинова М.А., Хахинов В.В., Сысуев В.М. Исследование полимерного покрытия, полученного экструзионно-прокатно-формовочным методом // Вестник ВСГУТУ. 2019. № 4 (75). С. 95-100.

13. Патент РФ 2782067 С2. Способ производства изделий из полимерных отходов экструзионно-прокатно-формовочным методом и установка для его осуществления / Сысуев В.М., Литвинова М.А., Итигилов Г.Б., Хахинов В.В. Приоритет изобретения 15.02.2021.

14. Деев И.С., Куршев Е.В., Лонский С.Л., Комарова О.А. Влияние длительного климатического старения на микроструктуру и характер разрушения в объеме эпоксидных углепластиков в условиях силового воздействия (изгиба и сжатия) // Вопросы материаловедения. 2018. 4(96). С. 170-184. <https://doi.org/10.22349/1994-6716-2018-96-4-170-184>

15. Старцев О.В., Аниховская Л.И., Литвинов А.А., Кротов А.С. Повышение достоверности прогнозирования свойств полимерных композитных материалов при термовлажном старении // Доклады Академии наук. 2009. Т. 428. № 1. С. 56-60.

16. Старцев О.В., Кротов А.С., Голуб П.Д. Влияние климатического и радиационного старения на свойства эпоксидных ламинатов, армированных стекловолокном // Полимер и полимерные композиты. 1998. Т. 6, № 6. С. 481-488.

**Козлов Павел Геннадьевич**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
ГЕОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ**

*Военный учебный центр при Дальневосточном федеральном университете;  
Приморский край, г. Владивосток, ул. Экипажная 18 строение 1, 690001  
Научный руководитель – Петухов Валерий Иванович, д.т.н., проф.*

**Аннотация.** Использование техногенного сырья в производстве цементного клинкера и портландцемента является актуальной темой исследований в

современной науке. Техногенное сырье, такое как шлаки, зола, пыль и другие отходы промышленности, может быть использовано в качестве альтернативного источника сырья для синтеза цементного клинкера. Одним из основных преимуществ использования техногенного сырья является его экологическая ценность. Вместо того, чтобы выбрасывать отходы на свалку или сжигать их, они могут быть переработаны и использованы в производстве цемента. Это позволяет снизить негативное воздействие на окружающую среду и уменьшить количество отходов, которые необходимо утилизировать.

Кроме того, использование техногенного сырья может снизить затраты на производство цемента. Традиционные источники сырья, такие как известняк и глина, могут быть дорогостоящими и требуют больших затрат на добычу и транспортировку. В то время как техногенное сырье часто является побочным продуктом производства и может быть получено по более низкой цене или даже бесплатно.

**Ключевые слова:** геополимер, золошлаковые отходы, предел прочности

**Kozlov Pavel Gennadievich**

## **TECHNOLOGICAL FEATURES OF MANUFACTURING GEOPOLYMERS BASED ON ASH AND SLAG WASTE**

*Military Training Center at the Far Eastern Federal University; Primorsky Krai,  
Vladivostok, 18 Crew Street, building 1, 690001*

*Scientific supervisor – Valery Ivanovich Petukhov, doctor of technical sciences,  
professor*

**Annotation.** The use of man-made raw materials in the production of cement clinker and Portland cement is an urgent research topic in modern science. Man-made raw materials such as slags, ash, dust and other industrial wastes can be used as an alternative source of raw materials for the synthesis of cement clinker. One of the main advantages of using man-made raw materials is its environmental value. Instead of dumping the waste in a landfill or incinerating it, it can be recycled and used in cement production. This reduces the negative impact on the environment and reduces the amount of waste that needs to be disposed of.

In addition, the use of man-made raw materials can reduce the cost of cement production. Traditional sources of raw materials, such as limestone and clay, can be expensive and require high extraction and transportation costs. While man-made raw materials are often a by-product of production and can be obtained at a lower price or even for free.

**Keywords:** geopolymer, ash and slag waste, tensile strength

Зола и шлак ТЭС представляют собой остаток от сжигания твердого топлива. Это продукты высокотемпературной (до 1200...1700 °С) обработки минеральной, негорящей части углей. Основная масса зол и шлаков образуется на тепловых электростанциях из пылевидного угля. При этом в камерных топках получают отходы двух видов: зола уноса и шлак. Зола уноса

(в дальнейшем - зола ТЭС) удаляется из топки с дымовыми газами и улавливается при их очистке в циклонах и электрофильтрах. Размер частиц золы менее 0,3 мм. Свыше 80 % минеральной части углей переходит в золу, до 20 % - в шлак. Поэтому наибольший практический интерес для переработки в строительные материалы представляет зола ТЭС (рис. 1) [1].

Химический состав зол представлен в основном оксидами кремния, алюминия и кальция. В качестве второстепенных зола содержит оксиды железа, магния, серы, натрия и калия. Минеральный состав включает стекловидные фазы, а также кристаллические составляющие, такие, как различные модификации кварца, мелилит, волластонит и др.

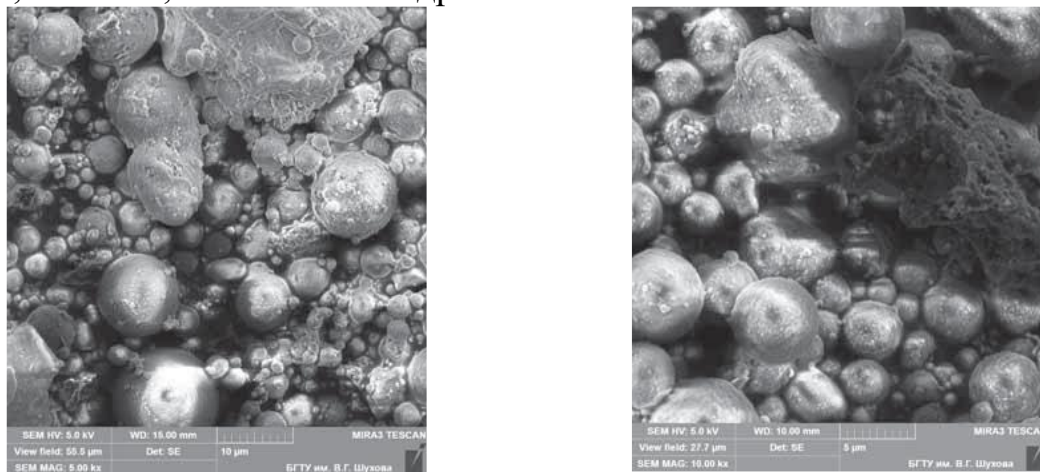


Рисунок 1 – Микроструктура золы уноса ТЭС

В рамках исследования на базе предприятий энергетической отрасли Приморского края был проведен анализ химического состава золошлаковых смесей с целью определения возможности их использования в качестве основы для производства строительных материалов. Особое внимание уделено проблеме утилизации отходов, которая является актуальной для многих предприятий данной отрасли. Одним из перспективных направлений в области утилизации золошлаковых отходов является производство геополимерного мелкозернистого бетона. Этот материал обладает высокой прочностью и долговечностью, а также имеет низкую теплопроводность и хорошую устойчивость к воздействию агрессивных сред. Кроме того, его производство не требует использования цемента, что делает его экологически чистым и экономически выгодным.

Однако, несмотря на перспективность данного направления, существуют определенные проблемы, связанные с утилизацией золошлаковых отходов. Одной из них является необходимость внедрения новых технологий и оборудования на предприятиях, что может потребовать значительных финансовых затрат. Кроме того, необходимо разработать эффективные методы обработки и хранения ЗШО, чтобы предотвратить их негативное воздействие на окружающую среду. В целом, исследование показало, что использование ЗШС в производстве геополимерного бетона является перспективным и экологически целесообразным решением. Однако, для успешной реализации этого направления необходимо решить ряд технических и организационных проблем, связанных с утилизацией золошлаковых

отходов [2].

Например, состав и свойства техногенного сырья могут существенно отличаться от традиционных источников, что может повлиять на качество и характеристики производимого цемента. Поэтому необходимо проводить дополнительные исследования и разработать специальные технологии для оптимального использования техногенного сырья.

В целом, исследования использования техногенного сырья при синтезе цементного клинкера и производстве портландцемента показывают его потенциал как альтернативного источника сырья. Это может привести к снижению затрат на производство и улучшению экологической обстановки. Однако, необходимо продолжать исследования и разработки, чтобы оптимизировать процесс и обеспечить высокое качество производимого цемента [3].

Проблемой, с которой сталкивается современное общество, является проблема утилизации пластиковых отходов. Большое количество пластиковых изделий выбрасывается каждый день, загрязняя окружающую среду и представляя угрозу для животных и растительного мира. Одним из инновационных подходов к улучшению экологической устойчивости строительной отрасли возможно использование переработанных отходов бакелитового пластика в качестве экологически чистого заполнителя в составе бетонов. Бакелитовый пластик, получаемый из переработки отходов, обладает высокой прочностью и устойчивостью к воздействию внешних факторов, что делает его идеальным материалом для использования в качестве заполнителя для бетонных балок. Кроме того, использование переработанных отходов бакелитового пластика в качестве заполнителя для бетонных балок позволяет снизить затраты на строительство и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Ведь вместо того, чтобы выбрасывать пластиковые отходы на свалку, они могут быть использованы в качестве ценного материала для строительства [4].

Далеко не все золы обладают химико-минералогическим составом, пригодным для получения геополимерных материалов. В основном используются кислые золы с низким содержанием СаО и высоким содержанием оксида алюминия и кремния. Для производства геополимерного вяжущего на основе золы в качестве активатора процесса геополимеризации используются два вида щелочных соединений: щелочи – NaOH и KOH; натриевое, калиевое или смешанное жидкое стекло [5].

В работах [6, 7] приведена процедура приготовления вяжущего, которая значительно повышает его прочность. Авторами рассматривается эффективность тепловой обработки вяжущих на основе зол-уноса и метакаолина, а также для смешанных вяжущих на основе золы-уноса и шлака, активированных силикатом натрия. На этапе термообработки важно избегать сухого нагрева, который мешает процессу гидратации шлака и снижает прочность геополимерного вяжущего.

В щелочных вяжущих на основе летучей золы количество свободного Al уменьшается в зависимости от времени отверждения и температуры термообработки, и образуются различные продукты реакции, которые отвечают

за формирование однородной алюмосиликатной матрицы.

Для проведения исследования характеристик геополимерного вяжущего на основе золы-уноса проверялись следующие свойства: усадка при схватывании; прочность на сжатие через 28 сут, а для быстротвердеющих высокопрочных геополимеров – через 4 часа; прочность при изгибе – через 28 сут, а для быстротвердеющих высокопрочных геополимеров – после 24 часов; модуль упругости; водопоглощение менее 3 %; гидравлическая проницаемость – 10 м/с [8].

При создании геополимерного вяжущего на основе активации алюмосиликатов, полученных из золы, растворами щелочей происходит процесс, в результате которого, получается твердая алюмосиликатная структура похожая на камень. Но она отличается от портландцемента, тем что в основе процесса не лежит твердение из-за гидратации ионов кальция [9, 10].

При изготовлении образцов геополимерного бетона в лаборатории «Использование технологии вторичных ресурсов» ДВФУ, смесь была уложена в формы размером 160x40x40 мм, подвергнута вибрационному уплотнению, а после высушена в сушильном шкафу при температуре 70 градусов по Цельсию в течение 70 часов. В результате получились образцы прямоугольного сечения (рис. 2). Их испытания проводились на оборудовании Филиала ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» ДальНИИС. Для проведения испытания на изгиб при растяжении и предел прочности при сжатии применялось соответствующее оборудование (рис. 3, 4).



Рисунок 2 – Взвешивание контрольного образца





Рисунок 3 – Испытания образца на изгиб при растяжении



Рисунок 4 – Испытания образца на предел прочности при сжатии

### **Заключение**

В работе проанализирован химический состав образцов геополимерного бетона на основе ЗШО, полученных с предприятий энергетической отрасли Приморского края. Результаты показали, что эти отходы содержат большое количество кремния, кальция, алюминия и других полезных компонентов, которые могут быть использованы в производстве геополимерных бетонов. Для производства строительных материалов предлагается использовать композиционный геополимер, состоящий из золы, песка, алюмосиликатного вяжущего и воды.

### **Список литературы**

1. Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Фомина Е.В. Фазообразование в геополимерных системах на основе золы-уноса Апатитской ТЭЦ // Строительные материалы научно-технический и производственный журнал. 2015. № 2 – С. 85-88
2. Козлов, П.Г. Геополимерные мелкозернистые бетоны / П.Г. Козлов, А. Г. Примчук // Инженерное дело на Дальнем Востоке России : Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции, Владивосток, 17–21 января 2023 года / Дальневосточный федеральный университет, Военный учебный центр. – Владивосток: Изд-во Военного учебного центра ДВФУ, 2023. – С. 17-20. – EDN IZTMNB.
3. Mohan R, Vijayaprabha Chakrawarthy, T. Vamsi Nagaraju, Siva Avudaiappan, T.F. Awolusi, Angel Roco-Videla, Marc Azab, Pavel Kozlov. Performance of recycled Bakelite plastic waste as eco-friendly aggregate in the

concrete beams // Case Studies in Construction Materials 18 (2023)  
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02200>

4. Nurgali Zhanikulov, Bayan Sapargaliyeva, Aktolkyn Agabekova, Yana Alfereva, Aidin Baidibekova, Samal Syrlybekkyzy, Lazzat Nurshakhanova, Farida Nurbayeva, Gulzhan Sabyrbaeva, Yergazy Zhatkanbayev, Aizhan Izbassar, Olga Kolesnikova, Pavel Kozlov. Studies of Utilization of Technogenic Raw Materials in the Synthesis of Cement Clinker from It and Further Production of Portland Cement // Journal Composites Science 2023, 7, 226. <https://doi.org/10.3390/jcs7060226>

5. Somna K., Jaturapitakkul C., Kajitvichyanukul P., Chindaprasirt P. NaO Hactivated ground fly ash geopolymer cured at ambient temperature // Fuel, 2011. Vol. 90, №. 6. P. 2118–2124.

6. Bondar D., Lynsdale C.J., Milestone N., Hassani N., Ramezaniyanpour A.A. Engineering properties of geopolymer concrete based on alkali activated natural pozzolan // 3rd International Conference on Concrete & Development. Building and Housing Research Center.P.1011-1023

7. Rattanasak U., Chindaprasirt P. Influence of NaOH solution on the synthesis of fly ash geopolymer // Minerals Engineering. 2009. Vol. 22, Issue12. P. 1073–1078

8. Davidovits J. Geopolymer chemistry and applications. 3rd eddition. – France, Saint-Quentin: Institute Geopolymer, 2011. - 614 p.

9. Характеристики несгоревшего угля в золошлаковых отходах / А. В. Таскин, Р. С. Федюк, С. И. Иванников [и др.] // Инженерное дело на Дальнем Востоке России : Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции, Владивосток, 07–12 августа 2023 года / Дальневосточный федеральный университет. – Владивосток, 2023. – С. 54-62. – EDN EPDJBR.

10. Основные способы отделения несгоревшего углерода от золы / А.В. Таскин, Р.С. Федюк, С.И. Иванников [и др.] // Инженерное дело на Дальнем Востоке России : Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции, Владивосток, 07–12 августа 2023 года / Дальневосточный федеральный университет. – Владивосток, 2023. – С. 62-79. – EDN OOUTAN.

**Макавчик Илья Алексеевич**

**КОМУ ПРИНАДЛЕЖАТ АРКТИЧЕСКИЕ БОГАТСТВА?**

*Военный учебный центр при Дальневосточном федеральном университете;*

*Приморский край, г. Владивосток, ул. Экипажная 18 строение 1, 690001*

*Научный руководитель – Козлов Павел Геннадьевич*

УДК 338.45

**Аннотация:** Экологические активисты подали иск против правительства Норвегии в Европейский суд по правам человека (ЕСПЧ), поскольку власти страны разрешили проведение геологоразведочных работ. Считается, что это

тестовый проект, который покажет, сколько природных ресурсов можно эксплуатировать в этом регионе.

**Ключевые слова:** нефть, газ, добыча, Арктика, компании, власти, организация, США, суд, территория, регион, Норвегия, запасы, природные ресурсы, Россия, активисты, бурение, иск, ЕСПЧ, позиция, выбросы, экология, энергия, страны, Северный полюс, полезные ископаемые, производитель

## WHO DOES THE ARCTIC RICHES OWN?

**Makavchik Ilya Alekseevich**

*Far Eastern Federal University, 690922, Primorsky Krai, Vladivostok, Russian Island, Ajax village, 10*

*Scientific supervisor – Pavel Gennadievich Kozlov*

**Abstract:** Environmental activists filed a lawsuit against the Norwegian government in the European Court of Human Rights (ECHR), because the country's authorities allowed geological exploration work. It is believed that this is a test project that will show how much natural resources can be exploited in the region.

**Keywords:** oil, gas, production, Arctic, companies, authorities, organization, USA, court, territory, region, Norway, reserves, natural resources, Russia, activists, drilling, lawsuit, ECHR, position, emissions, ecology, energy, countries, North Pole, minerals, manufacturer

По оценкам Геологической службы США, Северный полярный круг может содержать 160 миллиардов баррелей нефти и 30% неразведанных запасов природного газа на планете.

Государства с территорией и территориальными водами в пределах Северного полярного круга – это Норвегия, Россия, Швеция, Финляндия, Исландия, США, Канада и Дания (которой принадлежит Гренландия).

Поскольку Арктика – это в основном морские просторы, не существует международного договора, охраняющего окружающую среду от негативного воздействия экономических факторов, как в случае с Антарктикой.

Глобальное потепление приводит к таянию большей части льда, покрывающего самый северный регион планеты, что в свою очередь облегчает добычу полезных ископаемых.

О чем идет речь в судебном деле Норвегии?

С 2016 года Норвегия – крупнейший производитель нефти в Западной Европе – выдала ряд лицензий на разведку нефти и газа в Баренцевом море, за Полярным кругом.

В 2021 году шесть молодых норвежцев и две экологические группы, Greenpeace Nordic и Young Friends of the Earth, подали иск в ЕСПЧ против политики норвежского правительства.

Активисты утверждали, что "разрешая новое бурение в условиях климатического кризиса, Норвегия нарушает основные права человека".

По их мнению, бурение в Арктике может привести к загрязнению полярных льдов и их ускоренному таянию. Они ссылаются на вторую статью Европейской

конвенции по правам человека, которая защищает право на жизнь, и восьмую статью, которая защищает право на семейную жизнь и дом.

"Посредством жалоб, – сказала участница кампании Миа Чемберлен, – у нас может появиться шанс остановить разрушительное нефтяное бурение".

Лассе Эриксен Бьорн, активист из коренного народа саами, проживающего на севере Норвегии, сообщил агентству Reuters, что бурение может нанести ущерб арктическому рыболовству и поставить под угрозу образ жизни.

Три норвежских суда отклонили их дело, но ЕСПЧ отнесся к нему серьезно и попросил правительство Норвегии обосновать свою позицию.

26 апреля правительство ответило, заявив, что Норвегия уже сотрудничает с международными структурами по борьбе с изменением климата и стремится достичь нулевого уровня выбросов углекислого газа к 2050 году.

По заявлению правительства, ограничение добычи нефти и газа до появления более надежных возобновляемых источников энергии будет наносить ущерб норвежскому обществу.

ЕСПЧ рассматривает возможность придания этому делу статуса "резонансного", это означает, что решение по данному делу может создать прецедент для подобных дел во всем Европейском Союзе. Если это произойдет, то решение может быть вынесено в ближайшие несколько месяцев.

Кто еще ведет добычу в Арктике?

Российские нефтяные компании работают в Арктике уже более десяти лет. Два года назад на ее арктической территории произошел крупный разлив нефти.

США предлагают разрешить нефтяным компаниям бурение на севере Аляски, несмотря на огромный разлив нефти Exxon Valdez на Аляске в 1989 году.

Какие права имеют страны в Арктике?

Все страны, имеющие территорию за Северным полярным кругом, имеют право осуществлять разведку и разработку полезных ископаемых на морском дне вблизи своих берегов.

Они также могут устанавливать исключительные экономические зоны, простирающиеся до 200 морских миль (370 км) от берега.

В этих зонах они имеют право ловить рыбу, строить инфраструктуру и добывать природные ресурсы.

Страны могут расширить эти зоны, если смогут доказать, что их сухопутная территория простирается дальше в море.

В настоящее время идет спор о том, кому принадлежит цепочка подводных гор длиной 1 070 миль (1 721 км), называемая хребтом Ломоносова, который проходит через Северный полюс.

На нее претендуют Канада, Россия и Гренландия. Тот, кто в итоге добьется признания, сможет претендовать и на 55 000 квадратных миль моря вокруг Северного полюса.

В 2007 году российские исследователи встревожили соседей по Арктике, установив свой государственный флаг на морском дне в районе Северного полюса.

Выигрывали ли экологические активисты подобные дела?

Экологические активисты все чаще используют суды, чтобы заставить правительства и компании придерживаться более экологичной политики.

В прошлом году голландский суд обязал энергетическую компанию Royal Dutch Shell к 2030 году сократить выбросы на 45% по сравнению с уровнем 2019 года – это гораздо большее сокращение, чем компания первоначально заявляла. Дело было возбуждено организацией " Friends of the Earth".

В 2018 году верховный суд Колумбии обязал правительство принять срочные меры для прекращения вырубки тропических лесов Амазонки, заявив, что это лишает детей права на здоровую окружающую среду.

### **Список литературы**

1. Стадник М.Н. Таяние ледников Арктики: экологическая катастрофа или природный тайник нефти и газа / М.Н. Стадник // Новые технологии – нефтегазовому региону. – Т.1. – 2015. – С.356-358

2. Кручинин С.В., Багрова Е.В. Военно-стратегические интересы Соединённых Штатов Америки в Арктике / С.В. Кручинин, Е.В. Багрова // ISOLATION AND UNIFICATION VECTORS IN THE SOCIAL DEVELOPMENT COORDINATE SYSTEM. – 2014. – С.19-21.

3. Фершалов Ю.Я., Фершалов А.Ю., Фершалов М.Ю. Основы технической газовой динамики // Учебное электронное издание. Учебное пособие для вузов / Владивосток, 2015.

**Матвеев Константин Сергеевич**

## **ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ЭКСТРУЗИОННЫМ СПОСОБОМ ПЕРЕРАБОТКИ**

*Казанский государственный архитектурно-строительный университет,  
кафедра ТСМИК, ул. Зеленая, 1, 420043*

*Научные руководители:*

*Низамов Рашит Курбангалиевич, д.т.н., профессор;*

*Хузиахметова Карина Рустамовна, ассистент*

**Аннотация:** Статья посвящена получению полимерных композитов экструзионным способом переработки. Исследование немодифицированных и ненаполненных экспериментальных образцов базировалось на анализе основных экструзионных режимов: температурном профиле, давлении расплава в фильере, степени загрузки двигателя от максимальной мощности, а также разбухании.

**Ключевые слова:** поливинилхлорид, полиэтилен, экструзия, технологические свойства, переработка.

Экструзия – это процесс преобразования полимерных материалов в изделия с помощью экструдера [6]. В качестве сырья используются частицы разнообразной формы: гранулы, порошок, разнообразные пасты или лом.

Первоначально, экструдер был создан для нанесения изоляции на электрические провода. Разработки начались в XIX веке в Великобритании, Германии и США, а уже в начале XX века началось серийное производство экструдеров. Однако, примерно с 1930 года, их использование расширилось на переработку пластмасс. В 1935-1937 годах паровой обогрев корпуса был заменен на электрический, а в период с 1937-1939 годов экструдеры были улучшены путем увеличения длины шнека. В то же время был создан первый двухшнековый экструдер [5].

С первыми теоретическими работами в области экструзии полимеров начались в период с 1946 по 1953 годы. В это же время произошел переход от индивидуального изготовления экструдеров к их серийному производству на основе инженерных расчетов. В начале 1960-х годов был сконструирован первый дисковый экструдер [7].

Технология изготовления изделий методом экструзии нашла своё применение в различных областях, основная доля которых приходится на сферу строительных материалов (рис. 1).



Рисунок 1. Область применения экструзионной переработки

Полимерные изделия на основе различных полимеров, таких как поливинилхлорид (ПВХ), полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП) и поликарбонат, могут использоваться в качестве строительных материалов методом экструзии. В прошлом ПЭ и ПП были наиболее распространенными материалами для производства строительных изделий из-за их низкой вязкости расплава, малого веса и низкой теплопроводности. Однако в последнее время возникли опасения относительно их прочности, модуля упругости, износостойкости,

теплостойкости и горючести, что привело к использованию вторичного сырья для снижения себестоимости.

ПВХ является более устойчивым полимером, который может выдерживать перепады температур и эксплуатироваться как внутри помещений, так и снаружи [8]. Он является хорошей альтернативой ПЭ и ПП и может использоваться для производства различных видов изделий, таких как профильно-погонажные изделия или трубы. В России основная доля приходится на профильно-погонажные изделия, в то время как в Азии, Европе и Америке основная доля приходится на производство труб, которые также являются экструзионными профилями [9].

К составу профильно-погонажных изделий на основе ПВХ можно отнести не только трубы, но и [4]:

- Оконные рамы;
- Террасные доски;
- Лага под террасную доску;
- Фасадная панель;
- Сайдинг;
- Плинтуса;
- Карнизы;
- Галтели;
- Наличники;
- Уголки.

Необходимо учитывать, что ПВХ имеет высокую вязкость расплава и низкую термостабильность, что создает сложности при их переработке [10, 11, 13][12]. Однако, существуют технологические добавки и наполнители, которые могут модифицировать данные полимеры и решить проблемы, связанные с их получением [1–3]. Тем не менее, перед использованием данных модификаторов следует рассмотреть композиции без их влияния.

Таким образом, основной целью данной работы является изучение экструзионных параметров переработки полимерных композиций на основе ПВХ и ПЭ.

В данном исследовании приведено сравнение двух жестких экспериментальных композиций на основе ПВХ и ПЭ.

Первая порошкообразная композиция на основе ПВХ была перемешана с необходимыми стабилизаторами-смазками на лабораторном диссольвере с трехлопастной пропеллерной насадкой серии ЛДУ-3 МПР при 700 об/мин в течение 4 мин. При этом во второй композиции присутствовал только ПЭ.

Профильные композиты были получены на лабораторном двухшнековом экструдере LabTech Scientific LTE 16-40 с фильерой прямоугольного сечения (22×2 мм). Процесс изготовления заключается в следующем:

В процессе исследования оценивались загрузка двигателя, давление в фильере и разбухание экструдата.

Экструзия осуществлялась при разных скоростях вращения шнеков – 16, 20, 25, 30 и 35 об/мин.

С увеличением скорости вращения шнеков возрастает нагрузка на двигатель и давление в фильере (таблица 1). Это объясняется тем, что интенсивное движение шнеков более эффективно проталкивает расплав, что приводит к образованию избыточного давления в области фильеры и снижению производительности.

Следует отметить, что переработка ПВХ – это трудоемкий процесс. В первую очередь, это связано с вязкой структурой, по причине которой в рецептуры вводятся как внешние, так и внутренние смазки. В данном случае в составе ПВХ-композиции присутствует только внешняя смазка (стеарат кальция), результатом чего является снижение «прилипания» расплава к металлическим поверхностям оборудования. Для того, чтобы понизить загрузку двигателя необходимо уменьшить вязкость расплава, для этого используются внутренние смазки, которые снижают трение, возникающее между компонентами.

При этом экструзионные параметры ПЭ-композиции остаются практически неизменными, подтверждая технологичность.

При переработке полярная природа ПВХ требует преодоление больших потенциальных барьеров. Это способствует постепенному вытягиванию цепей, а на выходе из фильеры – релаксированию, то есть частичному возвращению в перепутанную форму. Вследствие этого ПВХ-композиция имеет наибольшее разбухание (таблица 1).

Таблица 1

#### Экструзионные параметры

Материал	Скорость вращения шнеков, об/мин	Давление в фильере, бар	Загрузка двигателя экструдера, %	Разбухание экструдата
ПВХ	16	8	34	1,59
	20	9	39	
	25	13	46	
	30	13	49	
	35	13	56	
ПЭ	16	7	16	1,24
	20	8	18	
	25	9	20	



	30	12	21	
	35	12	22	

### Заключение

1. Из анализа технологических характеристик композиций следует, что производительность экструзионной переработки композиции на основе ПВХ хуже, чем на основе ПЭ.

2. Данные режимы переработки могут быть использованы в качестве отправной точки для последующей модификации и дополнения состава, с целью разработки рекомендации для производства профильно-погонажных изделий строительного назначения.

### Список литературы

1. Абдрахманова Л.А. [и др.]. Модификаторы для жестких поливинилхлоридных композиций строительного назначения // Строительные материалы. 2020. № 12. С. 34–39.
2. Абдрахманова Л. А. [и др.]. Эффективность углеродных наноструктур в составе древесно-полимерных композитов на основе поливинилхлорида // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2021. № 3 (13). С. 150–157.
3. Абдрахманова Л.А., Исламов А.М., Фахрутдинова В.Х. Вспененные композиционные материалы на основе поливинилхлорида // Строительные материалы. 2016. № 3. С. 82–84.
4. Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К. Полимерные строительные материалы на основе поливинилхлорида // Полимеры в строительстве: научный интернет-журнал. 2014. № 1 (1). С. 29–48.
5. Бернхардт Э. Переработка термопластичных материалов; Пер. с англ. Р. В. Торнера [и др.]; Под ред. Г.В. Виноградова / Э. Бернхардт, М.: Госхимиздат, 1962. 747 с.
6. Буркут О.В. Российский рынок экструзионного оборудования // Полимерные материалы. 2022. № 4. С. 32–37.
7. Завгородний В. К., Калинин, Э.Л. Махаринский Е. Г. Оборудование предприятий по переработке пластмасс / В. К. Завгородний, Е. Г. Калинин, Э.Л. Махаринский, М.: Химия, 1972. 464 с.
8. Исламов А.М. [и др.]. Поверхностная модификация поливинилхлорида водной коллоидной дисперсией графеновых нанопластинок // Известия КГАСУ. 2021. № 56 (2). С. 13–21.
9. Кацнельсон М.Ю., Балаев Г.А. Пластические массы: Свойства и применение: Справочник. / М.Ю. Кацнельсон, Г.А. Балаев, СПб.: Л.:Химия, 1978. 384 с.

10. Хантимиров А.Г. [и др.]. Древесно-полимерные композиты на основе поливинилхлорида, модифицированные наносиликатами // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов. 2021. С. 179–183.

11. Хантимиров А.Г. [и др.]. Древесно-полимерные композиты на основе поливинилхлорида, усиленные базальтовой фиброй // Известия КГАСУ. 2022. № 3 (61). С. 75–81.

12. Хантимиров А.Г. [и др.]. Влияние модификации на долговечность поливинилхлоридных древесно-полимерных композитов // Известия КГАСУ. 2023. № 65 (3). С. 26–35.

13. Хузиахметова К.Р. [и др.]. Структура смесей полимеров на основе поливинилхлорида // Известия КГАСУ. 2022. № 3 (61). С. 82–89.

**Столбоушкин Андрей Юрьевич<sup>1</sup>, Матвеев Алексей Анатольевич<sup>1</sup>,  
Спиридонова Ирина Владимировна<sup>1</sup>, Фомина Оксана Андреевна<sup>2</sup>  
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ  
ТЭС В ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ПРИМОРСКОГО КРАЯ**

<sup>1</sup>*Сибирский государственный индустриальный университет, 654007, Россия, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42*

<sup>2</sup>*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова, РАН, 101000, Россия, г. Москва, пер. Малый Харитоньевский, 4*

**Аннотация.** Для решения программы социально-экономического развития Дальнего Востока рассмотрены перспективы применения золошлаковых отходов ТЭС в строительной индустрии. Приведены основные направления переработки отходов теплоэнергетических объектов и представлены блок-схемы их использования для производства различных видов строительных материалов.

**Ключевые слова:** золошлаковые отходы, рациональное природопользование, строительные материалы.

Перспективы развития Дальневосточного федерального округа, имеющего стратегическое значение для безопасности нашей страны, изложены в «Национальной программе социально-экономического развития Дальнего Востока на период до 2024 года и на перспективу до 2035 года» [1].

В программном документе большое внимание уделено совершенствованию энергетического комплекса региона, которое предусматривает создание новых и развитие существующих тепловых энергетических мощностей по производству электроэнергии и тепла. Увеличение количества ТЭС (тепловая электрическая станция) и ТЭЦ (теплоэлектроцентраль), повышение их энергетического потенциала, безусловно, приведут к значительному росту золошлаковых отходов. Уже сегодня годовое поступление золы в золоотвалы по Приморскому краю составляет от 2,5 до 3,0 млн. т в год [2].

В сложившейся ситуации для сохранения хрупкого экологического равновесия Дальнего Востока России необходимо осуществлять рациональное природопользование при организации и проведении хозяйственной деятельности. В частности, при функционировании энергетических комплексов следует применять способы безотходной разработки угольных месторождений и проводить рекультивацию земель, организовать надежное хранение золошлаковых отходов, сводящее к минимуму вредные последствия для окружающей среды.

В настоящее время в Приморском крае расположен ряд тепловых электрических станций, входящих в объединенную энергетическую систему Востока (ОЭС Востока) [3]. Одни ТЭС работают на природном газе, другие – на угольном топливе, а на некоторых ТЭС применяют и природный газ, и угольное топливо. При этом у перешедших на природный газ ТЭС золошлаковые отвалы остаются и представляют собой угрозу окружающей природе.

За время эксплуатации угольных ТЭС количество золошлаковых отвалов продолжает увеличиваться, что требует новых участков для складирования. Рекультивация выбывающих отвалов не всегда своевременна и требует значительных ресурсов, а хранение складированных отходов вызывает большое количество проблем.

Всего в энергетический комплекс Дальневосточного федерального округа входит порядка 26 станций, включая ТЭЦ, ГРЭС (государственная районная электрическая станция) и ТЭС [3]. Из них согласно «Схеме и программе развития электроэнергетики Приморского края» предусмотрены реконструкция и модернизация трех объектов теплоэнергетического комплекса, приведенные в таблице 1 [4].

Таблица 1

**Тепловые электростанции Приморского края, работающие на угольном топливе**

№ п/п	Название	Установленная мощность, МВт	Тепловая мощность, Гкал/час	Регион	Основное топливо
1	Приморская ГРЭС	1467	237	Приморский край	уголь
2	Артёмовская ТЭЦ	400	300	Приморский край	уголь
3	Партизанская ГРЭС	203	160	Приморский край	уголь

На рис. 1 показана Приморская ГРЭС, представляющая собой тепловую паротурбинную электростанцию с комбинированной выработкой электроэнергии и тепла и работающая на местном бурогоугольном топливе [5].

Для комплексного и кардинального решения проблемы утилизации золошлаковых отходов наряду с рекультивацией земель необходимо, прежде

всего, вовлекать золошлаковые отходы в ресурсоемкое производство строительных материалов. При этом, безусловно, должны учитываться их вещественный, гранулометрический и химико-минералогический составы для эффективного и полномасштабного использования.

Такой подход, с одной стороны, обеспечит улучшение экологической обстановки в Дальневосточном федеральном округе. С другой стороны, позволит развивать инфраструктуру региона в соответствии с «Национальной программой» [1], используя строительные материалы местного производства, что особенно актуально с учетом транспортной логистики Приморского края. Кроме того, развитие промышленности строительных материалов обеспечит организацию дополнительных рабочих мест, что в перспективе будет способствовать улучшению демографической ситуации в регионе за счет занятости местного населения и привлечения извне новых трудовых ресурсов.



Рисунок 1 – Приморская ГРЭС, работающая на бикинском буром угле

Стоящие перед регионом задачи по утилизации золошлаковых отходов ТЭС согласуются с энергетической стратегией России на среднесрочную перспективу. В соответствии с дорожной картой этой стратегии в России до 2035 года предполагается увеличение доли утилизируемых отходов тепловых электростанций и котельных от годового объема образования в 15 % к 2024 году и в 50 % к 2035 году [6].

Золы и шлаки ТЭС в подавляющем большинстве относятся к неорганическим отходам, содержащим преимущественно силикаты и алюмосиликаты кальция, что составляет основу подавляющего большинства строительных материалов. Их использование позволит покрывать потребности строительства в сырьевых ресурсах до 40 % и в целом снизить производственные затраты до 30 % по сравнению с природным сырьем [7].

Вместе с тем, одним из основных препятствий на пути эффективного

использования промышленных отходов в производстве строительных материалов является непостоянство их вещественного состава и свойств. В перспективе решение проблемы возможно за счет создания участков предварительной подготовки золошлаковых отходов, обеспечивающей их усреднение по составу, физико-химическим и технико-технологическим характеристикам [8].

По литературным данным и результатам собственных исследований авторами выделены основные направления переработки золошлаковых отходов ТЭС и предложены блок-схемы их использования для производства различных видов строительных материалов (рис. 2-б):

- 1) золы и шлаки как компонент цементного вяжущего;
- 2) золы и шлаки как дисперсный заполнитель ячеистых бетонов;
- 3) золы и шлаки как сырьевой компонент керамических материалов;
- 4) золы и шлаки как сырьевой компонент силикатных материалов;
- 5) золы и шлаки как активированный компонент наполнитель сорбентов.



Рисунок 2 – Блок-схема использования золошлаковых отходов в качестве компонента цементного вяжущего

При высоком модуле основности золошлаковые отходы применяются как активная добавка (рис. 2) к клинкерным вяжущим (ПЦ, ППЦ). При этом содержание тонкомолотой добавки может составлять до 40-50 % по массе вяжущего, обеспечивая при этом прочность цементных образцов не менее 10-15 МПа.



Рисунок 3 – Блок-схема использования золошлаковых отходов в качестве дисперсного заполнителя ячеистых бетонов

Широкое применение золошлаковые отходы нашли в качестве заполнителей для легких и ячеистых бетонов (рис. 3). Авторами проведены исследования вещественного состава и дана оценка золошлаков от сжигания углеродсодержащих отходов в вихревых топках как техногенного сырья для ячеистых бетонов.

Дисперсные золошлаковые отходы в количестве до 10-15 % применяются в качестве отошающей добавки, а также для снижения усадочных деформаций при изготовлении керамического кирпича.

В Сибирском государственном индустриальном университете разработаны научные основы получения керамических матричных композитов на основе природного и техногенного сырья [9]. В развитие этого направления были предложены принципы получения золокерамического кирпича с наполненной каркасно-сотовой структурой (рис. 4).

Агрегирование дисперсных малопластичных сырьевых компонентов шихты в гранулы, нанесение на их поверхность спекающего пластичного компонента, компрессионное формование, сушка и обжиг обеспечивают формирование матричной структуры, позволяющей получать керамические материалы из техногенного сырья, включая низкокальциевые золы ТЭС, в количестве до 70-85 % по массе шихты.



Рисунок 4 – Блок-схема использования золошлаковых отходов в качестве сырьевого компонента керамических материалов

Использование золы-уноса в технологии силикатных материалов (рис. 5) зависит от модуля основности отходов. Активные золы с высоким содержанием щелочноземельных оксидов ( $CaO + MgO \approx 40-50\%$ ) применяют в силикатных материалах как известково-заменяющий сырьевой компонент известково-кремнеземистого вяжущего (ИКВ). При модуле основности более 1 они могут полностью или частично заменить известковую компоненту ИКВ. Авторами проведены лабораторные испытания и получены положительные результаты при замене известкового компонента на тонкоизмельченную (до удельной поверхности 2000-2500 см<sup>2</sup>/г) золошлаковую смесь в количестве 50 % по массе вяжущего [10]. При низком модуле основности золы и шлаки ТЭС применяют в

качестве дисперсного заполнителя силикатных материалов.



Рисунок 5 – Блок-схема использования золошлаковых отходов в качестве сырьевого компонента силикатных материалов

С учетом высокой пористости и адсорбционной способности золошлаковых отходов разработаны технологии получения на их основе зольных гранул (рис. б), которые можно использовать в качестве сорбента для очистки сточных вод и очистки дымовых газов от  $\text{CO}_2$  [11, 12].



Рисунок 6 – Блок-схема использования золошлаковых отходов в качестве активированного компонента сорбентов для очистки жидкостей и газов

### Заключение

По результатам анализа литературных данных и собственных исследований авторами выделены основные направления переработки золошлаковых отходов ТЭС и предложены блок-схемы их использования для производства различных видов строительных материалов.

Масштабная реализация предложенных направлений переработки золошлаковых отходов для нужд стройиндустрии позволит реализовать Национальную программу социально-экономического развития Дальнего Востока, обеспечить экономию природных ресурсов и улучшить экологию на территории Приморского края России.

### Список литературы

1. Национальная программа социально-экономического развития Дальнего Востока на период до 2024 года и на перспективу до 2035 года. – утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2020 г. №

2464-р.

<http://static.government.ru/media/files/NAISPJ8QMRZUPd9LIMWJoeVhn116eGqD.pdf> (дата обращения 15.01.2024).

2. Черепанов А.А., Кардаш В.Т. Комплексная переработка золошлаковых отходов ТЭЦ (результаты лабораторных и полупромышленных испытаний) // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. Киев, 2009, – №2. – С. 98 – 115.

3. Список тепловых электростанций России – [https://ru.wikipedia.org/wiki/Список\\_тепловых\\_электростанций\\_России](https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_тепловых_электростанций_России) (дата обращения 15.01.2024).

4. Схема и программа развития электроэнергетики Приморского края на 2018-2022 годы. Официальный сайт администрации Приморского края и органов исполнительной власти Приморского края. – [https://ru.wikipedia.org/wiki/Список\\_тепловых\\_электростанций\\_России#cite\\_note-sipr\\_primorsk-146](https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_тепловых_электростанций_России#cite_note-sipr_primorsk-146) (дата обращения 15.01.2024).

5. Карта Викимэпии. – <https://wikimapia.org/#lang=ru&lat=46.472153&lon=134.299965&z=13&m=w> (дата обращения 15.01.2024).

6. КабМин утвердил план утилизации отходов угольных ТЭС и котельных. – 2022.06.21. – <https://tass.ru/ekonomika/14979293> (дата обращения 25.09.2023).

7. Аксенов Е.М., Садыков Р.К. О нерешенных проблемах масштабного использования техногенных месторождений для производства строительных материалов // Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии: Материалы XV Академических чтений РААСН – межд. научно-техн. конф. / КГАСУ. т. 2. – Казань, 2010.– С. 98-100.

8. Столбоушкин А.Ю., Спиридонова И.В. Предложения по комплексной переработке минеральных отходов металлургических предприятий // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2022. – № 4. – С. 45-52.

9. Столбоушкин А.Ю. Теоретические основы формирования керамических матричных композитов на основе техногенного и природного сырья // Строительные материалы. – 2011. – № 2. – С. 10-13.

10. Столбоушкин А.Ю. Получение силикатных материалов с добавкой тонкомолотого мартеновского шлака // Строительные материалы. – 2019. – № 8. – С. 26-33.

11. Фоменко, А.И. Сорбент на основе зольных микросфер для очистки технологических и сточных вод. // Перспективные научные исследования и инновационно-технологические разработки: сб. науч. тр. межд. научно-практ. конф. – Белгород, 2020. – С. 41-44.

12. Чефарин Д.О., Шулёпов А.С., Полтавец А.В., Богомолов А.Р. Исследование процесса улавливания CO<sub>2</sub> золой уноса ТЭС в потоке с газоздушной средой // XIII Всероссийская конф. молодых ученых. – <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2021/RM21/pages/Articles/021112.pdf>



## Referenses

1. National program for the socio-economic development of the Far East for the period until 2024 and for the future until 2035. – approved by order of the Government of the Russian Federation of September 24, 2020 No. 2464-r. – <http://static.government.ru/media/files/NAISPJ8QMRZUPd9LIMWJoeVhn1l6eGqD.pdf> (access date 01/15/2024).
2. Cherepanov A.A., Kardash V.T. Integrated processing of ash and slag waste from thermal power plants (results of laboratory and semi-industrial tests) // *Geology and minerals of the World Ocean*. Kyiv, 2009, – No. 2. – P. 98 – 115.
3. List of thermal power plants in Russia - [https://ru.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_thermal\\_power\\_stations\\_of\\_Russia](https://ru.wikipedia.org/wiki/List_of_thermal_power_stations_of_Russia) (access date: 01/15/2024).
4. Scheme and program for the development of the electric power industry of the Primorsky Territory for 2018-2022. Official website of the administration of the Primorsky Territory and executive authorities of the Primorsky Territory. – [https://ru.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_thermal\\_power\\_plants\\_of\\_Russia#cite\\_note-sipr\\_primorsk-146](https://ru.wikipedia.org/wiki/List_of_thermal_power_plants_of_Russia#cite_note-sipr_primorsk-146) (access date 01/15/2024).
5. Wikimapia map. – <https://wikimapia.org/#lang=ru&lat=46.472153&lon=134.299965&z=13&m=w> (accessed 01/15/2024).
6. The Cabinet of Ministers approved a plan for recycling waste from coal-fired thermal power plants and boiler houses. – 2022.06.21. – <https://tass.ru/ekonomika/14979293> (date of access: 09/25/2023).
7. Aksenov E.M., Sadykov R.K. On the unsolved problems of large-scale use of technogenic deposits for the production of building materials // *Achievements and problems of materials science and modernization of the construction industry: Materials of the XV Academic Readings of the RAASN - int. scientific-technical conf. / KGASU*. vol. 2. – Kazan, 2010. – pp. 98-100.
8. Stolboushkin A.Yu., Spiridonova I.V. Proposals for complex processing of mineral waste from metallurgical enterprises // *Natural and technogenic risks. Safety of structures*. – 2022. – No. 4. – P. 45-52.
9. Stolboushkin A.Yu. Theoretical foundations of the formation of ceramic matrix composites based on technogenic and natural raw materials // *Construction materials*. – 2011. – No. 2. – P. 10-13.
10. Stolboushkin A.Yu. Production of silicate materials with the addition of finely ground open-hearth slag // *Construction materials*. – 2019. – No. 8. – P. 26-33.
11. Fomenko, A.I. Sorbent based on ash microspheres for purification of process and waste waters. // *Perspective scientific research and innovative technological developments: collection of articles. scientific tr. intl. scientific-practical conf.* – Belgorod, 2020. – pp. 41-44.
12. Chefarin D.O., Shulepov A.S., Poltavets A.V., Bogomolov A.R. Study of the process of CO<sub>2</sub> capture by fly ash of thermal power plants in a flow with a gas-air environment // *XIII All-Russian Conf. young scientists*. – <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2021/RM21/pages/Articles/021112.pdf>

## **Секция № 12. Вибродиагностика и виброналадка**

**Руководитель секции: Грибиниченко Матвей Валерьевич, к.т.н., доцент, директор Отделения машиностроения, морской техники и транспорта Политехнического института (Школы) ДВФУ**

**Андрюхина Полина Александровна, Игнатьев Егор Алексеевич  
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ  
КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЛИЯНИЯ**

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

*Научный руководитель – Портнова Олеся Сергеевна, к.т.н., доцент*

**Аннотация.** В статье представлены результаты экспериментов, проведенных на лабораторном стенде, моделирующий гибкий четырехопорный ротор. С помощью изученного метода балансировки роторных машин, а также существующих математических методов получены результаты, позволяющие объяснить поставленные задачи.

**Ключевые слова:** роторные машины, вибрация, балансировка, динамический коэффициент влияния, физический эксперимент.

### **Введение**

В процессе эксплуатации роторного оборудования в деталях машин могут возникать механические повреждения, которые являются причиной повышенной вибрации. Одним из методов наладки роторов является балансировка.

Значение балансировки роторных машин на стадии изготовления и в дальнейшем в процессе эксплуатации и ремонта, а также влияние её на надёжность их эксплуатации заслуживает отдельного внимания.

В настоящее время существует несколько методов балансировки, которые зависят от особенностей ротора и могут быть осуществлены на балансировочном станке или на месте эксплуатации.

В данном исследовании рассматривается балансировка гибкого ротора на месте эксплуатации методом нахождения динамического коэффициента влияния (ДКВ).

Основная цель экспериментальной части исследования заключалась в определении факторов, влияющих на изменение ДКВ на лабораторном стенде.

Перед проведением работы поставлены задачи:

1. Определение динамических коэффициентов влияния (ДКВ);
2. Выявление зависимости значений ДКВ на выбранной опоре и плоскости коррекции от разного расположения дисбалансов в системе.

### **Описание установки**

Для проведения экспериментальной части исследования использовался лабораторный стенд, моделирующий гибкий четырехопорный ротор (рис. 1).



Рисунок 1. Лабораторный стенд:

- 1 – электродвигатель; 2 – диски, на которые навешиваются массы (плоскости коррекции); 3 – генератор постоянного тока;  
 4 – вибропреобразователи; 5 – датчик оборотов со штативом;  
 6 – фундамент; 7 – резиновая прокладка; 8 – коммутатор; 9 – виброметр.

Лабораторный стенд состоит из стальных валов, которые соединены муфтой и закреплены в электродвигателе (1) и генераторе постоянного тока (3). Валы установлены горизонтально на четырех опорах. Чтобы снизить трение в направляющем узле, на внутренней поверхности опор используются подшипники качения. Подшипники надежно закреплены в опорах. Эта конструкция позволяет легко поднимать вал при замене деталей. На валах также закреплены четыре плоскости коррекции (2), в которых имеются отверстия. В эти отверстия устанавливаются пробные массы, корректирующие массы и дисбалансы.

Для решения поставленной задачи помимо основных компонентов колеблющейся системы, таких как приводной электродвигатель, валы и диски, использовался виброметр фирмы VAST СД-21 (9), подключенный к коммутатору (8). К виброметру также подключены вибропреобразователи (4), закрепленные на опорах, и датчик оборотов (5), прикрепленный к фундаменту (6). С помощью вибропреобразователей измерялись виброперемещения

(горизонтальные, осевые и вертикальные) и фазы. Сигнал с датчика оборотов использовался для измерения скорости вращения вала, а полученные данные обрабатывались в виброанализаторе.

### Методика балансировки

1. Размещение датчиков оборотов и вибрации на стенде.
2. Измерение исходной вибрации (амплитуд и фаз колебаний на определенной частоте вращения) во всех точках машины, где расположены датчики вибрации, при нормальной эксплуатации машины.
3. Предварительный расчет пробной массы и ее установка на каждую плоскость коррекции, измерение вибрации с пробной массой на всех плоскостях коррекции во всех точках контроля, запись полученных амплитуд и фаз.
4. Расчет возможных корректирующих масс для всех плоскостей коррекции с помощью программы, определение их положения, а также ожидаемой остаточной вибрации после их установки во всех точках контроля.
5. Установка рассчитанных корректирующих масс.
6. Проведение повторного измерения вибрации на машины.

### Применяемая программа расчёта

Для реализации многоплоскостной балансировки взята предложенная в работе [2] математическая модель, которая показывает следующее (рис. 2):

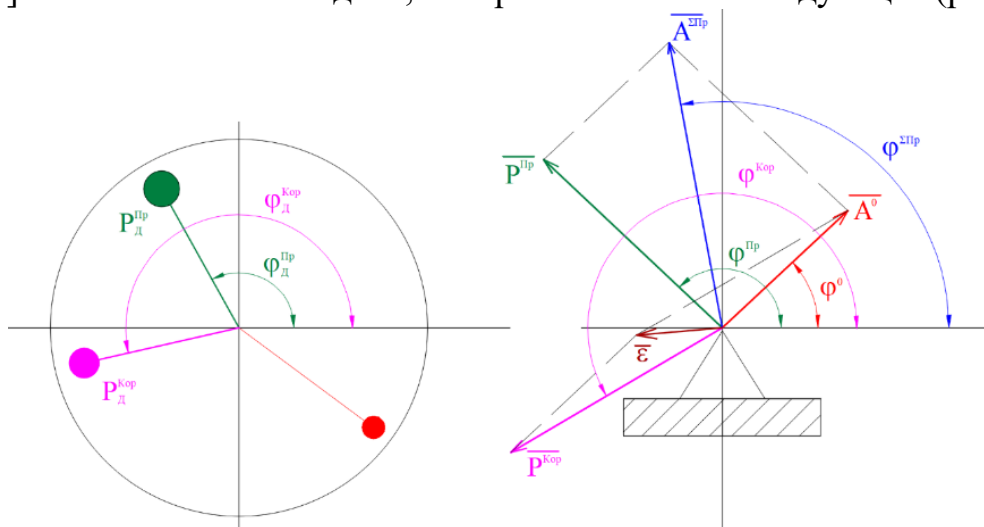


Рисунок 2. Плоскость коррекции и опора:

$\overline{A^0}$  - нулевой вектор вибрации;  $\phi^0$  - фаза нулевого вектора вибрации;  
 $\overline{P^{Kop}}$  - корректирующий вектор вибрации;  $\phi^{Kop}$  - фаза корректирующего вектора вибрации;  $\overline{P^{Pr}}$  - вектор влияния массы на вибрации;  $\phi^{Pr}$  - фаза вектора влияния;  $\overline{A^{\Sigma Pr}}$  - вектор вибрации после установки пробной массы;  $\phi^{\Sigma Pr}$  - фаза корректирующего вектора вибрации после установки пробной массы;  $\overline{\epsilon}$  - вектор остаточного дисбаланса;  $P_D^{Pr}$  - величина пробной массы;  $P_D^{Kop}$  - величина корректирующей массы;  $\phi_D^{Pr}$  - положение пробной массы;  $\phi_D^{Kop}$  - положение корректирующей массы.

На рис. 2:

$$\overline{A^{\Sigma\Pi p}} = \overline{A^0} + \overline{P^{\Pi p}} \Rightarrow \overline{P^{\Pi p}} = \overline{A^{\Sigma\Pi p}} - \overline{A^0}. \quad (1)$$

Получаем формулу для расчета ДКВ:

$$\overline{P^{\Pi p}} = \bar{a} \times P_D^{\Pi p} \Rightarrow \bar{a} = \frac{\overline{P^{\Pi p}}(P^{\Pi p}, \phi^{\Pi p})}{P_D^{\Pi p}(P_D^{\Pi p}, \phi_D^{\Pi p})}. \quad (2)$$

Тогда:

$$\bar{a} = \frac{\overline{P^{\text{Кор}}}(P^{\text{Кор}}, \phi^{\text{Кор}})}{P_D^{\text{Кор}}(P_D^{\text{Кор}}, \phi_D^{\text{Кор}})} \Rightarrow \overline{P^{\text{Кор}}}(P^{\text{Кор}}, \phi^{\text{Кор}}) = \bar{a} \times P_D^{\text{Кор}}(P_D^{\text{Кор}}, \phi_D^{\text{Кор}}) \quad (3)$$

Таким образом, остаточная вибрация находится по следующей формуле:

$$\bar{\varepsilon} = \overline{A^0}(A^0, \phi^0) + \overline{P^{\text{Кор}}}(P^{\text{Кор}}, \phi^{\text{Кор}}). \quad (4)$$

Задача заключается в нахождении

$$\sum_{i=1}^N \bar{\varepsilon}_i = \min.$$

Следует отметить, что в данной математической модели направление вектора остаточной вибрации не играет роли, поэтому измерения могут быть проведены в любом направлении (вертикальном, горизонтальном и осевом) без влияния на результаты.

### Эксперимент

В качестве исследуемых плоскостей выбраны Диск №1, Диск №3 и Опора №2 (рис. 3).



Рисунок 3. Лабораторный стенд

Балансировка проводилась следующим образом:

1. Определяем резонансную частоту вращения методом «разгона-выбега».

2. Снимаем значения нулевой вибрации (амплитуд и фаз колебаний на частоте вращения) —  $A^0_{11}, \varphi^0_{11}; A^0_{21}, \varphi^0_{21}$ .

3. Устанавливаем пробную массу весом 17,21 гр, а затем – 59,07 гр на случайный угол плоскости коррекции (Диск №1), в данном эксперименте угол составляет 216 град.

4. Замеряем полученные значения вибрации на исследуемой опоре (Опора №2) —  $A^{\Sigma Pr}_{11}, \varphi^{\Sigma Pr}_{11}; A^{\Sigma Pr}_{21}, \varphi^{\Sigma Pr}_{21}$ .

С помощью программы расчета определяем значения ДКВ для массы на этом углу —  $R^{Pr}_{11}, \varphi^{Pr}_{11}, a_{11}, \varphi_{a11}; R^{Pr}_{21}, \varphi^{Pr}_{21}, a_{21}, \varphi_{a21}$ .

5. Снимаем пробную массу с установки.

6. Устанавливаем дополнительную массу весом 17,85 гр, а затем – 58,73 гр на другую плоскость коррекции (Диск №3), на угол 240 град.

7. Замеряем полученные значения вибрации на той же опоре (Опора №2), приняв ее за нулевую —  $A^0_{12}, \varphi^0_{12}; A^0_{22}, \varphi^0_{22}$ .

8. Возвращаем пробную массу из п.3 на место (Диск №1).

Производим замеры вибрации на опоре (Опора №2) —  $A^{\Sigma Pr}_{21}, \varphi^{\Sigma Pr}_{21}; A^{\Sigma Pr}_{22}, \varphi^{\Sigma Pr}_{22}$ .

Вносим полученные значения вибраций и фаз в программу расчета. Получаем значения ДКВ —  $R^{Pr}_{21}, \varphi^{Pr}_{21}, a_{21}, \varphi_{a21}; R^{Pr}_{22}, \varphi^{Pr}_{22}, a_{22}, \varphi_{a22}$ .

Результаты проведенных исследования представлены в таблице 1.

## Результаты эксперимента

1-й диск 2-я опора					
			1 раз	2 раз	Примечание
			Эксперимент 1	I без лишних масс	
$\varphi^0_{11}$	141,8	141,9			
$A^{\Sigma Pr}_{11}$	264,49	265,79			*Установили груз массой=17,21гр на угол=216град
$\varphi^{\Sigma Pr}_{11}$	138,6	139,4			
$P^{Pr}_{11}$	33,78	21,57			
$\varphi^{Pr}_{11}$	347,72	354,41			
<b>a<sub>11</sub></b>	<b>1,96</b>	<b>1,25</b>			
$\varphi_{a11}$	131,72	138,41			
II с лишними массами	$A^0_{12}$	260,66		270,83	*Повесили на 3 диск лишнюю массу=17,85 на угол=240град
	$\varphi^0_{12}$	137,3		136,7	
	$A^{\Sigma Pr}_{12}$	237,82		252,22	*Установили груз массой=17,21 гр на угол=216град
	$\varphi^{\Sigma Pr}_{12}$	133,6		133,1	
	$P^{Pr}_{12}$	27,93		24,81	
	$\varphi^{Pr}_{12}$	350,63		356,35	
	<b>a<sub>12</sub></b>	<b>1,62</b>		<b>1,44</b>	
	$\varphi_{a12}$	134,6	140,35		
1-й диск 2-я опора					
			1 раз	2 раз	Примечание

Эксперимент 2	I без лишних масс	$A^0_{21}$	287,44	297,13	
		$\varphi^0_{21}$	104,7	104,6	
		$A^{\Sigma Pr}_{21}$	210,31	218,7	*Установили груз массой=59,07гр на угол=216град
		$\varphi^{\Sigma Pr}_{21}$	95,8	95	
		$P^{Pr}_{21}$	86,05	89,28	
		$\varphi^{Pr}_{21}$	306,92	308,71	
		<b>a<sub>21</sub></b>	<b>1,46</b>	<b>1,51</b>	
		$\varphi_{a21}$	90,92	92,71	
	II с лишними массами	$A^0_{22}$	246,39	233,41	*Повесили на 3 диск лишнюю массу=58,73 на угол=240град
		$\varphi^0_{22}$	86,1	86,3	
		$A^{\Sigma Pr}_{22}$	190,99	179,51	*Установили груз массой=59,07 гр на угол=216град
		$\varphi^{\Sigma Pr}_{22}$	69,4	69,7	
		$P^{Pr}_{22}$	83,897	108,51	
		$\varphi^{Pr}_{22}$	306,96	314,09	
		<b>a<sub>22</sub></b>	<b>1,42</b>	<b>1,84</b>	
$\varphi_{a22}$		90,96	98,09		

где  $A^0$  – амплитудное значение нулевого вектора вибрации, мкм;  
 $\varphi^0$  – фаза нулевого вектора вибрации, град;  
 $A^{\Sigma Pr}$  – амплитудное значение вектора вибрации после установки пробной массы, мкм;  
 $\varphi^{\Sigma Pr}$  – фаза корректирующего вектора вибрации после установки пробной массы, град;  
 $P^{Pr}$  – амплитудное значение вектора влияния, мкм;



$\varphi^{Pr}$  – фаза вектора влияния, град;

$a$  – ДКВ;

$\varphi_a$  – угол ДКВ, град.

### **Заключение**

По результатам проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. В ходе определения ДКВ, на начальных этапах исследования, возникла проблема определения искомым коэффициентов. По результатам балансировочных экспериментов было обнаружено, что ДКВ могут изменяться в зависимости от выбора расстановки и масс корректирующих грузов;

2. Зависимость значений ДКВ от взаимного влияния масс, установленных на разных плоскостях коррекции:

*1 эксперимент*

**$a_{11} = 1,96$  и  $a_{11} = 1,25$ ,**

**$a_{12} = 1,62$  и  $a_{12} = 1,44$**

Разница между полученными значениями составила 34% и 19%.

*2 эксперимент*

**$a_{21} = 1,46$  и  $a_{21} = 1,51$ ,**

**$a_{22} = 1,42$  и  $a_{22} = 1,84$**

Разница между полученными значениями составила 4% и 33%.

Значительного отличия в значениях ДКВ при изменении дисбалансов не выявлено. Расхождение можно объяснить случайной погрешностью замеров исходных данных и инструментальной погрешностью измерительной системы.

В дальнейшем планируется проведение экспериментов для проверки других факторов, влияющих на значение ДКВ, таких как разность величин пробной и корректирующей масс и разность углов их установки.

### **Список литературы**

1. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. /Ред. совет: В.Н. Челомей (председатель). –М.: Машиностроение, 1981. – Т.6. Защита от вибрации и ударов / Под ред. К.В. Фролова, 1981. – 456 с.

2. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин. - М.: Машиностроение, 1999. - 344 с.

3. Гусаров А.А., Деглин Э.Г. Балансировка упругодеформируемых роторов методом постановки балансировочных грузов на упругих элементах // Колебания и уравнивание роторов. – М.: Наука, 1973. – 140 с.

4. Диментберг Ф.М., Шаталов К.Т., Гусаров А.А. Колебания машин. – М.: Машиностроение, 1964. – 220 с.

5. Шепетильников А.В. Балансировка машин и приборов. – М.: Машиностроение, 1979. – 294 с.

**Изотов Николай Владимирович, Васютина Анастасия Александровна,  
Лапин Юрий Алексеевич**  
**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
МОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА**

*ДВФУ, Политехнический институт (Школа), Инженерный департамент,  
отделение машиностроения, морской техники и транспорта  
690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10  
Научный руководитель: доцент Портнова Олеся Сергеевна*

**Аннотация.** Разработка программного обеспечения для проведения балансировки гибких роторов необходимо начинать с проведения модального анализа. В статье приведен литературный обзор по изгибным колебаниям и методы модального анализа. Модальный анализ проводится для реального объекта – турбины высокого давления Турбогенератора мощностью 100 МВт. Исследования выполнены с учетом жестких и податливых опор.

**Ключевые слова:** модальный анализ, гибкий ротор, критическая частота, метод Морю.

**Введение.** Созданию проектов роторов турбин, вентиляторов и других судовых или промышленных агрегатов с роторами сталкивается с проблемой: критической частотой вращения. Эта скорость равна частоте собственных колебаний всей роторной системы. При проектировании стараются сформировать систему так, чтоб критическая частота вращения была за рабочим диапазоном частот, но это не всегда возможно. В случае превышения этой частоты возникает риск деформации вала, что в свою очередь может привести к выходу из строя всего агрегата или перегреву и ускоренному износу отдельных компонентов ротора [1,2].

Модальный анализ роторов значительно снижает потребность в вычислительных ресурсах. Этот вид анализа помогает определить критические частоты вращения ротора и формы колебаний при этих частотах. В результате модальный анализ способствует созданию математической модели конструкции, которая обладает характеристиками, приближенными к действительности. [2].

Исследование модального анализа предоставляет возможность балансировки ротора на критических частотах, позволяя таким образом преодолеть критическую частоту с безопасными и стандартизированными амплитудами, которые не создают повышенной вибрации, температур и в тоге дефектов. Кроме того, некоторые ученые, проводят множество математических экспериментов для конкретного ротора, и на основе изменения модального анализа способны определить, какой дефект возник на роторе [3]. Следовательно, при создании таблиц статистических данных разного оборудования можно будет определять дефект на подобных агрегатах с помощью проведения модального анализа.

Расчет собственных частот вращения ротора может быть выполнен с использованием ряда математических формул, основанных на теоретической механике и сопротивлении материалов, или с применением метода конечных элементов и современных программных средств.

Математические формулы, используемые для расчета собственных частот, являются сложными и требуют глубоких знаний в области теоретической механики и сопротивления материалов. Однако, использование метода конечных элементов позволяет упростить процесс расчета, так как он основан на применении современных программных комплексов, которые автоматизируют процесс вычисления.

Метод конечных элементов предполагает разбиение конструкции на множество малых элементов, для каждого из которых определяются характеристики деформации и перемещения. Затем эти элементы объединяются в общую систему, и на основе полученных данных вычисляются собственные частоты и формы колебаний.

Таким образом, расчет собственных частот ротора может быть осуществлен с использованием математических формул или метода конечных элементов, выбор между которыми зависит от требований к точности и сложности вычислений. Но при этом используя математические методы можно написать универсальное программное обеспечение, которое сможет находить формы колебания при собственных частотах.

Для начального этапа исследования был выбран реальный двух опорный объект: турбина высокого давления (рис. 1). Впоследствии планируется последовательно добавить турбину среднего давления, турбину низкого давления и генератор. И таким образом, довести программу до расчета многоопорного объекта исследования.

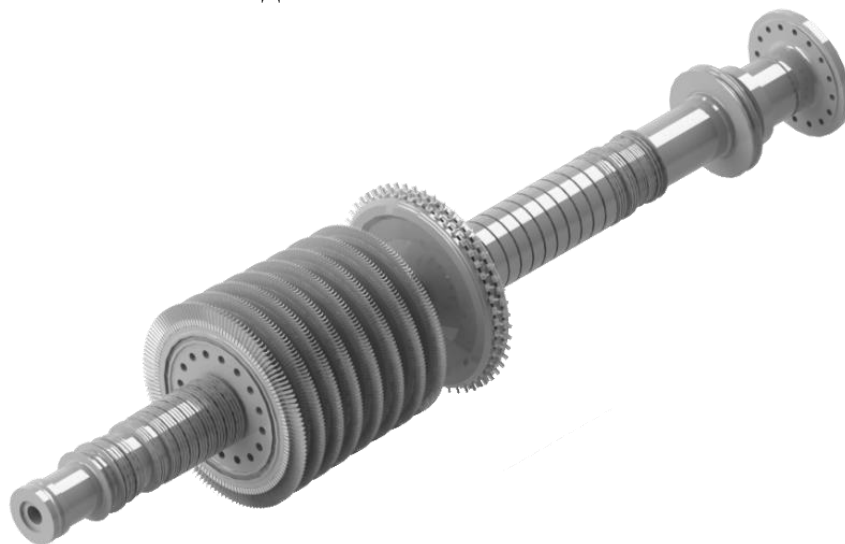


Рисунок 1. Турбины высокого давления Турбогенератора мощностью 100 МВт

В ранее опубликованной работе [4] рассматривались два математических метода: метод универсальных уравнений и метод начальных параметров. Но с помощью этих методов не решается проблема переменного диаметра на роторе

(каждый участок может иметь свой диаметр). Поэтому было решено использовать метод Моро [5], так как данный метод рассматривает каждый участок со своей жесткостью, а жесткость в свою очередь зависит от диаметра участка.

В данном исследовании модального анализа на реальном объекте задачу разбили на две подзадачи, а не три как ранее [4]: модальный анализ ротора с переменным диаметром на жестких опорах и модальный анализ ротора с переменным диаметром на податливых опорах. Ротор в матмодели рассматривался в качестве балки с трубчатым сечением, а массу участка определяли за счет длины участка, внешнего и внутреннего диаметра, а также плотности материала. Диски с лопатками в данном случае стали дополнительной массой в определенных местах на балке.

Решение первой подзадачи (модель ротора с переменным диаметром на абсолютно жестких опорах) методом Моро было прописана в среде числовых вычислений, обладающая широким спектром функций, облегчающих процесс разработки. Вместо того чтобы писать сложные формулы с нуля, можно использовать готовые инструменты среды числовых вычислений. Данная среда предоставляет возможность быстрого и эффективного выполнения математических операций, что значительно ускоряет процесс разработки программы.

Жесткость опор ротора была принята выше характеристик жесткости подшипников качения ( $10^{14}$  Н/м) для решения подзадачи без учета влияния жесткости опор на систему ротор-поры.

В результате программы выдает собственные частоты и формы колебания, которые представлены на рис. 2.

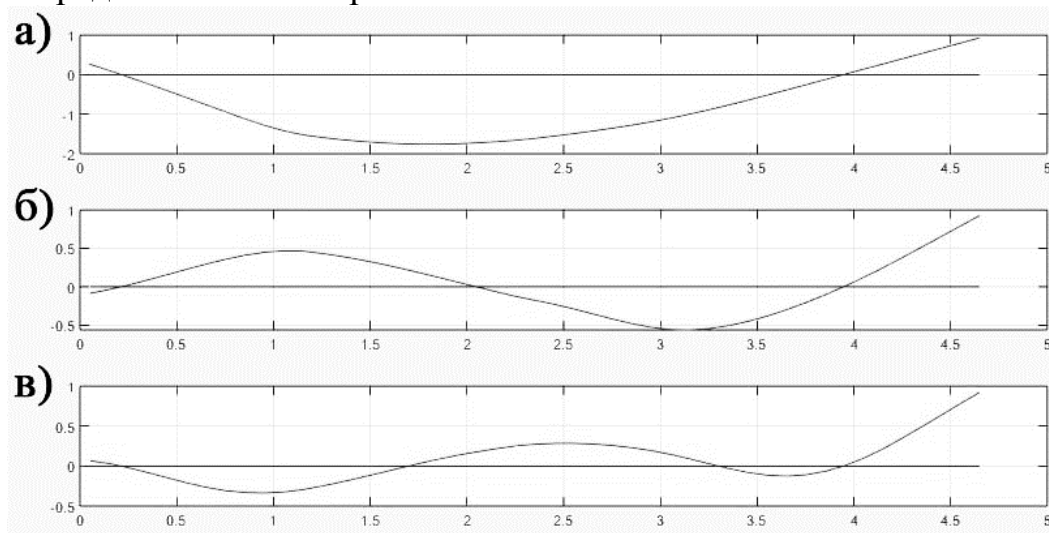


Рисунок 2. Формы колебаний, полученные методом Моро: а) 29,99 Гц; б) 110,57 Гц; в) 174,75 Гц.

Для метода конечных элементов использовалась программа «COMSOL Multiphysics». В данной программе была сформирована модель выбранного

ротора высокого давления турбоагрегата и заданы все необходимые параметры (инерции, массы и линейные размеры) для получения форм колебаний на собственной частоте (рис. 3).

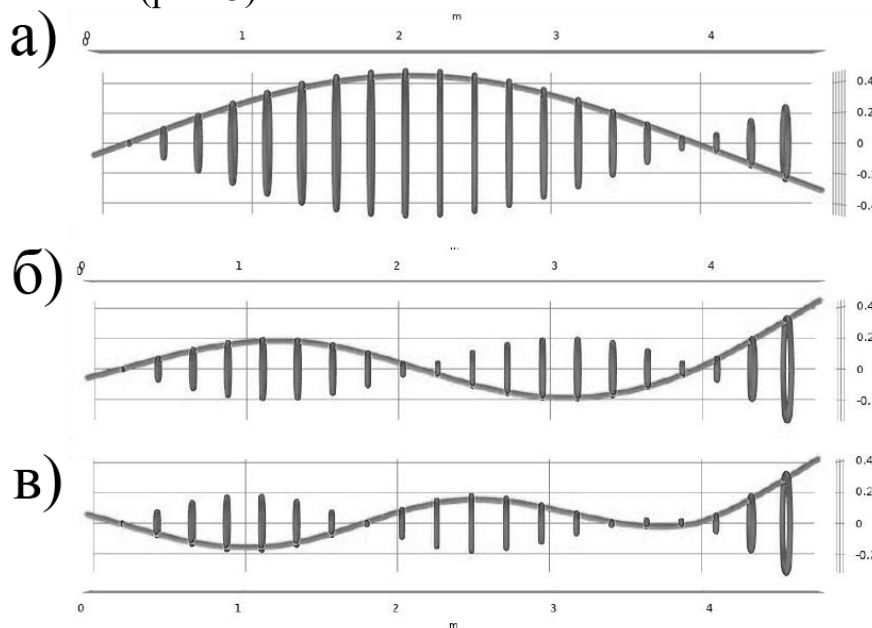


Рисунок 3. Формы колебаний, полученные в программе «COMSOL Multiphysics»:

а) 32,17 Гц; б) 120,75 Гц; в) 191,01 Гц.

Анализ полученных данных двумя методами выявил идентичное очертание первых трех форм колебаний. В данной работе рассматривали только первые три формы, так как расчет каждой последующей формы увеличивают время расчета в несколько раз.

Погрешность между методами по расчету критический частот составила:  $7,5 \pm 1,1\%$ .

Во второй подзадаче исследовался ротор с постоянным диаметром, но уже на податливых опорах. Податливость опор в первой задаче можно считать равной 10-14 м/Н – что будет соответствовать жестким опорам, а значение для податливых опор – 10-8 м/Н.

На рисунке 4 представлены формы колебаний при собственных частотах.

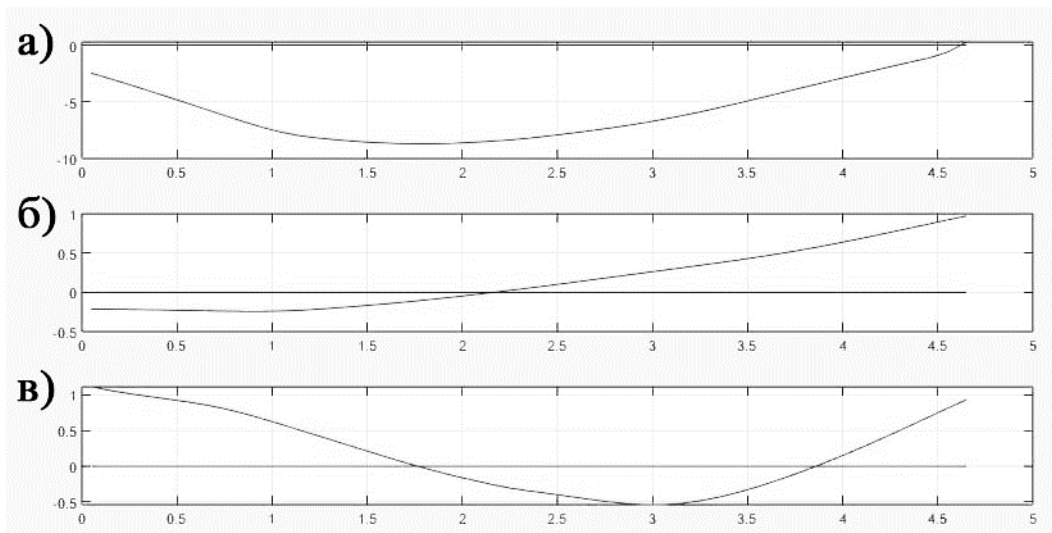


Рисунок 4. Формы колебаний, полученные методом Морэ на податливых опорах:  
 а) 23,56 Гц; б) 47,43 Гц; в) 89,63 Гц.

Формы, полученные в программе «COMSOL Multiphysics» представлены на рисунке 5.

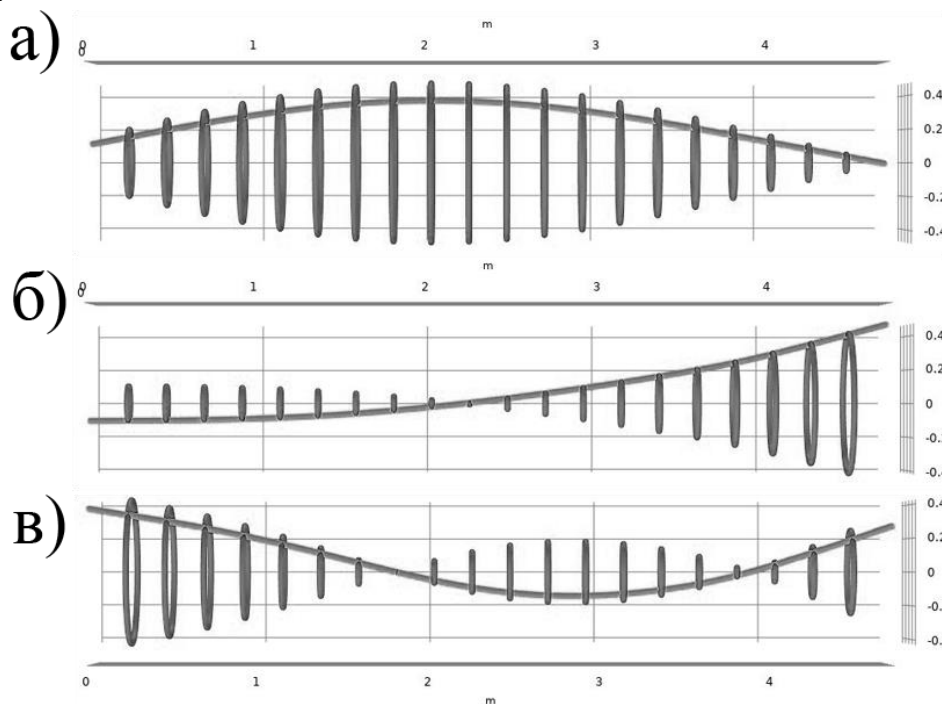


Рисунок 5. Формы колебаний, полученные в программе «COMSOL Multiphysics»:  
 а) 24,38 Гц; б) 43,96 Гц; в) 77,55 Гц.

В результате произошло снижение собственных частот, что соответствует данным описанными в книгах по вибрации, например, под авторством А.И. Ермакова, А.М. Уланова [6]. В данном случае очертания форм совпадает у двух

методов, а погрешность рассчитанных частот между методами составила:  $10,9 \pm 6,8\%$ . Погрешность растет при увеличении частоты вращения, а при низких частотах погрешность может составлять менее 4%.

К сожалению, COMSOL Multiphysics» дорогостоящая и для нее необходимы хорошее и современно аппаратное обеспечение, что не применимо для выполнения выездных балансировок. Следует отметить, что дальнейшего написания программы балансировки в «COMSOL Multiphysics» на данный момент не представляется возможным – объединить два закона (расчет собственный частот и форм с расчетом балансировки) не вышло.

Программа, написанная в среде числовых вычислений на основе метода Мора, тоже не является конечной форма необходимого результата (балансировка ротора). Необходимо провести еще множество математических расчетов и проведение натурных испытания.

### **Заключение**

Создание универсального программного обеспечения, которое сможет рассчитать и показать формы колебания на собственных частотах, необходима для балансировки гибких роторов, а также для проектирования роторов, для того, чтоб собственная частота была выше рабочей – для уменьшения амплитуды колебаний. В данной статье отражено, что разработанное универсальное программное обеспечение рассчитывает двух опорные ротора с переменным диаметром. И необходимы дальнейшие исследования для повешения точности программы, а также добавления следующей части расчета: расчет многоопорного ротора. Параллельно этому будет разрабатываться основной блок: балансировка ротора на основе модального анализа.

### **Список литературы**

1. Иванов А.В. Модальный анализ динамических систем роторов / А. В. Иванов, М. К. Леонтьев // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2005. – № 3. – С. 31-35
2. Красюк А.М., Косых П.В. Исследование изгибных колебаний роторов вентиляторов главного проветривания, Интерэкспо Гео-Сибирь, том 2, №3, 2016, С. 152-156
3. Zhi-Yuan Wu, Han Yan, Lin-Chuan Zhao, Ge Yan, Ao Chen, Wen-Ming Zhang Modal characteristics of a flexible dual-rotor coupling system with blade crack, Journal of Sound and Vibration, Volume 567, 2023, 118061, ISSN 0022-460X, <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2023.118061>.
4. Васютина А.А., Лапин Ю.А., Изотов Н.В. Разработка по для проведения балансировки гибких роторов/ материалы студенческой научно-практической конференция ДВФУ «Наука, техника, промышленное производство: история, современное состояние, перспективы», Владивосток 18 декабря 2023 – 15 января 2024 (в редакции)
5. Энергетические методы определения перемещений и решение статически неопределимых балок методом сил: Учеб.пособие для студентов / И.А. Сабанаев, Ф.М. Алмакаева; Казан.гос.технол.ун-т. Казань, 2008. 41 с.

6. Ермаков А.И. Вибрация и прочность АД и ЭУ. 4.1: учеб. пособие. / А.И. Ермаков, А.М. Уланов. - Самара: Изд-во Самар, гос. аэрокосм, ун-та, 2006. - 92 с

**Лапин Юрий Алексеевич**

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКОГО ВОЗМУЩАЮЩЕГО  
МОМЕНТА СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ ПРИ РАСЧЁТАХ РЕЗОНАНСНОЙ  
АМПЛИТУДЫ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ**

*ДВФУ, Политехнический Институт, Отделение машиностроения, морской  
техники и транспорта, 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский,  
п. Аякс, 10*

*Руководитель Портнова О.С, канд. техн. наук*

**Аннотация:** В статье представлен уточнённый метод для определения гармонических возмущающих моментов судовых дизелей при помощи гармонических коэффициентов. Уточнение происходит за счёт разделение общей диаграммы возмущающего момента дизеля на две составляющие – крутящий момент от сил давления газов и крутящий момент от сил инерции поступательно движущихся частей. Представлены зависимости для расчёта гармонических коэффициентов для моментов от сил давления газов и от сил инерции.

**Ключевые слова:** Крутильные колебания, судовой валопровод, дизельный двигатель, гармонические коэффициенты.

**Введение**

Дизельные двигатели используются в качестве главных и вспомогательных на большинстве морских и речных судов [3,6]. При этом он является основным и наиболее значимым источником возбуждения крутильных колебаний в судовых валопроводах и дизель – генераторах [1,3,4,6]. Величина напряжений в элементах валолинии и степень опасности крутильных колебаний, возникающих в рассматриваемой установке, определяется величиной резонансной амплитуды. Величина резонансной амплитуды зависит от соотношения возмущающего и демпфирующего момента, возникающих в элементах валолинии [1,4]. С ростом параметров рабочего процесса в современных судовых дизельных двигателях, величина создаваемого ими возмущающего момента значительно изменяется. При этом величина демпфирующего момента изменяется менее значительно, так как зависит в основном от конструктивных параметров кривошипно – шатунного механизма [1,2,4]. В связи с этим, одной из наиболее актуальных задач при расчёте резонансной амплитуды крутильных колебаний является расчёт гармонических возмущающих моментов ДВС.

**Существующие методы расчёта гармонических возмущающих моментов судовых дизелей**

Гармоническими возмущающими моментами дизеля называются гармонические составляющие диаграммы крутящего момента этого двигателя.



Общий вид диаграммы крутящего момента двухтактного представлен на рис. 1. Общий вид спектра амплитуд и фаз гармонических составляющих приведён на рис. 2.

Определить величину этих составляющих можно при помощи разложение диаграммы крутящего момента в ряд Фурье, либо с использованием гармонических коэффициентов [1,4,5,7]. Использование преобразования Фурье сопряжено с различными трудностями. Для применения этого метода необходимо располагать развёрнутой индикаторной диаграммой – зависимостью давления в цилиндре от угла ПКВ, либо построить эту диаграмму при помощи расчёта [1,4]. Для построения индикаторной диаграммы необходимо располагать данными о рабочем процессе двигателя на различных режимах нагрузки. В число этих данных входят значения давлений в характерных точках рабочего цикла –  $P_a$ ,  $P_c$ ,  $P_z$ ,  $P_b$ , которые не всегда имеются в распоряжении расчётчика. Также выполнение преобразования Фурье требует навыка работы в специализированных вычислительных программах.



Рисунок 1. Диаграмма крутящего момента двухтактного дизеля

Применение гармонических коэффициентов позволяет облегчить процесс расчёта гармонических возмущающих моментов ДВС. Метод с использованием гармонических коэффициентов основан на применении эмпирических коэффициентов, учитывающих рабочий процесс в дизеле для расчёта создаваемых им гармонических возмущающих моментов [1,4]. Один из недостатков этого метода заключается в том, что значения гармонических коэффициентов необходимо регулярно обновлять для дизелей более позднего выпуска в связи с изменением параметров их рабочего процесса [3,6]. Также, расчётные зависимости, приведённые в различной литературе, допускается применять для двигателей с близким соотношением мощности, частоты

вращения и габаритов. Если соотношение сил от инерции поступательно движущихся масс и сил от давления газов исследуемого дизеля будет значительно отличаться от дизеля, для которого гармонический коэффициент был рассчитан, то погрешность расчёта гармонических возмущающих моментов будет высокой.

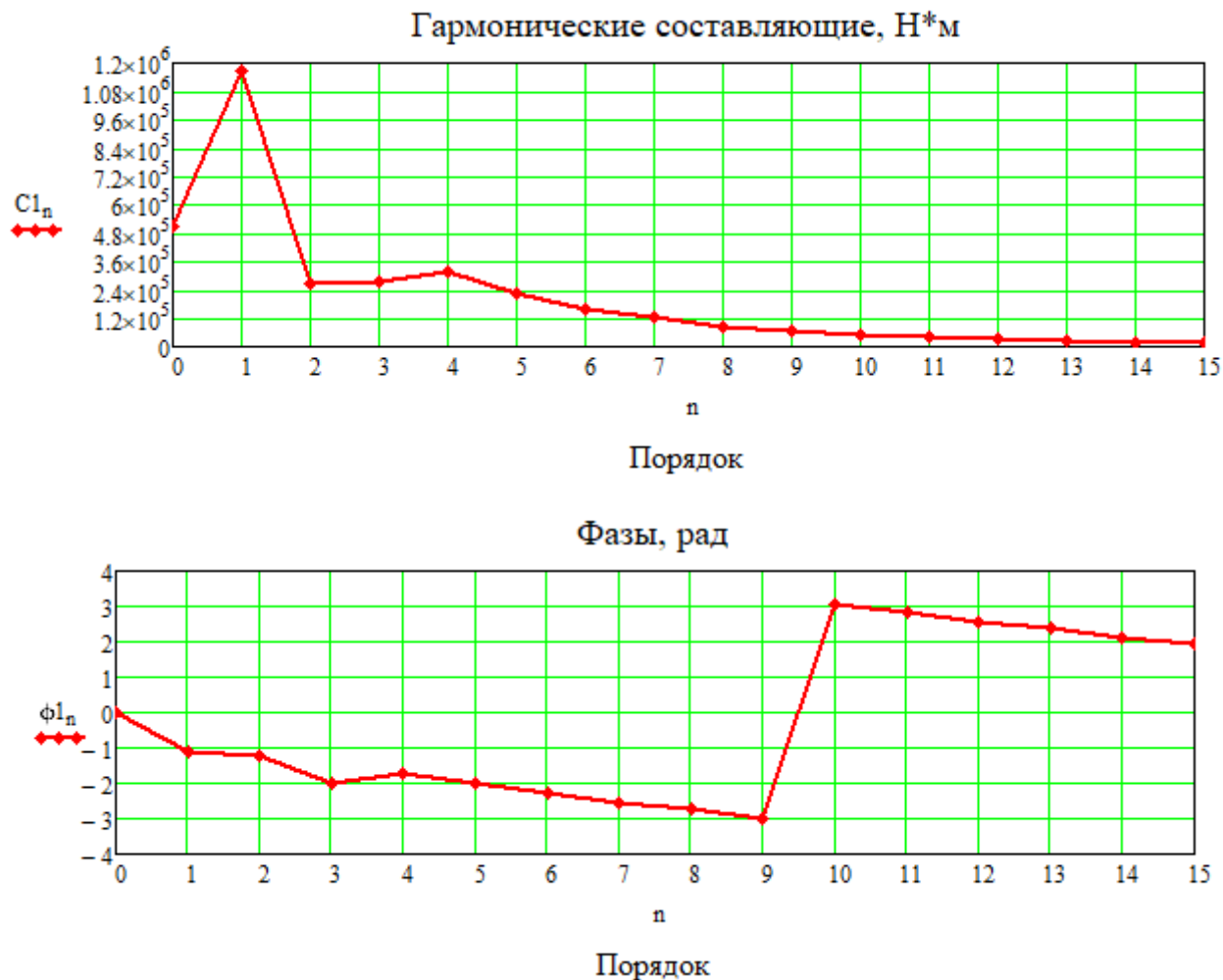


Рисунок 2. Порядковый спектр амплитуд и фаз гармонических составляющих диаграммы крутящего момента

### **Повышение точности расчёта гармонических возмущающих моментов при использовании гармонических коэффициентов**

На практике определение возмущающего момента судовых дизелей при помощи гармонических коэффициентов удобней, чем путём разложения диаграммы крутящего момента в ряд Фурье. Для повышения точности расчётов этим методом, целесообразно разделить диаграмму суммарного крутящего момента дизеля на две составляющих. Первая составляющая – крутящий момент от сил давления газов, вторая оставшаяся – крутящий момент от сил инерции поступательно движущихся частей. Общий вид диаграмм крутящего момента от сил давления газов и сил инерции для двухтактного двигателя приведены на рис

3 и рис 4. Усилие от давления газов определяется параметрами рабочего процесса дизеля и давлениями в характерных точках цикла. Силы инерции определяются массой деталей КШМ и частотой вращения коленчатого вала. Раздельный учёт этих параметров позволит снизить погрешность при определении двигателей одного поколения, но различной мощности. Например, в случае с малооборотными двигателями – чем выше мощность и габариты дизеля, тем ниже номинальная частота вращения.



Рисунок 3. Диаграмма крутящего момента от сил давления газов

Также, целесообразно рассчитывать гармонические коэффициенты отдельно для двигателей одного конструктивного типа (малооборотный, среднеоборотный, высокооборотный) и поколения. То есть для двигателей, у которых в наибольшей степени схожи параметры рабочего процесса и габариты. Это позволит уменьшить погрешность расчёта при определении гармонических возмущающих моментов для дизелей разных поколений.

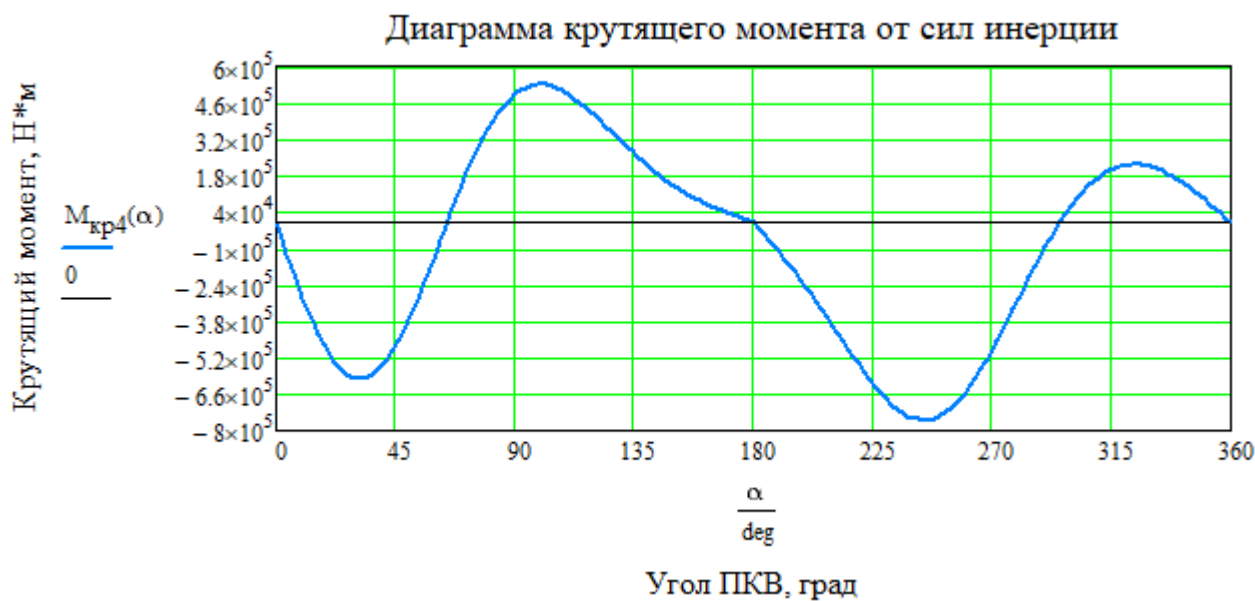


Рисунок 4. Диаграмма крутящего момента от сил давления инерции

**Подобие диаграмм крутящего момента судовых дизелей. Определение гармонических коэффициентов по данным преобразования Фурье**

Гармонический коэффициент является критерием подобия гармонических возмущающих моментов, создаваемых дизельными двигателями. Для расчёта этих коэффициентов необходимо знать величины, определяющие подобие гармонических возмущающих моментов.

Крутящий момент на коленчатом валу определяется как произведение тангенциальной силы на плечо (радиус кривошипа):

$$M_{кр} = T \cdot R_{кр} \tag{1}$$

где  $T$  – тангенциальное усилие на шатунной шейке, Н;

$R_{кр}$  – радиус кривошипа, м.

Выражение (1) справедливо и по отношению к крутящему моменту от сил давления газов и от сил инерции поступательно движущихся масс. Поэтому в первую очередь, крутящий момент (и его гармонические составляющие) определяются радиусом кривошипа  $R_{кр}$ .

Тангенциальное усилие от давления газов определяется величиной давления газов и площадью поршня:

$$T_{г} = p_{г} \cdot \frac{\pi \cdot D_{ц}^2}{4} \tag{2}$$

где  $p_{г}(\alpha)$  – давление газов, Па;

$D_{ц}$  – диаметр цилиндра, м.

Для дизелей одного поколения конструктивного исполнения и поколения давление газов в характерных точках цикла будет схожим. Поэтому для силы давления газов определяющим параметром является площадь поршня, или квадрат диаметра цилиндра.

Исходя из вышеперечисленного, крутящий момент от силы давления газов определяется радиусом кривошипа, квадратом диаметра поршня и средним эффективным давлением газов в цилиндре:

$$M_{\Gamma} = f(R_{\text{кр}}, D_{\text{ц}}^2, p_e) \quad (3)$$

Гармонический коэффициент для моментов от сил давления газов:

$$C_{\nu\Gamma}(p_e) = \frac{M_{\nu\Gamma}(p_e)}{R_{\text{кр}} \cdot D_{\text{ц}}^2} \quad (4)$$

где  $M_{\nu\Gamma}$  – гармонический возмущающий момент  $\nu$ -го порядка.

Сила инерции поступательно движущихся масс определяется зависимостью, выводящейся из кинематики и динамики КШМ:

$$P_S(\alpha) = -m_{\text{ПДМ}} \cdot R_{\text{кр}} \cdot \left(2\pi \frac{n_{\text{вр}}}{60}\right)^2 \cdot (\cos(\alpha) + \lambda_{\text{ш}} \cdot \cos(2\alpha)) \quad (5)$$

где  $\alpha$  – угол ПКВ;

$n_{\text{вр}}$  – частота вращения коленчатого вала, об/мин;

$m_{\text{ПДМ}}$  – масса поступательно движущихся деталей, кг;

$\lambda_{\text{ш}}$  – постоянная КШМ.

Эта сила определяется массой поступательно движущихся деталей, радиусом кривошипа, частотой вращения коленчатого вала и отношением длины шатуна к радиусу кривошипа. Для дизелей одного поколения конструктивного исполнения и поколения отношение длины шатуна к радиусу кривошипа будет схожим, как и прочие габаритные пропорции. Поэтому масса деталей КШМ будет определяться диаметром цилиндра в третьей степени.

Исходя из вышеперечисленного, крутящий момент от силы инерции поступательно движущихся масс определяется квадратом радиуса кривошипа, кубом диаметра поршня и частотой вращения коленчатого вала:

$$M_{\Gamma} = f(R_{\text{кр}}^2, D_{\text{ц}}^3, n_{\text{вр}}) \quad (6)$$

Гармонический коэффициент для моментов от сил инерции:

$$C_{\nu\Gamma}(n_{\text{вр}}) = \frac{M_{\nu\Gamma}(n_{\text{вр}})}{R_{\text{кр}}^2 \cdot D_{\text{ц}}^3} \quad (7)$$

где  $M_{\nu\Gamma}$  – гармонический возмущающий момент  $\nu$ -го порядка.

Рассчитанные таким образом гармонические коэффициенты для дизелей одной серии, но разных типоразмеров отличаются друг от друга менее чем на 15%, что подтверждает адекватность представленных зависимостей. Величины гармонических коэффициентов 7 порядка для сил давления газов  $C_{\nu\Gamma}(p_e)$  и сил инерции  $C_{\nu\Gamma}(n_{\text{вр}})$  приведены на рис. 5.

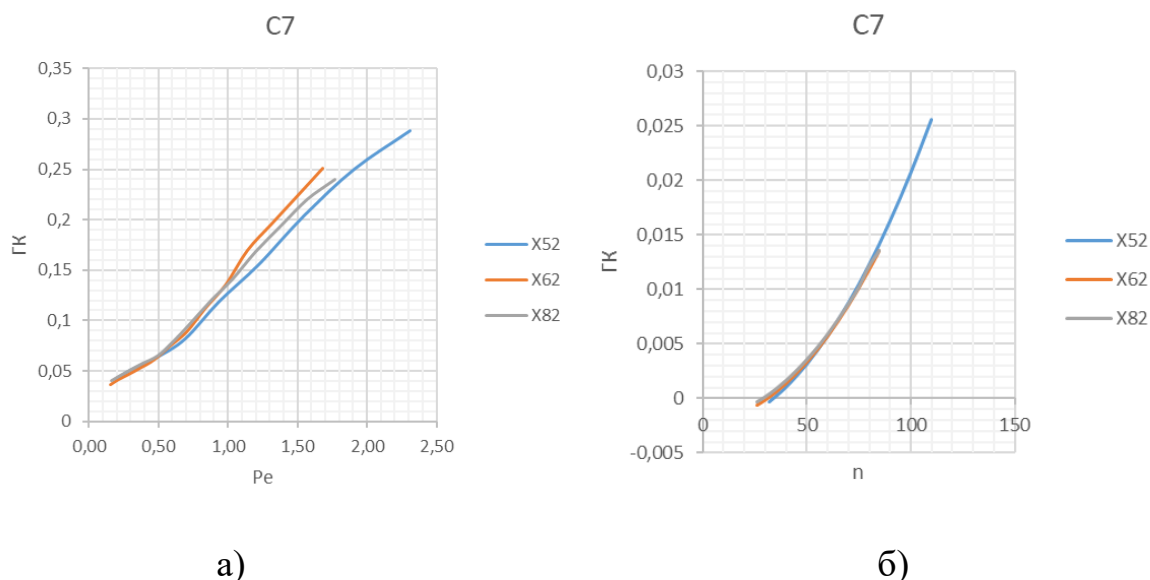


Рисунок 5. Рассчитанные гармонические коэффициенты 7 порядка для дизелей WinGD серии X: а) – от сил давления газов; б) – от сил инерции

### Предлагаемый метод расчёта гармонических возмущающих моментов судового дизеля

С учётом описанных выше уточнений, предлагаемая расчётная формула для гармонических возмущающих моментов судового дизеля имеет следующий вид:

$$\vec{M}_v = \vec{M}_{v\Gamma} + \vec{M}_{vи} \quad (8)$$

где  $\vec{M}_{v\Gamma}$  – вектор гармонического возмущающего момента от сил давления газов;  
 $\vec{M}_{vи}$  – вектор гармонического возмущающего момента от сил инерции.

Амплитуды этих векторов равны:

$$M_{v\Gamma} = D^2 \cdot R \cdot C_{v\Gamma}(P_e) \quad (9)$$

$$M_{vи} = D^3 \cdot R^2 \cdot C_{vи}(n_{вр}) \quad (10)$$

где  $C_{v\Gamma}(P_e)$  – гармонический коэффициент момента от сил давления газов;  
 $C_{vи}(n_{вр})$  – гармонический коэффициент момента от сил инерции.

Фазы этих векторов являются функциями от среднего эффективного давления и частоты вращения соответственно.

Для расчёта самих гармонических коэффициентов целесообразно применять преобразование Фурье.

### Заключение

В результате данной работы выполнено следующее:

1. Получены уточнённые зависимости для расчёта гармонических возмущающих моментов и гармонических коэффициентов судовых дизелей.

2. Математически выведено различие в параметрах, определяющих подобие составляющих крутящего момента от сил давления газов и сил инерции поступательно движущихся деталей.

Применение полученных зависимостей позволит снизить погрешность при определении величины резонансной амплитуды крутильных колебаний судовых дизелей.

### **Список литературы**

1. Крутильные колебания валопровода силовых установок: Исследования и методы расчета : [В 4 т.]. Терских В.П. – Л.: Судостроение, 1969-1970.

2. Способы повышения точности расчёта амплитуд крутильных колебаний судовых валопроводов. Лапин Ю.А. Молодежь и научно-технический прогресс Материалы региональной научно-практической конференции. Владивосток, май – июнь 2023 г. с 637-641

3. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Том 1 / Возницкий И.В., Пунда А.С. – СПб.: Моркнига, 2010 – 260 с.

4. Теория и практика исследований крутильных колебаний силовых установок с применением компьютерных технологий / Л. В. Ефремов ; Российская акад. наук, Ин-т проблем машиноведения. – СПб.: Наука, 2007. - 276 с

5. A. Milasinovic, I. Filipovic, Z. Milovanovic, D. Knežević, Determination of the engine torque of a four cylinder four stroke diesel engine on the basis of harmonic analysis of the crankshaft angular velocity, Transactions of FAMENA, Vol. 35, pp. 55-65, 01/01, 2011

6. Ponders Marine diesel engines and gas turbines / M. Latarche. - Butterworth Heinemann is an imprint of Elsevier, 2021 – 957 p.

7. Sorin Vlase, Marin Marin, Ahmed Elkhalfi, Praveen Ailawalia. Mathematical model for dynamic analysis of internal combustion engines. Journal of Computational Applied Mechanics 2022, №54(4) p 607-622

**Лойко Дмитрий Владимирович**  
**НЕОБХОДИМОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ**  
**ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ СПЕКТРОВ ВИБРАЦИИ**  
**ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ**

*Дальневосточный федеральный университет, Политехнический институт  
(школа), г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, 690922*

*Научный руководитель: Куценко Наталья Владимировна, к.т.н., доцент*

**Аннотация.** В статье представлен новый разработанный комплекс математического программирования для автоматического поиска дефектов подшипников качения. Уточнена необходимость применения такого комплекса в промышленности, описан алгоритм работы.

**Ключевые слова:** вибродиагностика, программный комплекс, подшипник качения, дефект, спектр, алгоритм, вибрация.

Подшипник качения любого механизма испытывает довольно сильные нагрузки, как тепловые, так и механические. Из-за вращения подшипника возникают вибрационные колебания, и чем сильнее изношен подшипник, тем более губительными могут быть эти вибрации для подшипника и механизма в целом.

Соответственно, чем быстрее и качественнее будет проведена диагностика подшипников такого механизма, тем быстрее будет выявлена необходимость внепланового срочного ремонта в случае критического износа, что позволит избежать неожиданной аварийной ситуации с оборудованием. А в случае исправности исследованных подшипников можно сделать прогноз о времени достижения ими критических состояний, что позволяет запланировать сроки ремонта и приобретение необходимых запчастей заранее.

Основным методом определения неисправности подшипников с давних пор служит специфический шум дефектного подшипника. Но такой дефектный подшипник может не издавать посторонних звуков, и неожиданно выйти из строя, испортив дорогостоящее оборудование, и остановить, например, производственную линию в самое неподходящее время, принеся владельцу значительные убытки.

Выявить заранее дефектный подшипник качения позволяют методы анализа спектров вибрации. Таким образом обнаруживаются, как только зарождающиеся, так и уже явные дефекты, такие, как дефекты изготовления, сборки, и эксплуатации. Главной отличительной особенностью такого анализа является то, что для анализа не требуется проводить разборку механизма, и выводить его из эксплуатации, будь то насос, или конвейер, или зубчатый редуктор.

Спектр вибрации несет в себе полезную информацию о состоянии отдельных узлов, кинематических связей и механизма в целом. По вибрационному сигналу могут быть обнаружены практически все виды зарождающихся дефектов без привлечения для диагностики других видов физических процессов.

Анализом спектров вибрации в нашей стране занимается несколько крупных компаний, и каждая предлагает свое оборудование и свои подходы к вибрационной диагностике и вибромониторингу. Но все эти подходы объединяет одно. Для того, чтобы исследовать дефект, вибродиагност должен пройти достаточно объёмный курс обучения, наработать собственную базу, приобрести или взять в аренду дорогостоящее оборудование, и крайне дорогостоящие программные комплексы.

Также одной из проблем становится отсутствие достаточного опыта в исследованиях крутильных колебаний механизмов, что сказывается на качестве такого анализа, и сроках выполнения.



Для минимизации ошибок при анализе спектров вибрации подшипников качения, и для ускорения производительности такого анализа был разработан программный комплекс на базе методов математического программирования.

При разработке программного комплекса использовался довольно распространенный для этих целей виброанализатор, в частности такой как СД-21, производства компании ООО «Ассоциация ВАСТ».

Виброанализатор сохраняет данные с аналогового датчика в виде координат - частоты измерений и значение этих частот, на выходе получается массив данных с достаточно большим количеством значений, зависящий от характеристик разрешающей способности прибора. СД-21 работает с 1600 линий.

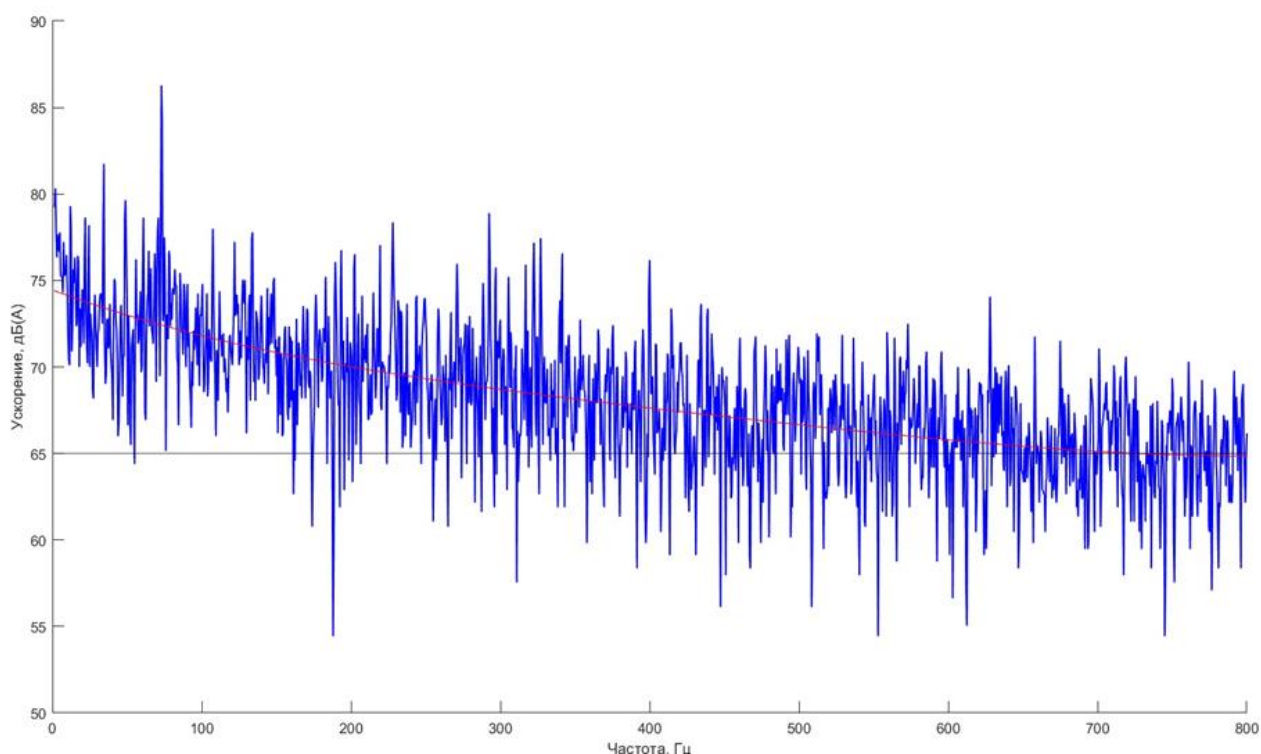


Рисунок 1 Третьооктавный спектр огибающей подшипника качения

Алгоритм анализа разработанного программного обеспечения следующий.

Первоначально проводятся измерения подшипника. Как правило для выявления дефектов достаточно одного измерения третьооктавного спектра огибающей в осевом направлении, с шириной спектра 800 Гц с 20-25 усреднениями. (рис. 1). При необходимости делаются дополнительные замеры в автоспектрах. Полученные спектры выгружаются в файл с данными, разделенными запятой.

Далее в программе математического программирования выбирается сохраненный файл с массивом данных. Вводятся измеренные датчиком скорости значения вращения вала, а также данные подшипника, такие как диаметр шариков, внутренний диаметр наружного кольца, наружный диаметр внутреннего кольца, угол контакта шарика с поверхностью, и количество шариков в подшипнике качения.

После этого программа запускается на выполнение.

Первым делом считывается из файла ячейки и разделяются на строки и столбцы, определяются единицы измерений. Далее уточняется шаг измерения, ширина измеряемого спектра и количество линий измерений, и на основании полученных данных строится график, с возможностью группового выделения интересующих точек (рис. 2).

Далее по формулам вычисляются собственные частоты подшипника качения, а также диапазон погрешностей на измерение. Как правило погрешность составляет один шаг в Гц. После определяются значения пиков спектра для последующего анализа и построение аппроксимирующей 4 порядка.

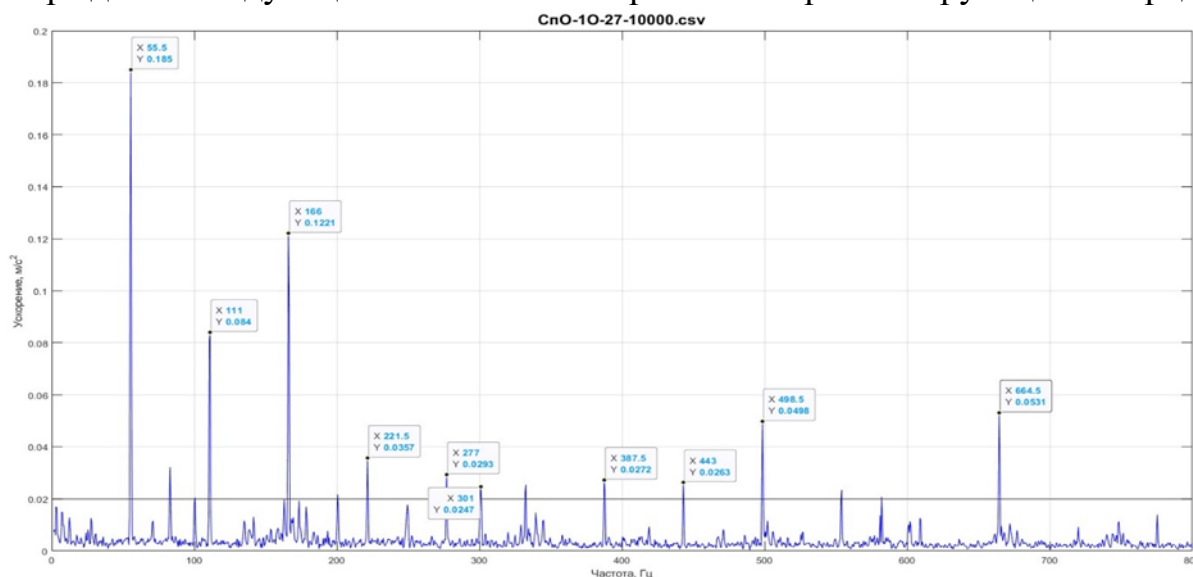


Рисунок 2 График с возможностью массового выделения точек спектра вибрации

Далее проводятся сравнения полученных массивов данных с расчетными в автоматическом режиме, и выводятся результаты такого сравнения. Результат может быть сохранен как в виде таблицы, так и в виде текстового файла (рис. 3).

```

Частота вращения = 24.97
Высота среза = 80
Характеристики подшипника:
Диаметр тела качения(шарика) = 22.32
Диаметр внутренней части наружного кольца = 108.5
Диаметр наружной части внутреннего кольца = 81.5
Угол контакта шарика подшипника = 0
Количество шариков подшипника = 8
-----
Совпала частота вращения сепаратора (fvr-fc)
          200                               92.88
-----
Нет совпадений частоты наружного кольца (fn)
-----
Нет совпадений частоты внутреннего кольца (fv)
-----
Совпадение частоты вращения шарика (ftk)
Раковины, сколы на телах качения
          100                               98.05
-----
Совпала частота вращения (fvr)
          100                               98.05
          199.5                             95.53
          299.5                             96.85
          399.5                             93.55
          499                               82.24
          599                               87.44
-----
Проскальзывание наружного кольца (1fvr-5%=2fvr) (fvr>4)
-----

```

Рисунок 3 Пример вывода автоматического отчета с дефектами

Кроме того, на графике автоматически наносятся линии дефектов, что позволяет проверить корректность автоматического вычисления, или скорректировать высоту измеряемых пиков (рис. 4, 5).

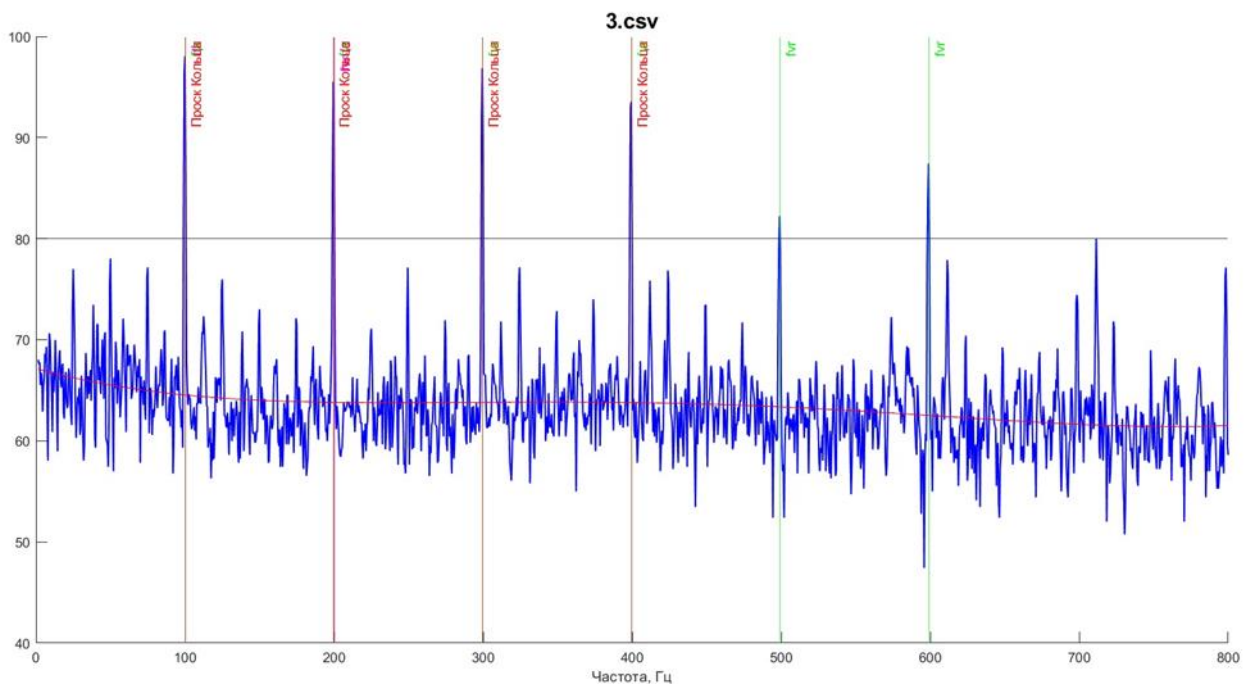


Рисунок 4 График с автоматическим расчетом дефектов на спектре вибрации (срез на 80дБ).

На рисунке 4, можно видеть, что проведен анализ пиков выше установочного уровня в 80 дБ, определен дефект как проскальзывание

внутреннего кольца, а также отображены пики, попавшие в собственную частоту вращения вала ( $f_{vr}$ ). Также видно, что амплитуда достаточно высока, что может свидетельствовать о достаточно высоком уровне износа вала в месте посадки подшипника.

На рисунке 5, при снижении среза измеряемых пиков до 72дБ, обнаруживается новый дефект, определяемый как дефект муфты, но так, как амплитуда относительно среднего уровня не сильно высока, то можно сделать вывод о только зарождающемся дефекте. В данном случае о несоосности или слабого крепления муфты, а также о биении вала.

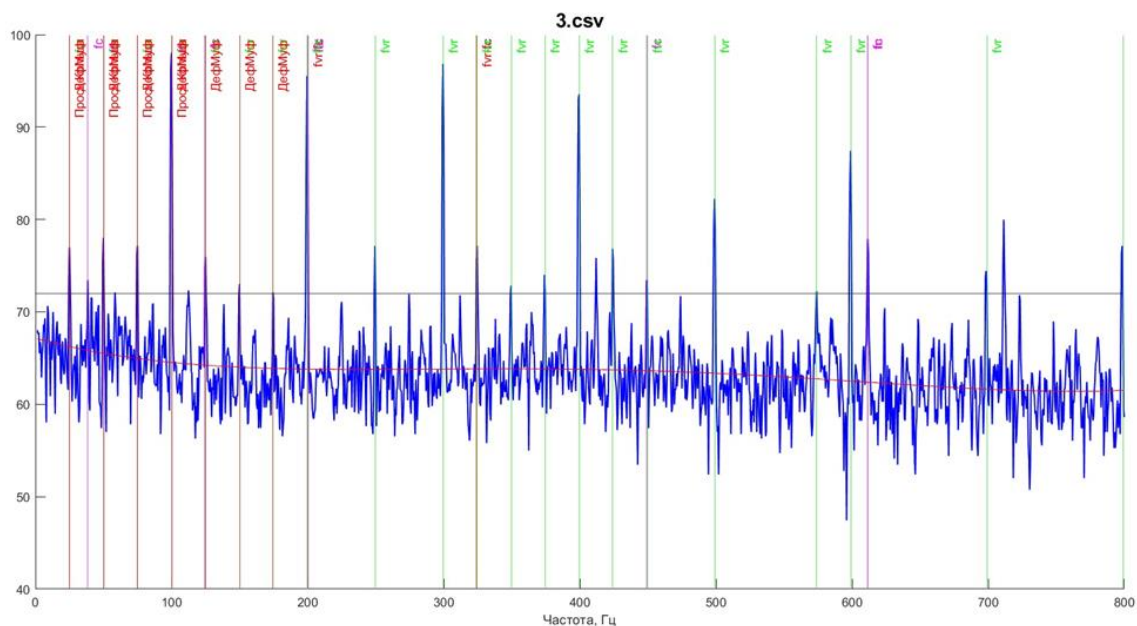


Рисунок 5 График с автоматическим расчетом дефектов на спектре вибрации (срез на 72дБ).

Отличительной особенностью разрабатываемого программного комплекса является его открытость, доступность, возможность мониторинга состояния для пользователей – не специалистов в области вибрационного анализа, а также минимальное количество вводимых данных и быстрая скорость анализа текущего состояния. Также несомненным плюсом является то, что код написан на математическом языке программирования, и может быть внедрен и переведен в различные приложения и программы.

Главным достоинством комплекса можно назвать его модульность – при добавлении нового алгоритма появляется возможность комбинирования анализа различных дефектов отличных от дефектов подшипников качения. Представляется что данный подход может быть востребован не только в научных исследованиях, но и в производственных целях.

Таким образом с применением математического программирования можно проводить анализ подшипников качения и другого роторного оборудования. В условиях ограниченного времени на ремонт оборудования, использование

такого подхода позволит резко снизить затрачиваемое время на анализ дефектов, позволит на ранних стадиях выявить только зарождающиеся дефекты.

Минимальное количество настроек, минимальное время на развертывание, а также простой математический алгоритм, позволяют быстро и качественно провести анализ спектра вибрации, будь то автоспектр или спектр огибающей. При необходимости легко изменить интересующие параметры, провести более глубокий анализ или добавить новый алгоритм, соответствующий текущим задачам.

### **Список литературы**

1. Барков А. В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации: учебное пособие / А. В. Барков, Н. А. Баркова, А. Ю. Азовцев. - Санкт-Петербург: Севзапучцентр, 2013. - 158 с.
2. Лукьянов А. В. Классификатор вибродиагностических признаков дефектов роторных машин: Справ. пособие / А.В. Лукьянов; М-во образования РФ, Иркут. гос. техн. ун-т, Иркут. н.-и. и конструкт. ин-т хим. и нефт. машиностроения. - Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 1999. - 228 с.
3. ВАСТ, ВиброАкустические Системы и Технологии: [сайт]. – Санкт-Петербург, 2024 - URL: <https://vibrotek.ru/> (дата обращения: 15.01.2024)

## **Морковин Андрей Витальевич, Ле Куй Вьет СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ЦИФРОВОЙ БАЛАНСИРОВКИ РОТОРНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

*ДВФУ, Политехнический институт, Департамент морской техники и транспорта, Отделение машиностроения морской техники и транспорта, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, 690922,*

**Аннотация.** В настоящем исследовании рассматривается разработка метода цифровой балансировки роторных механизмов с использованием программного комплекса ANSYS. Приведено сравнение компьютерной модели с экспериментом.

**Ключевые слова:** балансировка, гибкий ротор, математическая модель, коэффициенты влияния

Цифровые двойники, представляют собой виртуальные модели, которые точно отражают характеристики и поведение реальных систем. В области исследования методов цифровой балансировки роторных механизмов, использование цифровых двойников становится ключевым инструментом для анализа и оптимизации процесса балансировки. Эти модели дают возможность предсказывать поведение системы, тестировать различные сценарии и вносить изменения в конструкцию до создания физического прототипа.

Настоящее исследование сосредоточено на разработке и совершенствовании методов цифровой балансировки роторных механизмов с

использованием программного обеспечения ANSYS [1]. ANSYS предоставляет мощные инструменты для создания и анализа цифровых двойников, позволяя проверять и улучшать балансировку роторных систем в виртуальной среде.

Цель данного исследования – проверка модели цифрового двойника построенного в ANSYS с экспериментальной установкой, путем анализа соответствия между поведением виртуальной модели и реальной системой. Полученные результаты могут значительно усовершенствовать процесс балансировки роторных механизмов.

Метод цифровой балансировки

Цифровая балансировка – инновационный подход к оптимизации вращающихся систем с использованием программного обеспечения для обработки данных и моделирования. Метод предполагает создание точной цифровой модели вращающейся системы, включая все ее компоненты, от массы и формы до жесткости. В отличие от традиционных методов балансировки, цифровые методы позволяют точно измерять и анализировать параметры дисбаланса уменьшая количества пусков реальной системы, что приводит к более эффективному ремонту.

Таким образом, цифровая балансировка — это комплексный метод, сочетающий в себе точное моделирование вращающейся системы и использование программного обеспечения для детального анализа и оптимизации ее параметров с целью минимизации дисбаланса.

Цифровая балансировка включает в себя несколько важных этапов, каждый из которых способствует достижению оптимального состояния вращающейся системы:

1. Моделирование системы: первый шаг включает в себя создание детальной цифровой модели вращающейся системы. Это включает в себя учет всех компонентов, их масс, геометрии и взаимосвязей.

2. Расчет выборки: программное обеспечение проводит анализ цифровой модели, изменяя параметры системы. Результатом является выборка состоящая из масс дисбалансов, их местоположений и результатов расета для этой комбинации.

3. Оптимизация параметров: с использованием программных инструментов проводится оптимизация параметров системы. Выполняется регулировка масс, положение масс, геометрии и других факторов для минимизации дисбаланса и достижения оптимальной работы системы.

4. Валидация результатов: после завершения оптимизации, результаты подвергаются валидации: цифровые данные сравниваются с физическими тестами и проводят проверку стабильности работы системы.

В данном исследовании использовался лабораторный стенд для исследования крутильных колебаний судовых валопроводов (рис. 1).

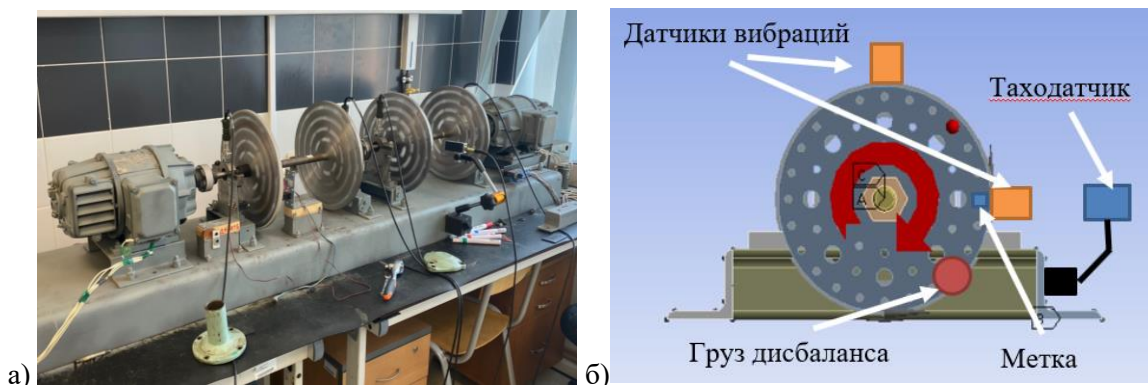


Рисунок 1: а) Модель экспериментальной установки; б) схема установки датчиков

Для решения поставленной задачи, замеры проводились при помощи вибрметра фирмы VAST СД – 21 (рисунок. 2) , подсоединённого к коммутатору. К нему также подключаются вибропреобразователи , закреплённые на опорах, а также датчик оборотов, который прикреплён к фундаменту, схема установки датчиков приведена на рисунке 1 б. С помощью вибропреобразователей замерялись виброперемещения (горизонтальные и вертикальные), а также фазы и дисперсия. Сигнал с датчика оборотов замеряет скорость вращения вала и передантся в виброанализатор, в котором происходит обработка полученных данных.

Процесс проведения эксперимента:

1. Установка датчиков оборотов и датчиков. Необходимо обратить внимание на калибровку датчика скорости, чтобы на него не влиял слишком сильный свет.
2. Установка датчиков вибрации на опорах в двух плоскостях.
3. Измерение массы дисбалансов на весах с высокой точностью (0.01 г).
4. Установка массы дисбалансов в необходимое положение на вращающемся диске. Важно отметить, производится ли измерение по часовой стрелке или против часовой стрелки.
5. Проведение замеров амплитуд и фаз колебаний опор системы на рабочем режиме с помощью виброанализатора.



Рисунок 2. Виброметр фирмы VAST СД – 21

Компьютерная модель строилась в решателе гармонических колебаний Harmonic Response, частота вращения ротора 7 Гц, между деталями ротора задан жесткий контакт. Для имитации фундамента использовалась заделка elastic support, для имитации дисбаланса на дисках используется нагрузка Rotation Force. Результатом расчета являются значения амплитуды и нулевой фазы виброперемещения с опор статора в горизонтальном и вертикальном направлениях.

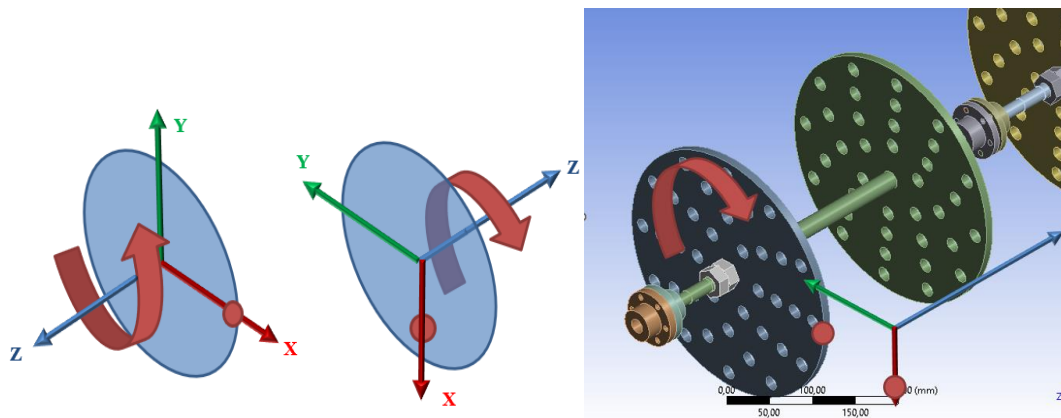


Рисунок 3. Ориентация массы дисбаланса в ANSYS

Для правильной ориентации нагрузки в пространстве необходимо учитывать направление вращения ротора. Ось вращения ротора располагается по оси OZ (рисунок 3), ось OX смотрит вправо, ось OY смотрит вверх. При ориентации вращения ротора по часовой стрелке ось вращения примет противоположное направление от оси OZ. При этом локальная система координат (ЛСК) Rotation Force разворачивается таким образом, что ось OX ЛСК направлена против OY ГСК, положение груза смещается на 90° по часовой стрелке. т.е. положение 0° при проведении эксперимента это -90° в ANSYS.



## 4. Результаты

Таблица 1

Результаты моделирования и эксперимента

№	положение грузов по направлению вращения		Эксперимент		ANSYS		Эксп-> ANSYS	
	$\varphi 01$	$\varphi 02$	Горизонт.	Верт.	Горизонт.	Верт.	Эксп.-90	Эксп.-180
	$\varphi 01$	$\varphi 02$	$\varphi 0$	$\varphi 0$	$\varphi 0$	$\varphi 0$	$\varphi 0$	$\varphi 0$
1	0	0	84	254	0	90	-6	74
2	45	45	128	300	45	135	38	120
3	90	90	175	346	90	180	85	166

В таблице 1 представлены результаты, полученные после завершения эксперимента. При размещении груза дисбаланса в позициях  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  начальные значения фазы равны  $84^\circ$ ,  $128^\circ$ ,  $175^\circ$  по горизонтальной оси и  $254^\circ$ ,  $300^\circ$ ,  $346^\circ$  по вертикальной оси соответственно. В ANSYS начальные значения фазы равны  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  по горизонтальной оси и  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $180^\circ$ .

При сравнении результатов эксперимента с результатами моделирования обнаруживаются различия, по горизонтальной оси значения отличаются примерно на  $90^\circ$ , а по вертикальной оси значения отличаются примерно на  $180^\circ$ . Это связано с тем, что при измерении начальной фазы виброанализатор VAST СД-21 отсчитывает опережение начальной фазы от функции синуса, в то время как инструмент постпроцессинга Frequency response в ANSYS за нулевую принимает функцию косинуса, что дает запаздывание значений модели на  $90^\circ$  (рисунок 4). В вертикальном направлении опережение эксперимента дополнительно на  $90^\circ$  объясняется положением датчика тахометра, который остается в горизонтальном направлении при снятии показаний вибрации с датчиков расположенных вертикально.

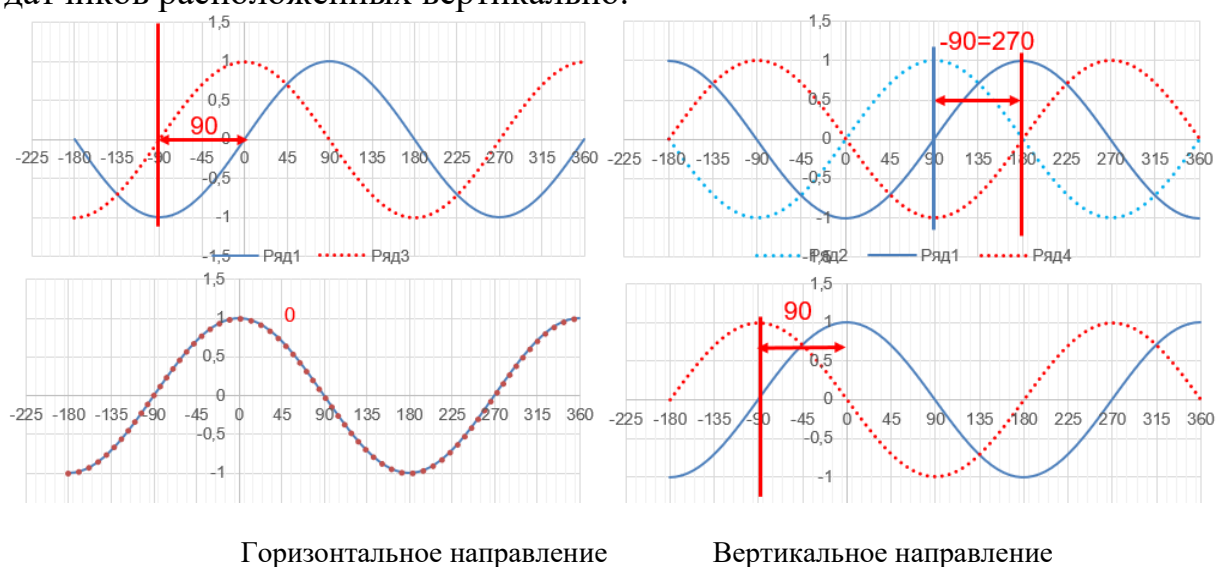


Рисунок 4. Смещение фазы колебаний

Учитывая изложенное выше, необходимо сделать поправку  $-90^\circ$  для значений, снятых с датчиков установленных в горизонтальной оси и  $-180^\circ$  для значений снятых с датчиков расположенных в вертикальной оси.

### **Заключение**

Проведение экспериментального исследования позволило установить различие метода отчета начальной фазы используемым виброанализатором и универсальной программной системой ANSYS. При корректировке значений средняя квадратичная ошибка составила  $12,54^\circ$ , что является хорошей оценкой соответствия цифровой модели эксперименту.

### **Список литературы**

1. Бруйка, В.А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учеб. пособ. / В.А. Бруйка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова [и др.]. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 271 с.
2. Барков, А.В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации: учебное пособие / А.В. Барков, Н.А. Баркова. - СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2004. - 152 с.
3. Гольдин, А.С. Вибрация роторных машин / А.С. Гольдин. - М.: Машиностроение, 1999. - 344 с.

## **Смирнов Димитрий Валерьевич ВИБРАЦИИ ЛОПАСТНЫХ МАШИН, ВЫЗВАННЫЕ МЕХАНИЧЕСКИМИ ОСЛАБЛЕНИЯМИ**

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

*Научный руководитель: Куценко Наталья Владимировна, канд. техн. наук*

**Аннотация.** В статье рассмотрена проблема внедрения метода неразрушающего контроля в действующие системы обслуживания насосного оборудования на предприятиях. Представлены спектры, показывающие зависимости характеристик виброакустических процессов от изменения технического состояния оборудования на примере механических ослаблений узлов крепления.

**Ключевые слова:** вибрации, вибродиагностика, лопастные насосы, лопаточные машины, механические ослабления.

### **Введение**

Гидравлические машины, такие как насосы, весьма распространены на предприятиях различных отраслей промышленности в таких как нефтегазовая, угольная, горнодобывающая, энергетическая и атомная промышленности, морской транспорт и многие другие. Это является четким признаком актуальности использования лопастных насосов в промышленности.

Первым известным насосом считается поршневой насос, изобретенный в древности древнегреческими механиками. В современном мире мы видим разнообразие классификаций насосов, начиная от их применения и заканчивая технологическими принципами действия каждого из них.

На большинстве предприятий механизмы подлежат экспертизе по промышленной безопасности и насосы в том числе. Оценка технического состояния оборудования, действующая в рамках системы экспертизы промышленной безопасности технических устройств особенно на опасных производственных объектах, является несовершенной. Причина этому применение системы планово-предупредительного ремонта, которая является менее эффективной и устаревшей. Она позволяет продолжать эксплуатацию неисправного оборудования, что способствует возникновению сбоев в работе. [1,3]

Наиболее эффективной и экономически целесообразной системой является система ремонта, основанная на фактическом техническом состоянии оборудования. Такой подход исключает ненужные сборочно-разборочные работы, предотвращая создание излишних повреждений механизмам, вызванных частым разбором и сборкой, что может нарушить приработку деталей.

Для внедрения системы обслуживания, ориентированной на фактическое техническое состояние, необходим метод неразрушающего контроля, который обеспечит контроль качества без демонтажа, упростит процесс ремонта и обеспечит оперативность и точность данных.

Примером такого метода неразрушающего контроля может служить вибродиагностика.

В условиях действующей в данный момент на предприятиях систем плановых ремонтов становится актуальной задача предоставления результатов диагностирования и краткосрочного прогнозирования, дающие оценку вероятности возникновения отказов в процессе эксплуатации на период одного или двух периодов диагностирования (до планового ремонта, рассматриваемого в системе ППР) что является актуальной задачей в условиях системы ремонтов.

Разработка критериев оценки степени износа агрегата и прогнозирование процессов последующей деградации его технического состояния, способствует к плавному переходу к обслуживанию оборудования по фактическому техническому состоянию.

Использование системы прогнозирования будет обеспечивать более точные результаты на практике по сравнению с анализом общего уровня виброскоростей или виброускорений. Это является ключевым фактором для осуществления краткосрочного прогнозирования в условиях действующей системы планово-предупредительного ремонта оборудования на большинстве предприятий.

Реализация предложенной системы позволит сократить количество происшествий на производстве, вызванных недопустимыми техническими состояниями эксплуатируемого оборудования и сбоями в работе систем,

включающих неисправное оборудование. Кроме того, это позволит оптимизировать текущую систему ремонта на предприятиях. [2]

Для создания системы диагностирования и прогнозирования уровня развития дефекта насосного оборудования требуется хорошо понимать диагностические признаки проявления дефектов, а также создание единой математической модели для определения критерия уровня развития дефекта. Настоящее исследование направлено на сбор информации всевозможных диагностических признаков, чтобы осуществлять выборку диагностической информации по параметрам вибрации.

Одними из возможных дефектов насосного оборудования являются механические ослабления узлов крепления, которые могут привести к серьезным последствиям в процессе эксплуатации.

Механические ослабления могут способствовать:

**1) Возникновению резонансов.** Ослабленные соединения могут способствовать появлению нежелательных резонансов в системе, увеличивая колебания и вибрацию в насосном оборудовании. Это может привести к усилению износа, снижению срока службы и необходимости частого технического обслуживания;

**2) Риску безопасности и надёжности.** Ослабление крепежных соединений может угрожать безопасности оборудования и персонала. При возникновении высокого уровня вибраций из-за ослабленных соединений возможно возникновение аварийных ситуаций, которые приведут к остановке насоса и, возможно, к серьезным повреждениям окружающего оборудования и персонала.

Следует рассмотреть разновидности ослаблений и их возможные причины появления:

- Податливость опор, причинами которого могут являться ослабления опор, элементов крепления, неплотная затяжка, неполное прилегание или же искажение формы рамы и его основания;

- Люфты в неподвижных соединениях с нарушением целостности деталей, причинами которого следует считать неплотное прилегание деталей, появление трещин, нарушение целостности конструкции фундамента и другое;

- Люфты в подвижных соединениях, обусловленные трещинами, ослаблениями рабочих колес или же наличием чрезмерного зазора во втулках, а также элементах подшипников [3].

В процессе исследования получены автоспектры, которые показывают зависимость характеристик виброакустических процессов от изменения технического состояния оборудования на примере механического ослабления узлов крепления насосного оборудования к фундаменту (рис. 1, рис. 2).

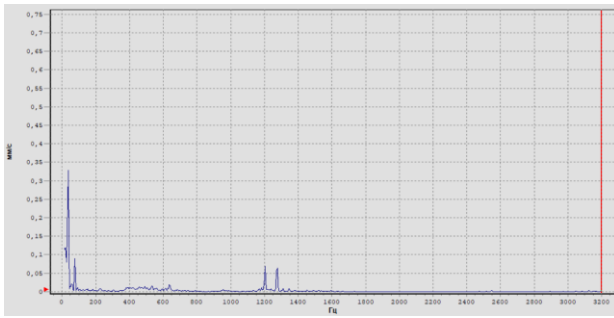


Рисунок 1. Автоспектр исправного насоса

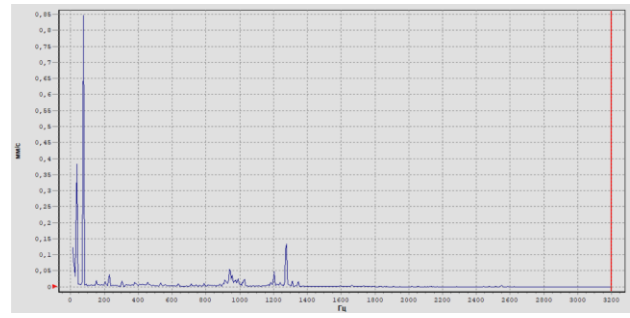


Рисунок 2. Автоспектр насоса, дефект узлов крепления

В ходе сравнения на автоспектре насоса, имеющего механические ослабления узлов крепления фундамента (рис. 2), мы видим рост амплитуд первой и второй гармоники оборотной частоты, но возможно, что отдача болтовых соединений электродвигателя не повлияла на работу насоса. Поэтому важно оценивать состояние не отдельного конструктивного узла или элемента, а всего насосного агрегата как единой технической конструкции.

### Заключение

Внедрение системы диагностики и прогнозирования остаточного ресурса агрегата при помощи неразрушающего контроля для насосного оборудования, способствует переходу эксплуатации оборудования из системы планово-предупредительного ремонта к системе обслуживания по фактическому техническому состоянию. Это приведет к улучшению эксплуатации насосов, также увеличится время межремонтного периода, что уменьшит затраты на ремонт. Количество отказов во время эксплуатации будет сводиться к минимуму.

А также позволит дать точный ответ проработает ли агрегат до момента проведения ближайшего ремонта или нет. Поэтому получение результатов выборки диагностической информации представляет научный интерес в условиях действующих систем ремонтов.

### Список литературы

1. Большунов, А. В. Современные методы диагностики фактического состояния установок электроцентробежных насосов / А. В. Большунов // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 12-2. – С. 249-253. – EDN KDOPQT.
2. Герике, П. Б. Вибродиагностика центробежных насосов / П. Б. Герике, А. Г. Никитин // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2020. – № 4. – С. 83-89. – EDN HMSLON.
3. Лукьянов А.В. Классификатор вибродиагностических признаков дефектов роторных машин. / Иркутск: Издательство ИрГТУ, 1999

**Федюк Роман Сергеевич<sup>1</sup>, Павликов Сергей Николаевич<sup>2</sup>, Копаева  
Екатерина Юрьевна<sup>3</sup>**

**КАНАЛЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И МЕТОДЫ ИХ ЗАЩИТЫ**

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

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

*<sup>3</sup>Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, Россия, 690003, Приморский край, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, д.50а*

УДК 621.39

**Аннотация:** В работе приведены результаты анализ развития каналов в системах инфокоммуникаций и технологий их защиты от несанкционированных абонентов. Показано, что основной тенденцией развития является интеграция функций: связи, навигации, синхронизации и мониторинга, а также разработка комплексного применения методов их защиты. Приведены технологии защиты элементов и связей информационной системы. Показаны направления перспективных исследований.

Объект исследования каналы инфокоммуникационных систем. Предмет - методы их защиты. Проблема состоит в том, что методы защиты отстают в развитии от технологий нападения. Цель исследования – систематизация и поиск недостающих технологий. Научная новизна состоит в системном анализе угроз и комплексной защите каналов интегрированных информационных систем. Разработка которых должна проводиться с упреждением.

**Ключевые слова:** угрозы, мониторинг, защита, управление, ресурсы, инфраструктура.

**Fedyuk Roman Sergeevich<sup>1</sup>, Pavlikov Sergey Nikolaevish<sup>2</sup>,  
Kopayeva Ekaterina Yurievna<sup>3</sup>**

**CHANNELS OF INFORMATION SYSTEMS AND METHODS OF THEIR  
PROTECTION**

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

*<sup>2</sup>Vladivostok State University, 41 Gogol str., Vladivostok, Primorsky Krai, 690014, Russia,*

*<sup>3</sup>Marine State University named after Adm. G.I. Nevelsky, 50a Verkhneportovaya str., Vladivostok, Primorsky Krai, 690003, Russia*

**Annotation:** The paper presents the results of the analysis of the development of channels in infocommunication systems and technologies for their protection from unauthorized subscribers. It is shown that the main trend of development is the integration of functions: communication, navigation, synchronization and monitoring, as well as the development of complex application of methods for their protection. Technologies for the protection of elements and connections of the information system

are given. The directions of advanced research are shown. The object of the research is the channels of infocommunication systems. The subject is the methods of their protection. The problem is that defense methods lag behind offensive technologies.

The purpose of the study is to systematize and search for missing technologies. The scientific novelty consists in the system analysis of threats and the comprehensive protection of the channels of integrated information systems. The development of which must be carried out proactively.

**Keywords:** threats, monitoring, protection, management, resources, infrastructure.

## **Введение**

В данной статье представлен анализ развития каналов в информационно-коммуникационных системах и методов защиты от несанкционированных абонентов. Показано, что основной тенденцией развития является интеграция таких функций, как связь, навигация, синхронизация и мониторинг, а также разработка комплексных приложений этих методов защиты. Приведены технологии защиты элементов и связей информационной системы. Показаны направления перспективных исследований.

Объект исследования каналы инфокоммуникационных систем (ИКС). Предмет - методы их защиты. Проблема состоит в том, что методы защиты отстают в развитии от технологий нападения. Цель исследования – систематизация и поиск недостающих технологий. Научная новизна состоит в системном анализе угроз и комплексной защите каналов интегрированных информационных систем. Разработка которых, должна проводиться с упреждением.

Понятие канала связи, с учетом последних достижений и внедряемых технологий, представляет собой систему технических средств абонентов и среды преобразования и распространения сигналов (информации) между ними. Дополнительно уделено внимание процессам в среде и необходимости более полного, точного, оперативного её мониторинга. Желательно совмещать каждое излучение с решением ряда смежных функций, указанных ранее.

Компоненты инфокоммуникационной системы (ИКС), с расширенными функциями за счет интеграции, состоят из управляемых и неуправляемых элементов, степень контроля и защиты которых представляет сложную задачу. Применение активных технологий мониторинга ограничивается рядом факторов, в том числе - потерей скрытности и информированием противной стороны в условиях конфликта.

Классификацию информационных каналов проведем по признаку: разнообразия - различия - разделения по [1,2]:

- физическим средам, в которых ИКС функционируют;
- совокупности физических сигналов и протоколов взаимодействия;
- методам разделения каналов по сигналам, пространственным элементам и др. технологиям;

- трассам взаимодействия участников;
- процессам, происходящим в канале, в том числе в среде канала;
- динамики взаимного перемещения абонентов, в том числе и несанкционированных;
- особенностям сред канала, а также сопряжения сред канала в составе трассы.

### **Основные проблемы ИКС**

К основным проблемам относятся [2,3]:

1. Инерция внедрения интегрированных каналов ИКС;
2. Ограничения на ресурсы ИКС (связные, навигационные, мониторинговые и др.);
3. Недостатки существующих средств оперативного мониторинга каналов и среды канала;
4. Ограничения на мобильность носителей средств ИКС (ограниченность диапазона скоростей взаимного перемещения абонентов для обеспечения качества функционирования ИКС);
5. Утяжеленный протокол, за счет служебных компонентов: пилот – сигнала, защитных интервалов по времени, частоте, пространству и др.;
6. Неэффективное использование адресного пространства в условиях жестких требований к времени идентификации и реакции ИКС;
7. Низкая помехозащищенность технологий всех режимов интегрированной ИКС;
8. Низкая скрытность ИКС;
9. Отсутствие защиты от новых как информационных, так и энергетических методов подавления ИКС.

Активный режим сложно скрыть, тем не мене, существует ряд методов, снижающих заметность ИТС и в активном и пассивном режимах. Рассмотрим их подробнее.

Снижение мощности излучения до минимального, но достаточного для выполнения заданной функции, например, передача пакета сообщения и/или мониторинга среды и др. осуществляется одним пакетом, одним импульсом.

Мониторинг, информационное обеспечение, цифровые карты и др. технологии, позволяющие знать, прогнозировать и использовать зоны тени, полутени для защиты от наблюдения противной стороной.

Скрытность начала сеанса или изменения режима мониторинга от поиска к сопровождению, целеуказанию за счет поддержания постоянного трафика.

Методы энергетической скрытности, основанную на зависимости дальности связи и дальности её обнаружения средствами разведки.

Структурная скрытность сигналов, используемых в ИКС с расширенными функциями.

Подавление средств несанкционированного съема (СНС) информации.



Отвлечение и/или имитация нападения на средства СНС с целью вытеснить из района или в область навигационно-неблагоприятных условий для выполнения им своей задачи;

Методы преобразований информации путем сочетаний процессов модуляции, шифрования, кодирования и др., в том числе с повторением.

Анализ методов снижения заметности показал, что главными техническими задачами защиты являются: снижение уровня физических полей носителя и средств ИКС и повышение помехозащищенности технологий ИКС. Основным требованием к современным ИКС является системный анализ угроз, мониторинг и комплексное применение методов и средств защиты.

Часть методов разработана и включает следующие технические решения:

- интеграция ИКС с применением радио каналов, оптического и акустического каналов, на примере в устройстве [4] радиосвязи параллельно функционируют радио и оптический каналы;

- многоуровневое (многоэтажное) ресурсное использование технологий в многопараметрических системах динамической маршрутизации сигналов и пакетов сообщений [5]. В системе связи использованы различные методы интеграции каналов и методов разделения на маршруте от источника информации до потребителя через узлы ретрансляции;

- формирование и управление адресным пространством в иерархических системах ИКС [6], в описании приведены технологии формирования и управления адресным пространством в временной виртуальной сети связи;

- фильтрация входного трафика на наличие вредоносных программ, обнаружение опасных элементов и их лечение входного файла, например, [7]. В материалах патента приведены процедуры построения структуры файла и распознавания элементов по базам данных белого и черного списков, что позволяет в безопасном режиме, т.е. до запуска файла в статическом режиме осуществить обнаружение и обезвредить опасный элемент.

- разнесение мобильных приемных и передающих элементов устройств позволяет эффективно бороться с замираниями, снижает демаскирующие признаки ТКС и способствует их защищенности рассмотрены на примере системы сотовой связи [8].

### **Заключение**

Для интегрированных ИКС открываются новые возможности по совместному применению каналов, однако их внедрение требует расширения состава и разработки технологий средств мониторинга, синхронизации, позиционирования для совмещения с каналами связи. Необходимы средства оперативного измерения вертикального распределения скоростей движения масс и скорости распространения сигналов в среде.

Требуется поиск новых явлений и эффектов для решения технических, физических и др. задач, связанных с работой ТКС:

- повышения скрытности и помехозащищенности сигналов ИКС;

- повышение результативности разрушения структуры помех в среде канала, за исключением сигналов легитимных абонентов;
- подавление средств ИКС несанкционированных абонентов;
- развитие пространственно-распределенных виртуальных антенн абонентов и ретрансляторов.

Предлагается обобщенным критерием оценки эффективности ИКС считать критерий минимально необходимой результативности, но достаточной для качественного функционирования режимов и задач ИКС в целом, при минимуме потребляемых ресурсов.

### **Список литературы**

1. Б.Скляр. Цифровая связь: Пер. с англ. - М.: Изд. дом «Вильямс», 2007. – 1104 с.
2. Степутин А.Н, Николаев А.Д. Мобильная связь на пути к 6G. Вологда; Инфра-инженерия, 2018, Т 1. – 384 с.
3. Степутин А.Н, Николаев А.Д. Мобильная связь на пути к 6G. Вологда; Инфра-инженерия, 2018, Т 2. – 420 с.
4. Пат. РФ 2798865. Сотовый телефон/ Колесов Ю.Ю. и др. Оpubл. 28.05.2023. Бюл. №19.
5. Пат. РФ 2457628. Способ динамической маршрутизации в сети связи с многомерными маршрутами и пакетной передачей сообщений / Квашенников В.В., Солдатенко Э.Н. Заявл. 14.06.2011. Оpubл. 27.07.2012. Бюл. №21.
6. Федюк Р.С. и др. Алгоритм управления адресным пространством в гибридных системах телекоммуникаций // Материалы VII Всероссийской НПК ДВФУ «Инженерное дело на Дальнем Востоке России», Владивосток, 17 – 21 января 2023. С. 61 – 69.
7. Пат. РФ 2762079 Способ обнаружения вредоносных программ и элементов/ Копаева Е.Ю., Колесов Ю.Ю. и др. Заявл. 24.03.2021. Оpubл. 15.12.2021.
8. Заявка на пат. 2023128847 от 18.10.2023 Система сотовой связи / Копаева Е.Ю и др.

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

IX Всероссийская научно-практическая конференция

(Владивосток, 21-27 января 2024 года)

Материалы конференции

Владивосток  
2024